



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CARLA INGRYD NOJOSA LESSA

POTENCIALIDADES E CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS SALOBRAS PARA PRODUÇÃO BIOSALINA NO SEMIÁRIDO
CEARENSE

FORTALEZA

2023

CARLA INGRYD NOJOSA LESSA

POTENCIALIDADES E CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS SALOBRAS PARA PRODUÇÃO BIODIVERSIDADE NO SEMIÁRIDO
CEARENSE

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Salinidade e drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.

Coorientadores: Prof. Dr. Alessandro Oliveira da Silva; Dr. Claudio Cesar de Aguiar Cajazeiras.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L631p Lessa, Carla Ingrid Nojosa.
Potencialidades e caracterização da qualidade das águas subterrâneas salobras para produção bioessalina no semiárido cearense / Carla Ingrid Nojosa Lessa. – 2023.
143 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda.
Coorientação: Prof. Dr. Alessandro Oliveira da Silva; Cláudio Cesar de Aguiar Cajazeiras.

1. Aquífero. 2. Salinidade. 3. Geoprocessamento. 4. Agricultura bioessalina. I. Título.

CDD 630

CARLA INGRYD NOJOSA LESSA

POTENCIALIDADES E CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS SALOBRAS PARA PRODUÇÃO BIOCASSALINA NO SEMIÁRIDO
CEARENSE

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Salinidade e drenagem.

Aprovada em 19/06/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Claudio Cesar de Aguiar Cajazeiras (Coorientador)
Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM)

Profa. Dra. Rafaella da Silva Nogueira
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Antônia Leila Rocha Neves
Bolsista Pós Dourado da FUNCAP

A Deus.

Aos meus pais, José Ferreira Lessa e
Irisneide Nojosa Lessa (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me dado força e sabedoria para conseguir trilhar meu caminho e por ter abençoado e iluminado meus passos durante toda essa caminhada.

Aos meus pais, José Ferreira Lessa e Irisneide Nojosa Lessa (*in memoriam*), pessoas simples, porém sábias, que me mostraram e me fizeram entender que o estudo é uma das maiores conquistas que podemos ter na vida. Obrigada por todo apoio e incentivo durante toda a minha caminhada, e por me ensinarem o valor do estudo, do trabalho, da honestidade e da persistência. Vocês são minha maior fonte de inspiração. Essa conquista é nossa.

Aos meus irmãos, Jackson, Carlos Alberto, Alexsandra, Carlos Gleydson, Taylane e Erculano, pelo amor, carinho e compreensão da minha ausência em muitos momentos. Obrigada pela torcida, essa vitória também é de vocês. Amo cada um, com suas particularidades.

Ao meu namorado, Henderson Castelo, por todo apoio, paciência, compreensão, companheirismo, carinho e amor. Ter você ao meu lado, deixou minha caminhada mais leve.

Ao meu orientador Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda, pela confiança, apoio e parceria durante esse período. Sou grata por toda compreensão e conhecimentos repassados.

À Universidade Federal do Ceará e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pelo apoio institucional.

Aos meus coorientadores Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva e Dr. Claudio Cesar de Aguiar Cajazeiras, pelas colaborações ao decorrer da pesquisa.

Aos meus amigos da pós-graduação e do laboratório de Relações Solo-Água-Planta, por todo apoio, companheirismo e pelos bons momentos vividos nessa caminhada.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Programa Cientista-chefe em Agricultura (Convênio 14/2022 SDE/ADECE/FUNCAP e Processo 08126425/2020/FUNCAP) pelo suporte financeiro para a realização da pesquisa.

À Superintendência de Obras Hidráulicas do Ceará (SOHIDRA) e ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM) pela liberação do banco de dados.

Aos participantes da banca examinadora por todas as valiosas contribuições para o enriquecimento deste trabalho.

RESUMO

As águas salobras se constituem uma fonte alternativa para as regiões áridas e semiáridas, face à escassez de água de baixa salinidade para utilização na agricultura e em outras atividades produtivas. O estudo foi dividido em dois capítulos. O primeiro teve como objetivo avaliar o potencial de poços com água salobra para 21 sistemas de produção vegetal e 7 sistemas de produção animal, em uma área representativa do semiárido Brasileiro, o Ceará. O estudo foi desenvolvido utilizando-se um banco de dados de poços do Estado do Ceará, fornecidos pela Superintendência de Obras Hidráulicas - SOHIDRA e pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. O banco de dados inclui poços perfurados no período de 1987 até 2021, totalizando 25.497 poços, destes 6.284 poços possuem águas salobras (condutividade elétrica da água a partir de $0,8 \text{ dS m}^{-1}$) e vazão a partir de $0,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Verificou-se o potencial produtivo das águas salobras subterrâneas do semiárido brasileiro não depende apenas da tolerância da cultura e dos animais à salinidade, mas do conjunto de dados do sistema de produção (grau de tolerância à salinidade e demanda hídrica) e da fonte hídrica (salinidade da água e a vazão). Os sistemas de produção vegetal com menor requerimento hídrico (palma forrageira, irrigação suplementar, cultivo hidropônico e produção de mudas), mesmo com níveis de tolerância moderada ao estresse salino, apresentaram os melhores resultados do que espécies vegetais mais tolerantes. A criação de aves, ovinos e caprinos são ótimas opções para a região semiárida, com uso de águas salobras. O segundo capítulo teve como objetivo avaliar e classificar a qualidade destas águas para fins de irrigação. O estudo foi desenvolvido no Estado do Ceará, utilizando-se laudos compostos pelas características químicas das águas de poços nas bacias hidrográficas dos Rios Curu e Banabuiú. As águas do Curu apresentaram maior restrição em termos de condutividade elétrica (média de $3,76 \text{ dS m}^{-1}$), além de apresentarem a maior Razão de Adsorção de Sódio - ($5,96 \text{ mmol L}^{-1}$) e maior quantidade de sólidos totais dissolvidos ($2.460,1 \text{ mg L}^{-1}$), em comparação as águas do Banabuiú ($\text{CE} = 2,72 \text{ dS m}^{-1}$, $\text{RAS} = 3,87 \text{ mmol L}^{-1}$; $\text{STD} = 1.763,07 \text{ mg L}^{-1}$). As águas do Banabuiú e do Curu são classificadas em sua maior parte (68,23% e 53,16%, respectivamente), como águas que apresentam problemas moderados de salinidade e baixo risco de sodicidade (menos de 10% dos poços apresentam riscos de sodicidade). Desse modo, a definição do potencial das águas salobras subterrâneas deve-se levar em conta as restrições impostas principalmente pela salinidade da água. Conclui-se que as águas subterrâneas salobras do semiárido cearense, mesmo com baixas vazões e a presença de sais, podem garantir de forma geral, a produção vegetal e a criação de animais, permitindo o desenvolvimento de milhares de pequenos negócios no semiárido brasileiro.

Palavras-chave: aquífero; salinidade; geoprocessamento; agricultura bioassalada.

ABSTRACT

Brackish water is an alternative source for arid and semi-arid regions, given the scarcity of low salinity water for use in agriculture and other productive activities. The study was divided into two chapters. The first aimed to evaluate the potential of wells with brackish water for 21 plant production systems and 7 animal production systems, in a representative area of the Brazilian semi-arid region, Ceara. The study was developed using a database of wells in the State of Ceará, provided by the Superintendency of Hydraulic Works - SOHIDRA and by the Mineral Resources Research Company - CPRM. The database includes wells drilled from 1987 to 2021, totaling 25,497 wells, of which 6,284 wells have brackish water (water electrical conductivity from 0.8 dS m^{-1}) and flow from $0.5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Checking the productive potential of brackish groundwater in the Brazilian semi-arid region does not depend only on the tolerance of the crop and animals to salinity, but on the dataset of the production system (degree of tolerance to salinity and water demand) and the water source (water salinity and flow rate). Plant production systems with lower water requirements (forage palm, supplementary irrigation, hydroponic cultivation and seedling production), even with salt stress tolerance levels, showed better results than more tolerant plant species. Raising poultry, sheep and goats are excellent options for the semi-arid region, using brackish waters. The second chapter aimed to evaluate and classify the quality of these waters for irrigation purposes. The study was carried out in the State of Ceará, using reports composed of the chemical characteristics of water from wells in the hydrographic basins of the Curu and Banabuiú rivers. The Curu waters showed the greatest restriction in terms of electrical conductivity (average of 3.76 dS m^{-1}), in addition to having the highest Sodium Adsorption Ratio (5.96 mmol L^{-1}) and the highest amount of total solids obtained ($2,460.1 \text{ mg L}^{-1}$), in comparison with the waters of Banabuiú ($\text{EC} = 2.72 \text{ dS m}^{-1}$, $\text{RAS} = 3.87 \text{ mmol L}^{-1}$; $\text{STD} = 1,763.07 \text{ mg L}^{-1}$). The waters of Banabuiú and Curu are classified for the most part (68,23% and 53,16%, respectively) as waters with moderate salinity problems and low risk of s (less than 10% of the wells present risks of sodicity). Thus, the definition of the potential of groundwater brackish water must consider the restrictions imposed mainly by the salinity of the water. It is concluded that the brackish groundwater in the semi-arid region of Ceará, even with low flows and the presence of salts, can generally guarantee plant production and animal husbandry, allowing the development of thousands of small businesses in the Brazilian semi-arid region.

Keywords: aquifer; salinity; geoprocessing; biosaline agriculture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Localização geográfica da área de estudo	36
Figura 2 -	Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação plena de halófitas em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão dos poços. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada .	48
Figura 3 -	Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação plena do milho em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), e irrigação suplementar do milho em 0,5 ha (C) e 1,0 ha (D), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão dos poços. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada	50
Figura 4 -	Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação suplementar do algodão em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão dos poços. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada	52
Figura 5 -	Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação plena do feijão em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), e irrigação suplementar do feijão em 0,5 ha (C) e 1,0 ha (D), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão dos poços. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada	54
Figura 6 -	Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação plena do sorgo em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), e irrigação suplementar do sorgo em 0,5 ha (C) e 1,0 ha (D), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão dos poços. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada	56

Figura 7 -	Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação suplementar da bananeira em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão dos poços. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada	58
Figura 8 -	Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação alternada ou a mistura de águas para culturas anuais em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão dos poços. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada	59
Figura 9 -	Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação plena da palma forrageira em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão dos poços. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada	60
Figura 10 -	Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação suplementar de forrageiras em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão dos poços. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada	62
Figura 11 -	Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação do cajueiro em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada	63
Figura 12 -	Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação do coqueiro em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad} :	65

condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada

- Figura 13 - Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para Produção de 2000 mudas de caju (A) e de coco (B), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada 66
- Figura 14 - Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para Produção de 2000 mudas de árvores do bioma Caatinga ou plantas ornamentais, com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada 67
- Figura 15 - Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para produção de hortaliças em hidroponia de 100 m², com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada 68
- Figura 16 - Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para o sistema múltiplo com peixe e glicófitas (A) e peixe com halófitas (B) com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada 69
- Figura 17 - Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para a criação de até 600 aves, com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada 76
- Figura 18 - Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para a criação de 15 suínos (A), 1 galpão – 100 animais por galpão (B) e 2 78

galpões – 100 animais por galpão (C), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada

Figura 19 -	Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para a criação de 10 bovinos de leite (A), 50 bovinos de leite por rebanho (B) e 100 bovinos de leite por rebanho (C), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada	80
Figura 20 -	Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para a criação de 10 bovinos de corte (A), 50 bovinos de corte por rebanho (B) e 100 bovinos de corte por rebanho (C), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada	82
Figura 21 -	Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para a criação de até 100 ovinos ou caprinos, com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada	84
Figura 22 -	Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para a criação de tilápia em tanques de 100 m ³ , com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada	85
Figura 23 -	Localização geográfica da área de estudo	91
Figura 24 -	Gráfico de risco de salinização e sodificação	95
Figura 25 -	Classificação das águas da Bacia do Banabuiú para irrigação, quanto ao risco de salinidade	104
Figura 26 -	Classificação das águas da Bacia do Curu para irrigação, quanto ao risco de salinidade.....	105

Figura 27 - Classificação das águas da Bacia do Banabuiú e Curu para irrigação, quanto ao risco de salinidade	106
Figura 28 - Classificação das águas da Bacia do Banabuiú e Curu para irrigação, quanto ao risco de sodicidade	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Quantidade de municípios, área e população dos estados que fazem parte do semiárido brasileiro.....	21
Tabela 2	Valores mínimos, médios, máximos e a mediana dos parâmetros de condutividade elétrica da água (CEa), sólidos totais dissolvidos (STD), vazão e profundidade dos 6.284 poços com água salobra do banco de dados do Estado do Ceará	37
Tabela 3 -	Referências utilizadas para definição da condutividade elétrica da água adequada para os sistemas de produção, admitindo-se perda máxima de 10% da produção	38
Tabela 4 -	Vazões mínimas (Q) exigidas dos poços para cada sistema de produção vegetal	40
Tabela 5 -	Referências utilizadas para definição da condutividade elétrica da água adequada para os sistemas de produção animal	43
Tabela 6 -	Vazão do poço adequada para os sistemas de produção animal	44
Tabela 7 -	Crítérios de qualidade das águas e produtividade dos poços	45
Tabela 8 -	Número e percentual de poços para os sistemas produtivos vegetais e considerando-se os diferentes critérios de adequação	46
Tabela 9 -	Potencial de área irrigável sem restrições com águas salobras dos poços no semiárido brasileiro	70
Tabela 10 -	Quantidade de poços com condutividade elétrica adequada por intervalo de área irrigável para sistemas vegetais	73
Tabela 11 -	Número e percentual de poços para os sistemas animais e considerando-se os diferentes critérios de adequação	75
Tabela 12 -	Número de amostras por município em cada bacia	92
Tabela 13 -	Atributos analisados para a qualidade da água	93
Tabela 14 -	Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade	96
Tabela 15 -	Riscos de problemas de infiltração no solo causados pela sodicidade da água	96

Tabela 16 -	Valores mínimos, médios, máximos, medianos e desvio padrão para CE, RAS, pH e STD das águas subterrâneas nas Bacias do Banabuiú e Curu	97
Tabela 17 -	Valores mínimos, médios, máximos, medianos e desvio padrão para dureza total, ferro total, nitratos e amônia total das águas subterrâneas nas Bacias do Banabuiú e Curu	99
Tabela 18 -	Valores mínimos, médios, máximos, medianos e desvio padrão para cátions e ânions das águas subterrâneas nas Bacias do Banabuiú e Curu	101

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	18
2	HIPÓTESES	20
3	OBJETIVOS	20
3.1	Objetivo geral	20
3.2	Objetivos específicos	20
4	REVISÃO DE LITERATURA	21
4.1	Semiárido	21
4.2	Águas subterrâneas	22
4.3	Qualidade da água	24
4.4	Uso de águas subterrâneas salobras no semiárido	27
4.5	Produção bioassalina	28
4.6	Geoprocessamento na agricultura	30
5	CAPÍTULO 1: IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DAS POTENCIALIDADES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS SALOBRAS PARA PRODUÇÃO BIOSSALINA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	32
5.1	Introdução	34
5.2	Material e métodos	35
5.2.1	<i>Localização e caracterização da área do estudo</i>	35
5.2.2	<i>Caracterização do banco de dados</i>	36
5.2.3	<i>Sistemas de produção vegetal</i>	37
5.2.3.1	<i>Definição dos limites de salinidade</i>	38
5.2.3.2	<i>Definição das vazões mínimas requeridas</i>	40
5.2.4	<i>Potencial de área irrigável</i>	42
5.2.5	<i>Sistemas de produção animal</i>	43
5.2.5.1	<i>Definição dos limites de salinidade</i>	43
5.2.5.2	<i>Definição das vazões mínimas requeridas</i>	44
5.2.6	<i>Crítérios para definição do potencial dos poços</i>	45
5.2.7	<i>Análise de dados</i>	45
5.3	Resultados e Discussão	45
5.3.1	<i>Sistemas de produção vegetal</i>	45

5.3.1.1	<i>Irrigação de halófitas</i>	48
5.3.1.2	<i>Irrigação de milho</i>	49
5.3.1.3	<i>Irrigação de algodão</i>	51
5.3.1.4	<i>Irrigação de feijão</i>	52
5.3.1.5	<i>Irrigação de sorgo</i>	55
5.3.1.6	<i>Irrigação de bananeira</i>	57
5.3.1.7	<i>Irrigação alternada ou mistura de águas</i>	58
5.3.1.8	<i>Irrigação de palma forrageira</i>	60
5.3.1.9	<i>Irrigação de forrageiras</i>	61
5.3.1.10	<i>Irrigação de cajueiro</i>	62
5.3.1.11	<i>Irrigação de coqueiro</i>	64
5.3.1.12	<i>Irrigação de mudas</i>	65
5.3.1.13	<i>Cultivo hidropônico</i>	67
5.3.1.14	<i>Irrigação para sistemas múltiplos</i>	69
5.3.2	Potencial de área irrigável e quantificação de poços por intervalo de área	70
5.3.3	Sistemas de produção animal	74
5.3.3.1	<i>Criação de aves</i>	76
5.3.3.2	<i>Criação de suínos</i>	77
5.3.3.3	<i>Criação de bovinos</i>	79
5.3.3.4	<i>Criação de ovinos e caprinos</i>	83
5.3.3.5	<i>Criação de tilápia</i>	84
5.4	Conclusões	86
6	CAPÍTULO 2: CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS SALOBRAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS BANABUIÚ E CURU PARA IRRIGAÇÃO	88
6.1	Introdução	90
6.2	Material e Métodos	91
6.2.1	<i>Localização e caracterização da área de estudo</i>	91
6.2.2	<i>Caracterização do banco de dados</i>	92
6.2.3	<i>Caracterização Hidroquímica</i>	93
6.2.4	<i>Classificação das águas para irrigação</i>	94

6.2.4.1	<i>Metodologia de Richards (1954)</i>	94
6.2.4.2	<i>Metodologia de Ayers e Westcot (1991)</i>	95
6.3	Resultados e Discussões	96
6.4	Conclusões	107
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
	REFERÊNCIAS	111

1. INTRODUÇÃO GERAL

A água é um elemento essencial no planeta Terra, sendo que cerca de 97,500% das águas são salgadas, 2,493% estão em geleiras ou em áreas subterrâneas de difícil alcance, restando assim apenas 0,007% de água doce, disponível nos rios, lagos e atmosfera (MACHADO, 2003; PICCOLI *et al.*, 2016). Apesar da água já ter sido considerada como um recurso inesgotável, a água doce está sendo comprometida diante do crescimento populacional, industrial e do setor agropecuário, alcançando assim uma escassez progressiva (MACHADO *et al.*, 2003; TUNDISI, 2003).

A população do semiárido brasileiro vive com a realidade da escassez dos recursos hídricos (ARAÚJO *et al.*, 2019), que é ocasionada pelos baixos índices e a alta concentração em um pequeno espaço de tempo da precipitação pluviométrica associada às elevadas taxas de evaporação e evapotranspiração potencial (MACEDO *et al.*, 2010). Os longos períodos de estiagem têm colocado as comunidades e os órgãos públicos em estado de alerta (CARVALHO *et al.*, 2017).

Esse contexto contribui para o desenvolvimento de novas estratégias de convivência com a seca, que tenham como objetivos a sustentabilidade de uso dos recursos hídricos, e a otimização e potencialização para o uso das águas subterrâneas, tanto para o abastecimento humano como para a produção vegetal e animal (CARVALHO *et al.*, 2017). Com o aumento da demanda hídrica, ocorre a crise hídrica, como consequência de um agrupamento de problemas ambientais, econômicos e sociais (OLIVO; ISHIKI, 2014; AMORIM *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2017).

A partir de um bom gerenciamento da água é possível fazer uso de uma tecnologia que é capaz de ocasionar um bom desenvolvimento para as plantas, qualidade dos produtos agrícolas e um rendimento satisfatório para os produtores, que é a irrigação. As águas subterrâneas são altamente exploradas no Brasil, sendo estas utilizadas para vários fins (COSTA *et al.*, 2011).

Dessa forma, pressupõe-se que tenham sido perfurados mais de 300 milhões de poços tubulares nas últimas três décadas, em todo o mundo. Mesmo diante de um alto número de poços, ainda existe a falta de políticas públicas e acompanhamento através de programas específicos de estudos de viabilidade das águas subterrâneas destinadas à população do semiárido (CAMARGO; RIBEIRO, 2009). Devido à escassez de água de baixa salinidade para utilização na agricultura, o uso de águas salobras subterrâneas é uma fonte alternativa que pode melhorar o convívio da população com a escassez hídrica (SANTOS *et al.*, 2010). Porém,

grande maioria dos poços apresentam baixas vazões e possuem em sua composição elevado teor de sais (COSTA, 1995).

Conhecer a quantidade de água disponível é essencial para compreender se irá satisfazer a necessidade das culturas, porém é necessário avaliar também a qualidade da água (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Assegurar a qualidade da água é um ponto primordial para obter o desenvolvimento máximo das culturas e o potencial produtivo, que está relacionada ao tipo e quantidade de sais dissolvidos, a razão de adsorção de sódio, pH, presença de elementos potencialmente tóxicos, dureza, concentração de ferro, dentre outros (GUEDES *et al.*, 2015; AYERS; WESTCOT, 1999). O parâmetro mais utilizado para apresentar a concentração de sais solúveis na água de irrigação é a condutividade elétrica (RICHARDS, 1954).

É de suma importância conhecer a qualidade das águas, pois o fornecimento de águas salobras às plantas pode ocasionar danos que variam entre cultivar e entre estádios fenológicos (SANTOS JÚNIOR *et al.*, 2016) e aos animais, pode suceder diversas alterações, como o aumento da frequência respiratória (CARVALHO JÚNIOR, 2015). Com isso, é necessário um conhecimento prévio para conduzir e realizar de forma correta o uso potencial dessas águas (SANTOS JÚNIOR *et al.*, 2016), visando reduzir os impactos.

No semiárido brasileiro é comum a ocorrência de fontes hídricas salobras, com condutividade elétrica entre 1,5 e 6,0 dS m⁻¹ (CAVALCANTE, 2020). No ano de 2003 havia cerca de 23.000 poços perfurados no Ceará, sendo que cerca de 63% destes estavam no embasamento cristalino, 29% em litologia sedimentar e o restante em aluviões e formações cársticas (SILVA *et al.*, 2007). Um percentual relativamente alto destes poços possuía águas salobras, cerca de 50%, porém a vazão desses poços era geralmente baixa, com média de 2,6 m³ h⁻¹ (SILVA *et al.*, 2007). Os poços com águas salobras estão presentes em grande parte dos municípios do Estado, e se localizam principalmente em áreas de cristalino (mais de 60% dos poços do cristalino).

Trabalhos técnicos e científicos demonstram os limiares de salinidade para os sistemas de produção vegetal (AYERS; WESTCOT, 1999) e animal (FEITOSA, 2008). Também já existem informações sobre a demanda hídrica necessária às atividades produtivas. Apesar disso, não foi desenvolvido até hoje um trabalho de organização dessas informações para definir o potencial dos poços com águas salobras do semiárido brasileiro, para tais finalidades. A organização dessas informações poderá facilitar a utilização dessas fontes hídricas, e pode contribuir para as políticas públicas voltadas para a produção agropecuária, no contexto da agricultura bioessalina, principalmente para pequenos empreendimentos.

2. HIPÓTESES

Os poços com águas salobras do semiárido brasileiro apresentam potencialidades variáveis, em função da salinidade da água, da vazão e das características inerentes ao sistema bioassalino de produção (demanda hídrica e tolerância à salinidade).

A maioria dos poços com águas salobras no semiárido brasileiro são adequados para produção bioassalina em pequena escala.

A definição do potencial produtivo será possível com a utilização de indicadores qualitativos e quantitativos das águas disponíveis.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar a qualidade e definir, com base em indicadores qualitativos e quantitativos, o potencial dos poços com águas salobras para produção vegetal e animal no Estado do Ceará, no contexto da agricultura bioassalina.

3.2 Objetivos específicos

- Definir o potencial dos poços com águas salobras para diferentes sistemas de produção vegetal e animal no semiárido brasileiro.
- Elaborar gráficos e mapas da condutividade elétrica da água, da vazão dos poços e da interação entre vazão e condutividade elétrica.
- Construir gráficos e mapas para os parâmetros da qualidade da água.
- Avaliar a qualidade das águas salobras subterrâneas de áreas representativas do semiárido cearense.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Semiárido

A região do Nordeste Brasileiro em sua grande parte, é classificada como semiárida devido apresentar altas temperaturas com baixa variação durante o ano, possuir precipitação irregular, uma estação chuvosa curta (BRESSIANI *et al.*, 2015) e alta evapotranspiração, que contribuem para a falta de água superficiais (SANTOS *et al.*, 2010).

No Brasil as áreas semiáridas correspondem à cerca de 12% do território nacional, composta por dez estados, 1.262 municípios, e abrange uma área de aproximadamente 1,13 milhão de km², sendo a maior extensão localizada na região Nordeste. Esses números configuram uma das maiores regiões semiáridas do mundo, com mais de 27 milhões de habitantes, conforme apresentado na Tabela 1 (SUDENE, 2017).

Tabela 1 – Quantidade de municípios, área e população dos estados que fazem parte do semiárido brasileiro

Estado	Quantidade de municípios	Área (Km ²)	População
Alagoas	38	12.583	962.641
Bahia	278	446.021	7.675.656
Ceará	175	146.889	5.827.192
Maranhão	2	3.523	213.693
Minas Gerais	91	121.259	1.492.198
Paraíba	194	51.306	2.498.117
Pernambuco	123	86.341	3.993.975
Piauí	185	200.610	2.805.394
Rio Grande do Norte	147	49.073	1.922.440
Sergipe	29	11.093	478.935
Total	1.262	1.128.698	27.870.241

Fonte: SUDENE (2017).

O semiárido brasileiro, tem como característica altas temperaturas, elevada taxa de radiação e evaporação, chuvas irregulares e concentradas em um curto espaço de tempo (média de três a quatro meses), apresentam volume de água em seus reservatórios muitas vezes insuficientes, e ocorrência de secas estacionais e periódicas (SILVA *et al.*, 2010; INSA, 2012).

Para determinar os estados que fazem parte do semiárido brasileiro, foram utilizados alguns critérios como, precipitação média anual inferior ou igual a 800 mm, índice de aridez de Thornthwaite inferior ou igual a 0,50 e o déficit hídrico diário superior ou igual a 60% (IBGE, 2018).

As condições edafoclimáticas e hídricas contribuem para a ocorrência de salinização tanto da água de irrigação como do solo. Condições estas que têm restringido a constância da produção agrícola e industrial, provocando impactos socioeconômicos (COSTA *et al.*, 2020), e implicando na subsistência de muitos produtores (COSME *et al.*, 2011).

A região semiárida do Nordeste brasileiro está cada vez mais vulnerável aos extremos impostos pelas condições adversas relacionadas principalmente a variabilidade climática, e potencializados pelas mudanças climáticas em escala global, as regiões inseridas nesse contexto serão afetadas principalmente pelo déficit de chuvas e aumento da aridez pelos próximos anos (MARENGO; BERNASCONI, 2015; VIEIRA *et al.*, 2015).

O Brasil é considerado um país bastante diversificado tanto em recursos terrestres como de água doce. No Brasil existe uma grande disponibilidade de água, principalmente de água doce, com maiores reservas na região Amazônica. Enquanto, na região do semiárido brasileiro, as reservas de água doce apresentam-se em menor quantidade (BRESSIANI *et al.*, 2015).

A seca e a salinidade são uns dos principais fatores que ocasionam estresse para as plantas e conseqüentemente provoca danos à cultura (AQUINO *et al.*, 2017). Com uma população em sua grande maioria dependente da produção agrícola, os efeitos negativos desses fatores têm conseqüência direta na deficiência hídrica, energética e alimentar nessas regiões (EAKIN *et al.*, 2014). Como forma de minimizar os efeitos ocasionados pela escassez hídrica, na região semiárida, foram construídos vários reservatórios para abastecer a população com água (KROL *et al.*, 2011). Essas conseqüências já existentes e as perspectivas futuras têm preocupado os gestores, agricultores e pesquisadores, e com isso cada vez mais busca-se entender o quanto essas mudanças têm impacto sobre os recursos hídricos, produção de alimentos e meios de subsistência (MARENGO *et al.*, 2017).

4.2 Águas subterrâneas

As águas subterrâneas são as águas que sucedem abaixo do nível freático ou do nível de saturação, existente nas formações geológicas aflorantes e parcialmente saturadas, e nas formações profundas totalmente saturadas (MANOEL FILHO, 2008), nelas estão contidas

uma grande parte da água doce disponível (HÖLTING; COLDEWEY, 2019). Estas águas apresentam grande importância devido a sua disponibilidade e baixo custo de armazenamento (CIDU, 2017). A sua extração é realizada para uso humano, na agricultura e na indústria (ZAHEDI, 2017) e contribuem, em grande parte, para a agricultura irrigada do mundo (JAIN; VAID, 2018). Tornam-se uma opção devido à escassez de águas superficiais, nos períodos de estiagem (LÖBLER; SILVA, 2015) e o seu uso vem crescendo consideravelmente no mundo todo (CARVALHO *et al.*, 2020). Porém, devido à alta exploração e a falta de cuidado no uso dessas águas, a tendência é de que ocorra uma redução na qualidade e no acesso as águas (ZAHEDI, 2017).

Devido à escassez de água que acomete o semiárido, como uma consequência de diversos fatores, essa carência afeta toda a população, em diversos âmbitos. Como forma de garantir a produção, faz-se necessário o uso de irrigação (LIMA *et al.*, 2016). Porém, em muitos locais não se tem o abastecimento necessário com água de boa qualidade, principalmente nas regiões áridas e semiáridas (SOARES *et al.*, 2016). Sendo assim, aumenta a dependência, da população, por águas subterrâneas (NUNES *et al.*, 2022).

Pesquisas realizadas pela Agência Nacional de Águas em 2007, revelaram que as águas subterrâneas simbolizam a principal fonte para o semiárido brasileiro, apesar da agência entender que as informações e os estudos são insuficientes, devido à falta de monitoramento e sistematização dos dados (ANA, 2007). Com isso, os reservatórios subterrâneos tornam-se uma alternativa para o abastecimento de água, porém em sua maioria apresentam restrições como, altos valores de sais dissolvidos na sua composição, por efeito do contato do material da fonte das rochas, e pequenas vazões (OLIVEIRA *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2018; LIRA *et al.*, 2019; NUNES *et al.*, 2022).

As taxas de recarga dos aquíferos subterrâneos apresentam grande variabilidade por conta das características hidrogeológicas do semiárido brasileiro, favorecendo constantes alterações na qualidade e quantidade de água disponível (SCANLON *et al.*, 2006; EDMUNDS *et al.*, 2009; HE *et al.*, 2016). Segundo a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), cerca de 75% da área do Ceará é constituída por rochas de embasamento cristalino, possuindo solos com pequena espessura. Sendo assim, indica que essas áreas apresentam baixa potencialidade hidrogeológica, geralmente, com baixas vazões e alto índice de sais.

A Agência Nacional de Águas (ANA) realiza o monitoramento hidrológico para fornecer informações das águas superficiais e subterrâneas, como quantidade e qualidade. Em 2021, existiam 2.938 estações de qualidade de água dos estados, 1.485 estações de qualidade da água da ANA e 409 pontos de monitoramento de águas subterrâneas. Em relação a

disponibilidade hídrica subterrânea, as bacias litorâneas estaduais do Ceará, apresentam uma recarga potencial direta de $73,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e uma recarga potencial explorável de $27 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. De acordo com dados da ANA, no ano de 2017 estimou-se 1,2 milhões de poços no Brasil, para o ano de 2021 essa estimativa foi ampliada para 2,6 milhões de poços (ANA, 2021).

A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) possui responsabilidades de Serviços Geológicos do Brasil (SGB). A CPRM possui como missão, gerar e disseminar conhecimento geocientífico com excelência, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida e desenvolvimento sustentável do Brasil. Além de possuir vários valores e princípios que visam o bem da sociedade. A empresa efetua algumas atividades relacionadas as águas subterrâneas como, a realizar o cadastro de pontos de água em vários estados, operar e alimentar o Sistema de Informações de Águas Subterrânea (SIAGAS). O SIAGAS é composto por um banco de dados de poços, é permanentemente atualizado, onde é possível consultar, pesquisar, extrair e gerar relatórios. Em fevereiro de 2022, o banco de dados do SIAGAS conta com 189.200 registros de poços na região Nordeste no seu banco de dados.

4.3 Qualidade da água

Devido à redução na quantidade de água de boa qualidade, para várias atividades, ocorreu um aumento na preocupação em relação à preservação dos recursos hídricos (MARTINS *et al.*, 2017). Com a diminuição na quantidade e qualidade dessas águas, tornou-se inevitável o uso de águas salinas, como forma de suprir as necessidades hídricas das plantas e animais (SILVA *et al.*, 2014; NUNES *et al.*, 2022).

Devido as águas subterrâneas não serem constantemente de boa qualidade, o uso de águas com qualidade inferior torna-se uma alternativa para o enfrentamento da escassez hídrica (NUNES *et al.*, 2022). Diante de alguns problemas que podem estar relacionados à qualidade da água, é necessário a realização de monitoração contínua das características físicas, químicas e biológicas da água, como uma atividade essencial, (KARKRA *et al.*, 2017; ZAHEDI 2017) visando conhecer os seus diferentes potenciais e possibilitando o uso seguro dessas águas de menor qualidade (NUNES *et al.*, 2022). Com isso, é de suma importância o desenvolvimento de estudos sobre a qualidade dessas águas, visto que elas podem afetar consideravelmente as propriedades do solo e da planta (ZHANG *et al.*, 2012).

A Agência Nacional de Águas (ANA) monitora e fiscaliza a qualidade das águas tanto superficiais como subterrâneas do Brasil, através do banco de dados que são abastecidos pelos órgãos estaduais que fazem o gerenciamento dos recursos hídricos. Em 2013, foi

introduzida a Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade da Água (RNQA) pela ANA, com o intuito de cooperar com os operadores, padronizando e ampliando o monitoramento das águas em nível nacional.

O monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, no Brasil, ainda é principiante. Existe a Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS), executada e mantida pela CPRM, que auxilia no monitoramento quantitativo com alertas qualitativos. Após a implantação do poço é realizada uma análise físico-química, composta por 43 parâmetros orgânicos voláteis e semivoláteis, e inorgânicos (ANA, 2021).

Com o passar dos anos foram desenvolvidos vários métodos com a finalidade de avaliar a qualidade da água. O método mais comum e mais utilizado no Brasil é o índice de qualidade da água (IQA), onde as informações de vários parâmetros relacionados à qualidade da água são transformadas em apenas um valor global (LIMA *et al.*, 2017).

A salinidade, a sodicidade e a toxicidade são os parâmetros fundamentais para avaliar a qualidade da água para irrigação (HOLANDA *et al.*, 2016). A salinidade é referente a concentração de sais na água, é dividida em quatro classes, o aumento dos sais consequentemente aumenta a condutividade elétrica da água. A sodicidade refere-se ao efeito ocasionado pelo sódio trocável nas condições físicas do solo, é dividida em quatro classes. E a toxicidade é referente à presença de elementos na água de irrigação, que sejam capazes de ocasionar toxidez as plantas, como sódio, cloro e boro (HOLANDA *et al.*, 2016).

A salinidade é um fator da diminuição dos rendimentos das plantas em razão dos efeitos osmóticos, tóxicos e nutricionais, que prejudica os processos metabólicos vitais (MUNNS, 2002; TESTER; DAVENPORT, 2003). Os sais são depositados no solo por meio das águas de irrigação, e podem acabar ficando acumulados no solo. Os impactos dos sais, para as plantas ou para o solo, na região semiárida, são mais explícitos em razão da alta evaporação e baixa precipitação nessa região (SOARES *et al.*, 2016).

A qualidade da água para irrigação pode ser classificada seguindo algumas metodologias. Na metodologia de Richards (1954), a água pode ser classificada conforme o perigo de salinização em quatro classes, C1: $< 0,25 \text{ dS m}^{-1}$, água de salinidade baixa, que pode ser utilizada para irrigação da maioria das culturas, em quase todos os solos e a probabilidade de ocasionar problemas de salinidade é muito pouca; C2: $0,25 \text{ a } 0,75 \text{ dS m}^{-1}$, água de salinidade média, pode ser utilizada para culturas moderadamente tolerantes aos sais, pode ser utilizada sempre e quando tiver uma lixiviação de sais; C3: $0,75 \text{ a } 2,25 \text{ dS m}^{-1}$, água de salinidade alta, não deve ser utilizada em solos com drenagem deficiente, é necessário práticas especiais para controle de salinidade mesmo quando houver drenagem eficiente; C4: $> 2,25 \text{ dS m}^{-1}$, água de

salinidade muito alta, imprópria para uso sob condições normais, seu uso deve ser apenas em ocasiões especiais, os solos necessitam de drenagem adequada, ser permeáveis e cultivado com culturas altamente tolerante aos sais.

Já a metodologia proposta por Ayers e Westcot (1991) é composta por apenas 3 classes de salinização, sendo assim a água pode ser classificada como, C1: $< 0,7 \text{ dS m}^{-1}$, água sem problema de salinidade, pode ser utilizada para todas as culturas, incluindo as que são sensíveis à salinidade e em todos os solos; C2: $0,7 \text{ a } 3,0 \text{ dS m}^{-1}$, água com problema de salinidade moderado, seu uso deve ser adotado quando se utilizar culturas moderadamente tolerantes à salinidade; C3: $> 3,0 \text{ dS m}^{-1}$, água com problema severo de salinização, seu uso deve ser apenas em condições específicas.

A relação de adsorção de sódio indica o perigo de alcalinização ou sodificação do solo com emprego de águas salobras. Na metodologia de Richards (1954) as águas também podem ser classificadas em quatro classes, S1: $0 \text{ a } 9 \text{ mmol L}^{-1}$, água com baixa concentração de sódio, pode ser utilizada para a maioria dos solos, possibilidade baixa de ocasionar problemas com sódio; S2: $10 \text{ a } 17 \text{ mmol L}^{-1}$, água de média concentração de sódio, deve ser utilizada apenas em solo com de textura grossa ou orgânicos com boa permeabilidade, pode ocasionar risco de sodificação; S3: $17 \text{ a } 25 \text{ mmol L}^{-1}$, água com alta concentração de sódio, seu uso exige práticas especiais de manejo do solo, boa drenagem, alta lixiviação e a incorporação de matéria orgânica; S4: $> 26 \text{ mmol L}^{-1}$, água com concentração de sódio muito alta, normalmente é imprópria para irrigação a não ser que apresente baixa salinidade.

Mas na metodologia de Ayers e Westcot (1991) – FAO, em relação ao perigo de sódio, as águas são classificadas apenas em três classes de sodicidade, através da relação da RAS° com a CE da água de irrigação. As classes de sodicidade são, S1: sem problemas; S2: problemas crescentes; S3: problemas severos. Diferentemente da metodologia de Richards (1954), a metodologia da FAO demonstra que o aumento da salinidade da água de irrigação reduz os riscos de sodicidade.

Pesquisas vêm sendo desenvolvidas, que focam principalmente em alguns parâmetros como, sódio, cálcio, magnésio, potássio, cloreto, nitrato, sólidos totais dissolvidos, pH, ferro, manganês e sulfato, devido esses atributos serem os que, com maior frequência, ultrapassam as diretrizes de qualidade da água subterrânea (LI *et al.*, 2017). Cruz e Melo (1974) relatam que a salinização das águas subterrâneas do Nordeste brasileiro além da alta concentração de sais ocorre também um aumento de cloreto, sódio e magnésio. No semiárido brasileiro, 70% do embasamento geológico é composto por rochas cristalinas. Essas rochas

originam solos, que normalmente, são rasos e possuem baixa capacidade de armazenamento de água (SUASSUNA, 2019).

4.4 Uso de águas subterrâneas salobras no semiárido

A agricultura e a pecuária constituem a economia do semiárido, porém, um aspecto que limita o seu desenvolvimento é a disponibilidade hídrica (MARENGO *et al.*, 2011; AMARAL *et al.*, 2021). Com a redução nos parâmetros de qualidade e quantidade das águas superficiais, torna-se comum a construção de reservatórios como um artifício de escape para armazenar água no período seco, com isso, a utilização das águas subterrâneas passa a ser de maior frequência (ALBUQUERQUE *et al.*, 2015; NASCIMENTO *et al.*, 2016; AMARAL *et al.*, 2021). Porém, é necessário adotar planos de preservação para as águas subterrâneas como, controle e vistoria da captação, redução da contaminação físico-química, evitar perdas de água (LIMA; FERREIRA NETO, 2020).

Por mais que exista uma grande quantidade de poços perfurados, públicos e privados, muitos são abandonados por conta da presença de altos teores de sais e por apresentarem baixas vazões (COSTA, 1995). Visando promover a utilização das águas salobras, foi desenvolvido a técnica de dessalinização por osmose reversa. Esse método de dessalinização é bastante utilizado no semiárido, contribuindo para a disponibilidade de água com melhor qualidade (SANTOS *et al.*, 2010).

O Programa Água Doce atende a população de baixa renda do semiárido, visando a dessalinização de águas. A predominância na utilização desse método está relacionada à simplicidade e robustez do equipamento e aos custos de instalação e operação mais acessíveis (AMORIM *et al.*, 2001). No entanto, por questões econômicas ou por falta de assistência técnica qualificada, existem muitos aparelhos desativados (PINHEIRO; CALLADO, 2005), o que indica que muitos produtores possuem apenas água salobra para utilização.

Com a predominância de disponibilidade de águas salobras, torna-se necessários estudos com estratégias objetivando a utilização dessas águas, de modo a diminuir os impactos negativos do excesso de sais. Muitos pesquisadores desenvolvem pesquisas relacionadas à adoção de estratégias de uso com água salobra como a seleção de espécies tolerantes e moderadamente tolerantes aos sais, manejo da irrigação nos estádios de maior tolerância, uso cíclico da água, mistura de águas de baixa e alta salinidade (LACERDA *et al.*, 2016). Outras estratégias que podem ser utilizadas é a captação de água “*in situ*”, captação de água de chuva, sistemas de consórcio, rotação de culturas (CAVALCANTE, 2020).

Carvalho (2017) através da aplicação de questionários aos produtores e da caracterização da qualidade das águas subterrâneas do Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú – DIBAU, concluiu que ocorreu um aumento na demanda do uso de água subterrânea devido à seca; existe a falta de informação e orientação sobre a qualidade das águas subterrâneas; e 30% dos produtores detectaram problemas na qualidade das águas subterrâneas, como salinidade, presença de ferro e variações no pH.

Amaral *et al.* (2021) avaliando as águas subterrâneas salobras do semiárido do Rio Grande do Norte, concluíram que dos 47 poços tubulares avaliados, cerca de um terço apresentou águas adequadas para uso na dessedentação animal e irrigação. A maioria dos poços apresentaram restrições para o uso na irrigação quando comparado ao uso para dessedentação animal.

Com isso, o uso das águas subterrâneas salobras é uma fonte de subsistência para a população, em especial do semiárido, seja para suprimento humano, irrigação agrícola ou dessedentação animal. Sendo de suma importância a adoção e execução de projetos e políticas públicas que estejam diretamente ligados à um melhor fornecimento de água para todos.

4.5 Produção bioessalina

A agricultura bioessalina é a agricultura que é desenvolvida sob vários níveis de salinidade, seja em águas, solos ou a mistura dos dois (MASTERS *et al.*, 2007). Ela propõe buscar alternativas para o uso de águas salobras como substituição da água de baixa salinidade (SILVA *et al.*, 2015).

As plantas podem passar pelos processos de aclimação ou adaptação, como forma de habituar-se as mudanças decorrentes dos efeitos da salinidade. O processo de aclimação se dá em decorrência de uma exposição anterior à um estresse ou a distintas modificações no ambiente. Já o processo de adaptação, ocasiona modificações genéticas herdáveis, durante o processo de evolução, busca meios de adaptar-se ao estresse (FERNANDES *et al.*, 2016).

As plantas também são capazes de sofrer processos de adaptações morfológicas e anatômicas, que podem variar a depender da espécie. As plantas podem formar glândulas de sal nas folhas e posteriormente excretá-los, para que controle o excesso de sais no seu interior. A taxa de secreção dos sais é dependente de alguns fatores, como luz, temperatura, balanço hídrico, umidade relativa e outros. Os pelos vesiculares, que se desenvolvem na epiderme de caules e folhas, também podem acumular sais, e para estes serem reduzidos na planta ocorre o rompimento das vesículas ou elas podem destacar-se das folhas. A suberização de cutículas e a

formação de cera contribui para reduzir a entrada de sais no interior da planta, através da redução da transpiração. Outro mecanismo é a abscisão de órgãos e tecidos, sendo uma forma de adaptação das plantas em condições salinas. Essa abscisão colabora para uma atenuação da área foliar, ocasionando uma menor perda de água por meio do processo de transpiração (FERNANDES *et al.*, 2016).

Algumas adaptações fisiológicas ao estresse salino podem ser desenvolvidas pelas plantas. Como o mecanismo de escape, onde as plantas completam o seu ciclo em um menor período, evitando assim sua exposição a condições de estresse. E o mecanismo de tolerância, onde ocorre um aumento da atividade metabólica quando o estresse em que a planta está submetida é grande (FERNANDES *et al.*, 2016).

As plantas respondem de forma diferente aos efeitos negativos da salinidade, visto que a tolerância aos sais varia conforme a espécie ou cultivar. As plantas apresentam um limite tolerável de salinidade que não ocasiona redução na produtividade potencial, porém conforme aumenta a salinidade ocorre um decréscimo na produtividade (DIAS *et al.*, 2016).

O tipo de sal, o método e a frequência de irrigação e as condições climáticas determinam os níveis de tolerância e sensibilidade das plantas aos sais (DIAS *et al.*, 2016). Baseados na tolerância e sensibilidade, as espécies vegetais podem ser classificadas como halófitas ou plantas glicófitas. As halófitas são nativas de ambientes salinos e conseguem completar seu ciclo de vida em condições de alto teor de sais, graças aos mecanismos de filtração, excreção, compartimentalização e secreção em glândulas, dentre outros. As halófitas podem ser obrigatórias ou facultativas. As obrigatórias necessitam de suplementação constante de sal para ajudar no seu desenvolvimento, enquanto as facultativas podem se desenvolver em condições salinas ou não salinas (COSTA; BONILLA, 2016; FERNANDES *et al.*, 2016). As plantas glicófitas apresentam uma menor tolerância aos efeitos dos sais (DIAS *et al.*, 2016; NIKALJE *et al.*, 2018). A partir do conhecimento da tolerância relativa das culturas, é possível escolher as culturas conforme os níveis de salinidade da água ou do solo (DIAS *et al.*, 2016).

Muitos agricultores designam a utilização das águas salinas provenientes dos poços para o consumo animal, principalmente em regiões áridas e semiáridas, devido à capacidade de adaptação às altas concentrações salinas (SANTOS *et al.*, 2014). A presença de sais nessa água, pode provocar distúrbios fisiológicos ou a morte. A depressão do apetite é a principal consequência, é ocasionada por um desequilíbrio hídrico e não está relacionada a um íon específico (AYERS; WESTCOT, 1999).

Para disponibilizar a água para uso animal, alguns pontos devem ser levados em consideração como, a fonte de água, saber as possíveis contaminações e o equilíbrio químico

das águas; as mudanças sazonais, como em períodos quentes e secos, pois pode ocorrer aumento da salinidade natural por conta da evapotranspiração, aumento do consumo de água, aumento da temperatura da água; a idade e estado do animal, animais prenhes, lactantes, jovens e fracos; a composição da ração, pois algumas rações podem reduzir a tolerância à salinidade; as espécies, a tolerância varia entre as espécies (AYERS; WESTCOT, 1999).

4.6 Geoprocessamento

O geoprocessamento significa a disciplina do conhecimento que faz uso de técnicas matemáticas juntamente com procedimentos computacionais que, operando sobre bases de dados georreferenciados existentes e originados do sensoriamento remoto, da cartografia digital ou de qualquer outra fonte, realiza classificações e outras transformações destinadas ao esclarecimento da organização do espaço geográfico (CAMARA; DAVIS, 2003). Esse conjunto de ferramentas é intitulado de geotecnologias, que são compostas por software e hardware (TOSTO *et al.*, 2014), que atuam na coleta, processamento, análise e oferta de informações com referências geográficas (ROSA, 2005).

Nas últimas décadas, o uso do geoprocessamento foi bastante estudado e utilizado para diversos fins. Na questão ambiental, essa tecnologia se faz muito presente por ser uma ferramenta prática e eficaz, devido suas múltiplas ciências auxiliares (MARTINS, 2010), além de ser uma importante ferramenta de análise que contribuem nas tomadas de decisões, devido às diversas maneiras de interpolar e manipular dados geoespaciais (Zaidan, 2017). As técnicas e aplicações geoespaciais proporcionam a identificação, localização, monitoramento e acompanhamento em diversos campos da agricultura.

A união do geoprocessamento com técnicas de mapeamento contribuem para a obtenção de mapas temáticos e a quantificação de áreas, podendo ser aplicado em diversas áreas como: áreas de agricultura, pastagem, campo nativo, reflorestamentos e florestamentos, florestas nativas, fruticultura, afloramentos rochosos, banhados, áreas sujeitas a alagamento, açudes, barragens, áreas erodidas, áreas degradadas, comprimento de estradas e cercas, e outras (MOTTA; WATZLAWICK, 2000).

Na literatura, existem diversas definições de Sistema de Informações Geográficas (SIG), mas de forma geral, é uma geotecnologia composta por um conjunto de técnicas computacionais utilizadas na interação e análise de dados oriundos de várias fontes, que passam a adquirir, armazenar, analisar e exibir dados geográficos (SANTOS, 2007), essa tecnologia pode ser aplicada nos aspectos sociais, ambientais e econômicos. O SIG deve englobar alguns

elementos como, interface com o usuário, entrada e integração de dados, consulta, análise espacial e processamento de imagem, armazenamento e recuperação de dados (banco de dados geográficos) (ASSAD; SANO, 1998). Com o uso desta ferramenta, é possível o armazenamento de imagens e informações e também o cruzamento destes, possibilitando um resultado mais amplo e preciso do estudo (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

Quando se faz o uso de SIGs, associado as técnicas de geoprocessamento, permitem o manuseio de muitos dados e informações, além de executar representações cartográficas (ZANATA *et al.*, 2012). Rosa (2005) acredita que o uso das tecnologias de geoprocessamento podem ser uma maneira para o gerenciamento de dados que são utilizados como auxílio em várias áreas. Essas ferramentas do geoprocessamento contribuem para a identificação do potencial dos recursos hídricos subterrâneos, possibilitando contornar à realidade de muitos produtores que vivem com a realidade da escassez de água de boa qualidade.

5. CAPÍTULO 1: IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DAS POTENCIALIDADES DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS SALOBRAS PARA PRODUÇÃO BIOSALINA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

RESUMO

O objetivo deste estudo foi definir, com base em indicadores qualitativos e quantitativos, o potencial de poços com água salobra para 21 sistemas de produção agrícola e 7 sistemas de produção animal, em uma área representativa do semiárido brasileiro, o Ceará. O trabalho foi desenvolvido utilizando um banco de dados de análises químicas de águas de poços de 179 municípios do Estado do Ceará, composto por 25.497 poços, sendo 6.284 poços (24,64 % do total) atendendo aos critérios de qualidade e disponibilidade hídrica estabelecidos para o estudo ($CE \geq 0,8 \text{ dS m}^{-1}$ e $Q \geq 0,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$). Fica evidente que o potencial produtivo das águas salobras subterrâneas do semiárido brasileiro não depende apenas da tolerância da cultura e dos animais à salinidade, mas do conjunto de dados do sistema de produção (grau de tolerância à salinidade e demanda hídrica) e da fonte hídrica (salinidade da água e a vazão). Observa-se na análise conjunta desses dados que os sistemas de produção vegetal com menor requerimento hídrico (palma forrageira, irrigação suplementar, cultivo hidropônico e produção de mudas), mesmo com níveis de tolerância moderada ao estresse salino, apresentaram os melhores resultados do que espécies mais tolerantes. Deve-se destacar ainda a necessidade de difusão de sistemas múltiplos (consórcios de espécies vegetais ou combinação de peixes com vegetais), os quais aumentam as oportunidades de sustentabilidade dos sistemas produtivos no semiárido. A criação de aves, ovinos e caprinos são ótimas opções para a região semiárida. Para animais de portes maiores (suínos e bovinos), a realidade muda conforme a quantidade de animais, mas as limitações em termos de salinidade da água são baixas. As águas subterrâneas dessa região, mesmo com baixas vazões e a presença de sais, podem garantir de forma geral, a criação de animais e permitir o desenvolvimento de milhares de pequenos negócios no semiárido brasileiro.

Palavras-chave: Terras secas, aquíferos, salinidade, biosalinidade, sustentabilidade.

ABSTRACT

The objective of this study was to define, based on qualitative and quantitative indicators, the potential of wells with brackish water for 21 agricultural production systems and 7 animal production systems, in a representative area of the Brazilian semi-arid region, Ceara. The work was carried out using a database of chemical analyzes of water from wells in 179 municipalities in the State of Ceará, comprising 25,497 wells, 6,284 of which (24.64 % of the total) meeting the criteria for quality and water availability established for the study ($EC \geq 0.8 \text{ dS m}^{-1}$ and $Q \geq 0.5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$). It is evident that the productive potential of brackish underground waters in the Brazilian semi-arid region does not depend only on the tolerance of the crop and animals to salinity, but on the set of data from the production system (degree of tolerance to salinity and water demand) and the water source (water salinity and discharge rate). It is observed in the joint analysis of these data that the plant production systems with lower water requirement (forage palm, supplementary irrigation, hydroponic cultivation and seedling production), even with moderate tolerance levels to saline stress, presented better results than more tolerant species. It should also be highlighted the need to disseminate multiple systems (consortia of plant species or combination of fish and plants), which increase the opportunities for sustainability of production systems in the semi-arid region. Raising poultry, sheep and goats are excellent options for the semi-arid region. For larger animals (pigs and cattle), the reality changes according to the number of animals, but the limitations in terms of water salinity are low. Groundwater in this region, even with low flows and the presence of salts, can guarantee, in general, the raising of animals and allow the development of thousands of small businesses in the Brazilian semi-arid region.

Keywords: Drylands, aquifers, salinity, biosalinity, sustainability.

5.1 Introdução

As regiões semiáridas do mundo apresentam uma escassez hídrica e estão cada vez mais vulneráveis a eventos extremos, impostos pela variabilidade climática e potencializados pelas mudanças climáticas em escala global (MARENGO; BERNASCONI, 2015; MURALIKRISHNAN *et al.*, 2022). Particularmente as regiões semiáridas tropicais enfrentam várias restrições que comprometem a sustentabilidade (LOPES *et al.*, 2009; CAVALCANTE JÚNIOR *et al.*, 2019; ANDRADE *et al.*, 2020) e a expansão dos setores agrícolas, tais como alta temperatura, escassez de água, solos pouco desenvolvidos e alta salinidade das fontes de água subterrânea (SILVA *et al.*, 2007; BATISTÃO *et al.*, 2020; SANTACRUZ-DE LÉON *et al.*, 2022). Secas prolongadas, como observadas no semiárido brasileiro entre 2012 e 2016 (ALVALÁ *et al.*, 2019; MELATI *et al.*, 2019) causaram perdas severas na produção agrícola e pecuária, além de impactar outros setores da economia (MARENGO *et al.*, 2017).

A agricultura irrigada é responsável pelo maior consumo de água disponível nas regiões áridas e semiáridas (GAO *et al.*, 2020; FRIZZONE *et al.*, 2021). No entanto, os agricultores dessas regiões sofrem com problemas relacionados à disponibilidade e qualidade da água para a produção agrícola (ANDRADE *et al.*, 2010) e para a dessedentação animal. Segundo Pedro *et al.* (2014), a maioria dos reservatórios superficiais presentes no semiárido brasileiro tem capacidade variando de 1 a 1.000 hm³, prevalecendo os tamanhos pequeno (menos de 10 hm³) e médio (10 a 50 hm³). Dada a alta taxa de evaporação e a escassez de água superficial nesta região, o uso de águas subterrâneas é uma alternativa viável (NUNES *et al.*, 2022).

Com a escassez de água de baixa salinidade para uso na agricultura irrigada e para o fornecimento aos animais, o uso de água salobra surge como uma alternativa (SILVA *et al.*, 2015; AMARAL *et al.*, 2023). Embora essas fontes salobras possam atender às necessidades hídricas de certos sistemas de produção e de alguns animais, a alta concentração de sal é uma restrição para o crescimento e produtividade da maioria das culturas (MUNNS *et al.*, 2002; ZÖRB *et al.*, 2018; FERREIRA *et al.*, 2022) e também para alguns animais. Plantas sob estresse salino podem apresentar alterações em suas atividades metabólicas e bioquímicas devido aos efeitos osmóticos e iônicos do excesso de sais na zona radicular, com impactos diretos na condutância estomática e taxa fotossintética, inibição da síntese de proteínas e atividades enzimáticas e aumento da degradação de clorofila (LIANG *et al.*, 2018; TORRES MENDONÇA *et al.*, 2022). O consumo de água com elevados teores de sais pelos animais, pode provocar distúrbios fisiológicos ou até a morte.

Para contornar parcialmente os problemas de salinidade na agricultura, existe uma vasta literatura sobre a tolerância ao sal nas culturas (AYERS; WESTCOT, 1985), bem como estratégias de manejo para reduzir os impactos do excesso de sais no desenvolvimento das culturas (LACERDA *et al.*, 2021). Segundo índices de qualidade, por exemplo, uma alta porcentagem das águas salobras subterrâneas (51%) no semiárido brasileiro foram classificadas com qualidade ruim para o cultivo de plantas, enquanto 87% integraram as classes de melhor qualidade (excelente e boa) para produção animal (AMARAL *et al.*, 2023). Por outro lado, estudos que avaliem simultaneamente o potencial quantitativo e qualitativo das águas salobras subterrâneas para fins agrícolas não foram realizados até o momento. Portanto, essa abordagem inovadora precisa ser desenvolvida para garantir a expansão da produção bioessalina sustentável sob clima árido e semiárido. Os resultados desse tipo de pesquisa podem fornecer um guia mais realista para o uso da água salobra subterrânea pelos agricultores, bem como para o aprimoramento de políticas públicas relacionadas ao setor agrícola.

Considerando essa nova abordagem, nosso estudo testou a hipótese de que o potencial das águas subterrâneas salobras no semiárido brasileiro depende do nível de salinidade da água, disponibilidade hídrica (vazão e tempo de funcionamento do poço) e características inerentes aos sistemas de produção (tolerância ao sal e demanda de água). Assim, o objetivo deste estudo foi definir, com base em indicadores qualitativos e quantitativos, o potencial de poços com água salobra para 21 sistemas de produção agrícola e 7 sistemas de produção animal, em uma área representativa do semiárido brasileiro.

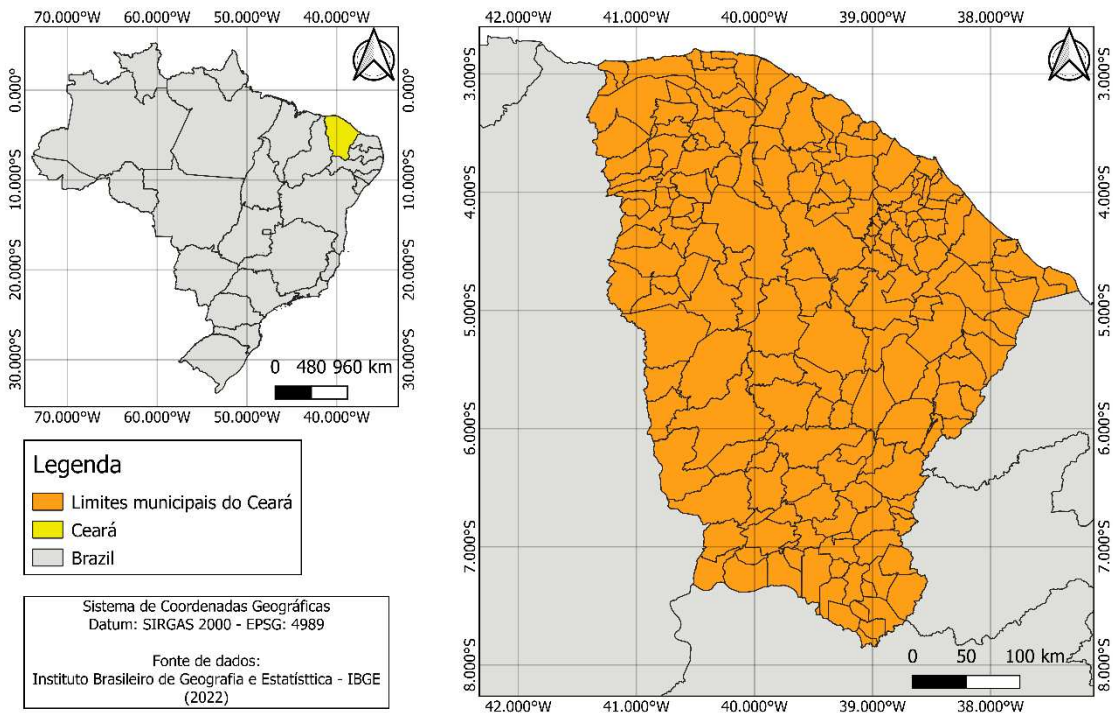
5.2 Material e métodos

5.2.1 Localização e caracterização da área do estudo

O semiárido brasileiro abrange áreas de 9 estados da região Nordeste e um da região Sudeste, com 1.262 municípios, área de aproximadamente 1,13 milhões de km² e cerca de 27 milhões de habitantes (SUDENE, 2017). O estudo foi desenvolvido no Estado do Ceará, utilizando-se banco de dados de vazão e salinidade de águas subterrâneas de todo o Estado (Figura 1). O Estado do Ceará fica localizado na região Nordeste do Brasil, é composto por 184 municípios, possuindo uma área total de 148,886 Km² e cerca de 8.9 milhões de habitantes. Segundo a classificação de Köppen, o Ceará é integrado por dois tipos de clima o BSh (clima tropical semiárido) e o Aw (clima tropical com inverno seco), possuindo predominância do clima tropical semiárido em aproximadamente 95% da área do estado, com precipitação anual

inferior a 800 mm, temperatura média anual de 27°C e evapotranspiração potencial de 1700 mm, com a estação chuvosa entre os meses de janeiro e julho (ALVARES *et al.*, 2013; IPECE, 2015; SUDENE, 2017; CODEVASF, 2022).

Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo



Fonte: Autor (2023).

5.2.2 Caracterização do banco de dados

O trabalho foi desenvolvido utilizando um banco de dados de análises químicas de águas de poços de 179 municípios do Estado do Ceará, fornecidos pela Superintendência de Obras Hidráulicas do Ceará - SOHIDRA e pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. A seleção das águas salobras dos poços foi realizada com base na condutividade elétrica da água ($CEa \geq 0,8 \text{ dS m}^{-1}$ (critério de qualidade) e na vazão do poço ($Q \geq 0,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (critério de produtividade de água).

O banco de dados é composto por poços perfurados no período de 1987 até 2021, totalizando 25.497 poços, sendo 6.284 poços (24,64 % do total) atendendo aos critérios de qualidade e disponibilidade hídrica estabelecidos para o estudo ($CEa \geq 0,8 \text{ dS m}^{-1}$ e $Q \geq 0,5 \text{ m}^3$

h^{-1}). O banco de dados também engloba algumas informações tais como: município, localidade, coordenadas geográficas, ano de perfuração, profundidade, as quais são relevantes para o desenvolvimento do estudo. Na Tabela 2, estão apresentados os valores mínimos, médios, máximos e a mediana da condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, vazão e profundidade.

Tabela 2 – Valores mínimos, médios, máximos e a mediana dos parâmetros de condutividade elétrica da água (CEa), sólidos totais dissolvidos (STD), vazão e profundidade dos 6.284 poços com água salobra do banco de dados do Estado do Ceará

Parâmetros	Mínimo	Médio	Máximo	Mediana
CE (dS m^{-1})	0,80	2,89	29,40	1,97
STD (mg L^{-1})	508,80	1.980,57	23.520,00	1.260,80
Vazão ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$)	0,50	4,10	180,00	2,48
Profundidade (m)	11,50	69,38	233,00	70,00

Fonte: Autor (2023).

5.2.3 *Sistemas de produção vegetal*

Para avaliar o uso potencial das águas salobras, foram considerados 19 sistemas de produção vegetal e duas associações peixe (Tilápia) com plantas, descritos a seguir: i) irrigação plena de halófitas; ii) irrigação plena da cultura do milho; iii) irrigação suplementar do milho; iv) irrigação suplementar do algodão; v) irrigação suplementar do feijão-caupi; vi) irrigação plena do feijão-caupi; vii) irrigação suplementar do sorgo; viii) irrigação plena do sorgo; ix) irrigação suplementar da bananeira; x) irrigação alternada com água de baixa salinidade para culturas anuais; xi) irrigação da palma forrageira; xii) irrigação suplementar de forrageiras (capim Tanzânia, capim elefante, cunhã, etc.); xiii) Irrigação plena/suplementar do cajueiro em solos arenosos; xiv) Irrigação plena/suplementar do coqueiro em solos arenosos; xv) Hidroponia NFT ou DTF (hortaliças e folhosas); xvi) Produção de mudas de coqueiro; xvii) Produção de mudas de cajueiro; xviii) Plantas ornamentais herbáceas; xix) Produção de mudas de árvores da Caatinga; xx) associação peixe (Tilápia - *Oreochromis niloticus*) e glicófitas; xxi) associação peixe (Tilápia - *Oreochromis niloticus*) e halófitas. Para a escolha desses sistemas de produção vegetal foi considerado a adaptabilidade ao clima tropical semiárido, sendo comumente utilizados em pequenas e médias propriedades rurais do semiárido brasileiro.

5.2.3.1 Definição dos limites de salinidade

Os limites de condutividade elétrica da água para os 21 sistemas de produção foram definidos com base em resultados publicados na literatura (Tabela 3), considerando-se perda máxima de 10% da produção (CE_{90}).

Tabela 3 – Referências utilizadas para definição da condutividade elétrica da água adequada para os sistemas de produção, admitindo-se perda máxima de 10% da produção

Sistemas de produção	CE_{90} (dS m ⁻¹)*	Referências
1. Irrigação plena de halófitas (Atriplex, Sarcocórnia etc.)	11,4	PORTO <i>et al.</i> , 2006; COSTA e BONILLA, 2016.
2. Irrigação plena do milho	1,7	Definido a partir dos dados de AYERS e WESTCOT, 1999 e LACERDA <i>et al.</i> , 2011.
3. Irrigação suplementar do milho	3,2	Adaptado de LACERDA <i>et al.</i> , 2011; BARBOSA <i>et al.</i> , 2012. CAVALCANTE <i>et al.</i> , 2021.
4. Irrigação suplementar do algodão	5,1	Definido a partir dos dados de AYERS e WESTCOT, 1999 e CAVALCANTE <i>et al.</i> , 2005.
5. Irrigação plena do feijão-caupi	2,5	Adaptado de BEZERRA <i>et al.</i> , 2010; NEVES <i>et al.</i> , 2015.
6. Irrigação suplementar do feijão-caupi	4,0	Definido a partir dos dados de BEZERRA <i>et al.</i> , 2010; NEVES <i>et al.</i> , 2015.
7. Irrigação plena do sorgo	4,0	Definido a partir dos dados de AYERS e WESTCOT, 1999; VIEIRA <i>et al.</i> , 2005; COSTA <i>et al.</i> , 2019; ORESCA <i>et al.</i> , 2021; GUIMARÃES <i>et al.</i> , 2022.
8. Irrigação suplementar do sorgo	5,0	Definido a partir dos dados de AYERS e WESTCOT 1999; VIEIRA <i>et al.</i> , 2005; GUIMARÃES <i>et al.</i> , 2022.
9. Irrigação suplementar da bananeira	2,6	Definido a partir dos dados de AYERS e WESTCOT, 1999 e SILVA <i>et al.</i> , 2005.
10. Irrigação alternada com água de baixa salinidade ou mistura de água para culturas anuais (melão, milho, etc.)	4,5	BARBOSA <i>et al.</i> , 2012; CORDÃO TERCEIRO NETO <i>et al.</i> , 2013.
11. Irrigação plena da palma forrageira	3,0	FONSECA <i>et al.</i> , 2019; SANTOS <i>et al.</i> , 2020.
12. Irrigação suplementar de forrageiras (capim Tanzânia, capim elefante, cunhã, etc.)	3,0	MARTINS <i>et al.</i> , 2012; MAIA, 2013; VALE e AZEVEDO, 2013; PRAXEDES <i>et al.</i> , 2019.

13. Irrigação plena/suplementar do cajueiro em solos arenosos	5,0	GUILHERME <i>et al.</i> 2005; ARAÚJO <i>et al.</i> , 2014.
14. Irrigação plena/suplementar do coqueiro em solos arenosos	6,0	FERREIRA NETO <i>et al.</i> , 2002; MARINHO <i>et al.</i> , 2005.
15. Produção de mudas de coqueiro	4,5	MARINHO <i>et al.</i> , 2005; LIMA, 2014.
16. Produção de mudas de cajueiro	3,0	SOUSA <i>et al.</i> , 2011; FREITAS <i>et al.</i> , 2013; TORRES <i>et al.</i> , 2014.
17. Plantas ornamentais herbáceas	2,5	BEZERRA, 2019; SALES <i>et al.</i> , 2019; PINHO <i>et al.</i> , 2022.
18. Produção de mudas - árvores da Caatinga	2,5	SOUSA NETO <i>et al.</i> , 2011.
19. Hidroponia NFT ou DTF (hortaliças e folhosas)	3,0	SOARES <i>et al.</i> , 2016; SILVA <i>et al.</i> , 2018; SOARES <i>et al.</i> , 2020.
20. Peixe + glicófitas	3,0	**
21. Peixe + halófitas	9,0	***

Fonte: Autor (2023). *Condutividade elétrica a 25 °C; **Definidas para os sistemas de glicófitas que serão utilizados na associação com peixes (irrigação suplementar, hidroponia, irrigação da palma forrageira e produção de mudas); ***valor limite para o cultivo de tilápia, conforme Likongwe *et al.* (1996); Kamal and Mair (2005) and Souza *et al.* (2022).

De modo geral, optou-se por níveis de salinidade da água menos restritivos, considerando a existência de solos pouco desenvolvidos nas áreas onde predominam as águas salobras subterrâneas do semiárido brasileiro. Uma fração de lixiviação mínima de 15% deve ser aplicada para evitar acúmulo excessivo de sais, especialmente com uso de irrigação plena. A razão de adsorção de sódio (RAS) deverá ser avaliada no caso de solos de textura média ou com altos teores de argila, embora os valores de RAS não sejam elevados na maioria dos mananciais da região estudada (SILVA *et al.*, 2007). O potencial de incrustação ou corrosão também deve ser avaliado em alguns casos, para evitar problemas de entupimento no sistema de irrigação, principalmente em águas com alta concentração de carbonatos e sulfatos (AYERS; WESTCOT, 1985).

Para irrigação suplementar os níveis de salinidade adequados serão maiores para culturas anuais, considerando-se a possibilidade de lixiviação de parte dos sais pela água das chuvas (CAVALCANTE *et al.*, 2022). Para a cultura do algodão optou-se por utilizar o valor salinidade limiar (irrigação plena) para a irrigação suplementar, face os tipos de solos em que o algodão é cultivado, normalmente com maiores teores de argila. Para culturas perenes, considerou-se a possibilidade de irrigação plena ou suplementar. Na irrigação plena de plantas perenes, como coqueiro e cajueiro, deve ser efetivada em solos arenosos profundos e pomares

de plantas em produção. A implantação de novos pomares dessas culturas deve ser feita no início de estação chuvosa, com uso de irrigação suplementar com água salobra, caso necessário.

Para a maioria dos casos recomenda-se a irrigação localizada, visto que reduz os impactos da salinidade sobre a produtividade das culturas. No entanto, admite-se a irrigação por aspersão para culturas anuais, especialmente para forrageiras, sobretudo no caso de irrigação suplementar e para salinidades moderadas. A irrigação suplementar poderá ser praticada de janeiro a julho ou agosto (estação chuvosa do semiárido brasileiro). A palma forrageira só deverá ser irrigada na estação seca.

O sistema de peixe + glicófitas, combina o cultivo da tilápia com sistemas de produção vegetal (irrigação suplementar do milho ou irrigação da palma forrageira ou produção de mudas ou hidroponia), e considerou-se o limite médio de salinidade para o cultivo das plantas. Para o sistema peixe + halófitas, foi considerado o valor limite de tolerância para o cultivo da tilápia, o qual ficam em torno de $9,0 \text{ dS m}^{-1}$ (LIKONGWE *et al.*, 1996; KAMAL; MAIR, 2005; SOUZA *et al.*, 2022)

Dos 21 sistemas de produção que foram avaliados (Tabela 3), os 14 primeiros foram classificados com base no tamanho da área (0,5 e 1,0 hectare). Para a hidroponia foi considerado uma área de 100 metros quadrados. Na produção de mudas e plantas ornamentais herbáceas considerou-se a quantidade de 2000 mudas ou 2000 plantas. E para os sistemas consorciados com peixe, adotou-se tanques de 100 m^3 .

5.2.3.2 Definição das vazões mínimas requeridas

Na Tabela 4 foram definidas as vazões mínimas para os sistemas de produção vegetal de acordo com o tamanho do empreendimento, demanda hídrica de cada sistema de produção e tempo de funcionamento do poço profundo (6 horas por dia). A necessidade mínima diária de água ($\text{m}^3 \text{ dia}^{-1}$) para cada sistema foi obtida multiplicando-se a vazão mínima por 6 (tempo de funcionamento).

Tabela 4 – Vazões mínimas (Q) exigidas dos poços para cada sistema de produção vegetal

Sistemas de produção vegetal	Vazão adequada do poço (m^3/h)
1. Irrigação plena de halófitas (Atriplex, Sarcocórnia) – 0,5 ha	2,0
2. Irrigação plena de halófitas (Atriplex, Sarcocórnia) – 1,0 ha	4,0

3. Irrigação plena de culturas anuais (milho, sorgo, feijão) – 0,5 ha	2,5
4. Irrigação plena de culturas anuais (milho, sorgo, feijão) – 1,0 ha	5,0
5. Irrigação suplementar de culturas anuais (milho, algodão, feijão, sorgo) – 0,5 ha	1,25
6. Irrigação suplementar de culturas anuais (milho, algodão, feijão, sorgo) – 1,0 ha	2,50
7. Irrigação alternada com água de baixa salinidade para culturas anuais (melão, milho etc.) – 0,5 ha	1,5
8. Irrigação alternada com água de baixa salinidade para culturas anuais (melão, milho, etc.) – 1,0 ha	3,0
9. Irrigação suplementar da bananeira – 0,5 ha	2,8
10. Irrigação suplementar da bananeira – 1,0 ha	5,6
11. Irrigação plena da palma forrageira – 0,5 ha	1,0
12. Irrigação plena da palma forrageira – 1,0 ha	2,0
13. Irrigação suplementar de forrageiras (capim Tanzânia, capim elefante, cunhã, etc. – 0,5 ha	2,0
14. Irrigação suplementar de forrageiras (capim Tanzânia, capim elefante, cunhã, etc. – 1,0 ha	4,0
15. Irrigação plena/suplementar do cajueiro em solos arenosos – 0,5 ha	1,6
16. Irrigação plena/suplementar do cajueiro em solos arenosos – 1,0 ha	3,2
17. Irrigação plena/suplementar do coqueiro em solos arenosos – 0,5 ha	3,0
18. Irrigação plena/suplementar do coqueiro em solos arenosos – 1,0 ha	6,0
19. Produção de mudas de coqueiro (2.000 mudas)	0,5
20. Produção de mudas de cajueiro (2.000 mudas)	0,5
21. Plantas ornamentais herbáceas (2.000 plantas)	0,5
22. Produção de mudas - árvores da Caatinga (2.000 mudas)	0,5
23. Hidroponia NFT ou DTF com hortaliças e folhosas (100 m ²)	1,0
24. Peixe + glicófitas	1,0
25. Peixe + halófitas	2,0

Fonte: Autor (2023).

Para a irrigação plena de culturas anuais foi considerada a irrigação localizada e uma lâmina diária de 5,0 mm para a cultura do milho (ALBUQUERQUE, 2010), 3,0 mm para a cultura do algodão (ZONTA *et al.*, 2016), 4,0 mm para a cultura do feijão-caupi (BASTOS *et al.*, 2008) e 4,0 mm para a cultura do sorgo (ALBUQUERQUE; ANDRADE, 2015), considerando-se a área molhada igual a 50% da área total (adequações deverão ser realizadas para os demais sistemas de irrigação). Esses valores representam o consumo hídrico no estádio de maior demanda da cultura, sendo o consumo inferior nos demais estádios. Como as culturas

anuais estão englobadas em uma única categoria, optou-se por utilizar o valor da cultura de maior demanda, acrescentando-se ainda a fração de lixiviação (15%).

Para a irrigação plena foram consideradas aplicações diárias. Para maiores intervalos de irrigação será requerida uma cisterna de 50 - 100 m³ para armazenamento da água do poço nos dias sem irrigação. Para a irrigação suplementar de culturas anuais a vazão adequada será metade da requerida para a irrigação plena (BASTOS *et al.*, 2008; EMBRAPA, 2010; EMBRAPA, 2015), com possibilidade de armazenamento de águas da chuva ou do próprio poço durante as estiagens. Para as culturas perenes (coqueiro e cajueiro) será considerada a maior vazão requerida, ou seja, para a irrigação plena.

Para irrigação da palma forrageira serão consideradas 40.000 plantas por hectare e lâmina de irrigação de 1,0 mm por dia (PEREIRA, 2020; FREITAS, 2021), com irrigações semanais ou quinzenais durante a estação seca, o que requer armazenamento de água de poço. Para irrigação plena da bananeira serão consideradas 1.111 plantas por hectare e uma aplicação média de água de 30 L planta⁻¹ dia⁻¹ (COELHO *et al.*, 2003). Para o cajueiro anão precoce serão consideradas 204 plantas ha⁻¹ e uma taxa média de aplicação de água de 80 L planta⁻¹ dia⁻¹ (OLIVEIRA *et al.*, 2002); Para o coqueiro anão verde serão consideradas 200 plantas ha⁻¹ e uma aplicação média de 150 L planta⁻¹ dia⁻¹ (NOGUEIRA *et al.*, 1997; CRISOSTOMO; NAUMOV, 2009).

Para a hidroponia será necessário 1,0 m³ por dia para área de cultivo de 100 m² (folhosas). A irrigação alternada (águas de baixa e elevada salinidade) ou a mistura de águas levará em conta a existência de outra fonte hídrica sem problemas de salinidade.

Para o sistema peixes mais glicófitas, foi considerada a vazão necessária para 0,4 ha de irrigação suplementar de culturas anuais, ou 0,5 ha de palma forrageira, também suficiente para hidroponia ou produção de mudas. Para o sistema peixe mais halófitas, foi considerada a vazão necessária para 0,5 ha de halófitas. O total de água requerido por cada sistema também inclui as perdas por evaporação na piscicultura. Foi considerado um volume total de 100 m³ para o cultivo de peixes, que pode ser formado por um ou mais tanques.

5.2.4 Potencial de área irrigável

Para os sistemas descritos a seguir: i) irrigação plena de halófitas; ii) irrigação plena da cultura do milho; iii) irrigação suplementar do milho; iv) irrigação suplementar do algodão; v) irrigação suplementar do feijão-caupi; vi) irrigação plena do feijão-caupi; vii) irrigação suplementar do sorgo; viii) irrigação plena do sorgo; ix) irrigação suplementar da bananeira; x)

irrigação alternada com água de baixa salinidade para culturas anuais; xi) irrigação da palma forrageira; xii) irrigação suplementar de forrageiras (capim Tanzânia, capim elefante, cunhã, etc.); xiii) Irrigação plena/suplementar do cajueiro em solos arenosos; xiv) Irrigação plena/suplementar do coqueiro em solos arenosos, estimou-se a área irrigável em hectares. Para este cálculo, foram considerados os seguintes dados: Volume de água produzida por poço sem restrição de salinidade (m^3) e o volume necessário para cada sistema de cultivo ($m^3 ha^{-1}$).

Foi também contabilizada a quantidade de poços aptos para cada sistema, considerando os seguintes intervalos de área, 0,2 a 0,5 ha, 0,5 a 1,0 ha, 1,0 a 2,0 ha, 2,0 a 3,0 ha, 3,0 a 4,0 ha, 4,0 a 5,0 ha e $> 5,0$ ha. Para essa contabilização foram considerados os poços sem restrição de salinidade, e posteriormente fez-se o cálculo do número de poços que alcançam cada classe de área descrita acima, para cada sistema produtivo.

5.2.5 Sistemas de produção animal

Para avaliar o uso potencial das águas salobras, foram considerados sete sistemas de produção animal, descritos a seguir: i) aves; ii) Suínos; iii) bovino de leite iv) bovino de corte; v) ovinos; vi) caprinos; vii) tilápia. A escolha desses sistemas de produção animal teve como base a adaptabilidade ao clima tropical semiárido, sendo comumente utilizados em pequenas e médias propriedades rurais do semiárido brasileiro.

5.2.5.1 Definição dos limites de salinidade

Os limites de condutividade elétrica da água adequada para os sete sistemas de produção animal foram definidos com base em adaptações de resultados publicados na literatura, levando em consideração a tolerância à salinidade das diferentes espécies, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Referências utilizadas para definição da condutividade elétrica da água adequada para os sistemas de produção animal

Sistema de produção	CEa adequada ($dS m^{-1}$)	Referências
Aves	4,4	SANTOS <i>et al.</i> , 2008
Suínos	5,27	SANTOS <i>et al.</i> , 2008
Bovino de leite	8,9	SANTOS <i>et al.</i> , 2008

Bovino de corte	12,5	SANTOS <i>et al.</i> , 2008
Ovino e caprino	12,0	Adaptado de SANTOS <i>et al.</i> , 2008; GALDINO, 2018
Tilápia	9,0	LIKONGWE <i>et al.</i> , 1996; KAMAL e MAIR, 2005; SOUZA <i>et al.</i> , 2022

Fonte: Autor (2023).

5.2.5.2 Definição das vazões mínimas requeridas

Na Tabela 6, foram definidas as vazões mínimas para os sistemas de produção animal de acordo com a quantidade de animais para agricultores familiares e também para médias propriedades.

Tabela 6 – Vazão do poço adequada para os sistemas de produção animal

Sistemas de produção animal	Vazão adequada do poço (m ³ /h)
1. Aves – (até 600 frangos)	0,5
2. Suínos – 157 a 230 dias de idade (15 suínos)	0,5
3. Suínos – 1 galpão (100 suínos por galpão)	2,0
4. Suínos – 2 galpões (100 suínos por galpão)	4,0
5. Bovino de leite – (10 bovinos)	0,5
6. Bovino de leite – (50 animais por rebanho)	3,0
7. Bovino de leite – (100 animais por rebanho)	6,0
8. Bovino de corte – (10 bovinos)	0,5
9. Bovino de corte – (50 animais por rebanho)	2,0
10. Bovino de corte – (100 animais por rebanho)	4,0
11. Ovino e caprino – adulto (até 100 animais)	0,5
12. Criação de tilápia – (tanques de 100 m ³)	1,0

Fonte: Adaptado de Palhares (2013).

Os indicadores do potencial produtivo dos poços foram definidos de acordo com a vazão, estabelecendo 12 sistemas de produção (Tabela 6). Nesse estudo considerou-se apenas a quantidade necessária de água para uso exclusivo da dessedentação animal, conforme dados publicados por Palhares (2013): 0,18 L dia⁻¹ por frango; 20 L dia⁻¹ por suíno de 157 a 230 dias de idade; 64 L dia⁻¹ por bovino de leite; 40 L dia⁻¹ por bovino de corte com até 370 kg; e 7 L dia⁻¹ por caprino e ovino; para a produção de tilápia será necessário o valor mínimo de 1,0 m³ dia⁻¹, considerando-se um tanque de 100 m³. A partir desses dados adotou-se o valor mínimo

de vazão correspondente a 0,5 m³/h para a maioria dos sistemas de produção, visto que se optou por esse valor mínimo de vazão para todos os poços.

5.2.6 Critérios para definição do potencial dos poços

Foram adotados os critérios de qualidade da água (salinidade limiar, Tabelas 3 e 5, para os sistemas de produção vegetal e animal, respectivamente) e produtividade do poço (vazão de água necessária, Tabelas 4 e 6, para os sistemas de produção vegetal e animal, respectivamente), e seus respectivos valores de adequação e não adequação, bem como no tamanho da área de irrigação e a quantidade de animais, conforme descritos na Tabela 7.

Tabela 7 – Critérios de qualidade das águas e produtividade dos poços

Condutividade elétrica (CE)	Vazão (Q)	Símbolo
Adequada (ad)	Adequada (ad)	CE _{ad} e Q _{ad}
Não adequada (nad)	Adequada (ad)	CE _{nad} e Q _{ad}
Adequada (ad)	Não Adequada (nad)	CE _{ad} e Q _{nad}
Não Adequada (nad)	Não Adequada (nad)	CE _{nad} e Q _{nad}

Fonte: Autor (2023).

5.2.7 Análise de dados

Os dados de condutividade elétrica da água e da vazão dos poços foram organizados em planilhas no programa computacional Microsoft Excel em arquivo contendo as respectivas coordenadas geográficas dos poços, como forma de facilitar a manipulação dos dados. Em seguida, foram confeccionados mapas para os sistemas bioassalinos de produção, utilizando-se o programa Quantum GIS 3.22 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2018).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Sistemas de produção vegetal

Na tabela 8 apresenta-se o número de poços e a porcentagem de acordo com os critérios de adequação estabelecidos, CE_{ad} e Q_{ad}, CE_{nad} e Q_{ad}, CE_{ad} e Q_{nad}, CE_{nad} e Q_{nad}, para os sistemas de produção vegetal.

Tabela 8 – Número e percentual de poços para os sistemas produtivos vegetais e considerando-se os diferentes critérios de adequação

Sistemas de produção vegetal	CE _{ad} e Q _{ad}		CE _{nad} e Q _{ad}		CE _{ad} e Q _{nad}		CE _{nad} e Q _{nad}	
	Número de poços	(%)	Número de poços	(%)	Número de poços	(%)	Número de poços	(%)
Irrigação plena de halófitas (0,5 ha)	3.637	57,9	70	1,1	2.539	40,4	38	0,6
Irrigação plena de halófitas (1,0 ha)	2.113	33,7	29	0,5	4.063	64,6	79	1,2
Irrigação plena do milho (0,5 ha)	1.410	22,4	1.729	27,5	1.263	20,1	1.882	30,0
Irrigação plena do milho (1,0 ha)	794	12,6	839	13,3	1.879	30,0	2.772	44,1
Irrigação suplementar do milho (0,5 ha)	3.278	52,2	1.248	19,8	1.211	19,3	547	8,7
Irrigação suplementar do milho (1,0 ha)	2.314	36,8	825	13,1	2.175	34,6	970	15,5
Irrigação suplementar do algodão (0,5 ha)	3.938	62,6	588	9,4	1.477	23,5	281	4,5
Irrigação suplementar do algodão (1,0 ha)	2.760	44,0	379	6,0	2.655	42,2	490	7,8
Irrigação plena do feijão (0,5 ha)	1.987	31,6	1.152	18,3	1.866	29,7	1.279	20,4
Irrigação plena do feijão (1,0 ha)	1.100	17,5	533	8,5	2.753	43,8	1.898	30,2
Irrigação suplementar do feijão (0,5 ha)	3.630	57,8	896	14,2	1.349	21,5	409	6,5
Irrigação suplementar do feijão (1,0 ha)	2.560	40,7	579	9,2	2.419	38,5	726	11,6
Irrigação plena do sorgo (0,5 ha)	2.560	40,7	579	9,2	2.419	38,5	726	11,6
Irrigação plena do sorgo (1,0 ha)	1.372	21,8	261	4,2	3.607	57,4	1.044	16,6
Irrigação suplementar do sorgo (0,5 ha)	3.898	62,0	628	10,0	1.462	23,3	296	4,7
Irrigação suplementar do sorgo (1,0 ha)	2.732	43,5	407	6,5	2.628	41,8	517	8,2
Irrigação suplementar da bananeira (0,5 ha)	1.907	30,3	997	15,9	2.059	32,8	1.321	21,0
Irrigação suplementar da bananeira (1,0 ha)	956	15,2	419	6,7	3.010	47,9	1.899	30,2
Irrigação alternada com água de baixa salinidade para culturas anuais (0,5 ha)	3.566	56,7	688	11,0	1.629	25,9	401	6,4
Irrigação alternada com água de baixa salinidade para culturas anuais (1,0 ha)	2.380	37,9	429	6,8	2.815	44,8	660	10,5
Irrigação plena da palma forrageira (0,5 ha)	3.624	57,7	1.603	25,5	703	11,2	354	5,6
Irrigação plena da palma forrageira (1,0 ha)	2.594	41,3	1.108	17,6	1.733	27,6	849	13,5
Irrigação suplementar de forrageiras (0,5 ha)	2.598	41,3	1.109	17,7	1.729	27,5	848	13,5

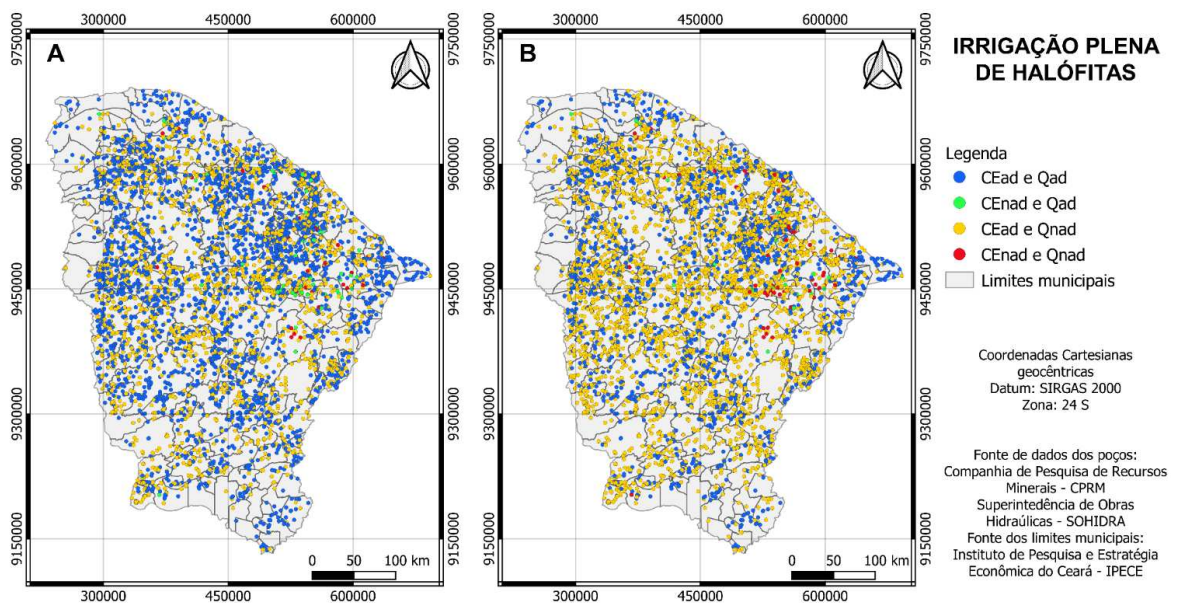
Irrigação suplementar de forrageiras (1,0 ha)	1.561	24,9	581	9,2	2.766	44,0	1.376	21,9
Irrigação plena/suplementar do cajueiro em solos arenosos (0,5 ha)	3.501	55,7	554	8,8	1.859	29,6	370	5,9
Irrigação plena/suplementar do cajueiro em solos arenosos (1,0 ha)	2.208	35,1	316	5,0	3.152	50,2	608	9,7
Irrigação plena/suplementar do coqueiro em solos arenosos (0,5 ha)	2.592	41,2	217	3,5	3.105	49,4	370	5,9
Irrigação plena/suplementar do coqueiro em solos arenosos (1,0 ha)	1.225	19,5	88	1,4	4.472	71,2	499	7,9
Produção de mudas de caju (2.000 mudas)	4.327	68,8	1.957	31,2	-	-	-	-
Produção de mudas de coco (2.000 mudas)	5.195	82,7	1.089	17,3	-	-	-	-
Produção de mudas de ornamentais herbáceas / árvores da Caatinga (2.000 mudas)	3.853	61,3	2.431	38,7	-	-	-	-
Hidroponia (100 m ²)	3.624	57,7	1.603	25,5	703	11,2	354	5,6
Cultivo de tilápia + glicófitas	2.982	47,5	1.272	20,2	1.345	21,4	685	10,9
Cultivo de tilápia + halófitas	3.042	48,4	97	1,5	3.016	48,0	129	2,1

Fonte: Autor (2023).

5.3.1.1 Irrigação de halófitas

A irrigação plena de halófitas para uma área de 0,5 ha (Tabela 8; Figura 2A) apresentou 3.637 poços (57,9%) que possuem a condutividade elétrica e a vazão dos poços adequadas, 70 poços (1,1%) não possuem condutividade elétrica adequada, mas a sua vazão é adequada, 2.539 poços (40,4%) possuem condutividade elétrica adequada, mas a vazão é insuficiente, e 38 poços (0,6%) não possuem vazão adequada e a condutividade elétrica era superior ao limite de tolerância estabelecido. Já para uma área de 1,0 ha (Figura 2B), 2.113 poços (33,7%) são adequados tanto de ponto de vista da condutividade elétrica como da vazão, 29 poços (0,5%) possuem apenas vazão adequada, 4.063 poços (64,6%) apresentam apenas a condutividade elétrica adequada, e 79 poços (1,2%) não possuem adequabilidade para a condutividade elétrica e para a vazão.

Figura 2 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação plena de halófitas em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão dos poços. EC_{ad}: condutividade elétrica adequada; EC_{nad}: condutividade elétrica não adequada; Q_{ad}: vazão adequada; Q_{nad}: vazão não adequada



Fonte: Autor (2023).

As halófitas constituem o sistema vegetal com maior tolerância à salinidade, dentre os que foram estudados, e podem ser irrigadas com água de elevada salinidade, notadamente

em solos de boa drenagem natural (PORTO *et al.*, 2006; COSTA; BONILLA, 2016). As halófitas são capazes de suportar altos teores de sais e até completarem seu ciclo de vida quando estão sob estas condições, diferente de quase 99% das demais plantas, que apresentam algum nível de sensibilidade aos sais (FLOWERS *et al.*, 2010; HOLGUIN PEÑA *et al.*, 2021).

As halófitas também apresentam boa adaptabilidade às regiões áridas e semiáridas, podendo ser cultivadas sob baixa disponibilidade hídrica ou em terrenos salinos, e atuarem como plantas alternativas para forragem, como *Atriplex* spp., *Salicornia* spp. e *Distichlis palmeri* (MASTERS *et al.*, 2007; PANTA *et al.*, 2014). Os resultados indicam, entretanto, que cerca de 65% dos poços com águas salobras não têm vazão suficiente para irrigar uma área de 1,0 ha com plantas halófitas, apesar de mais de 95% não terem limitação de salinidade.

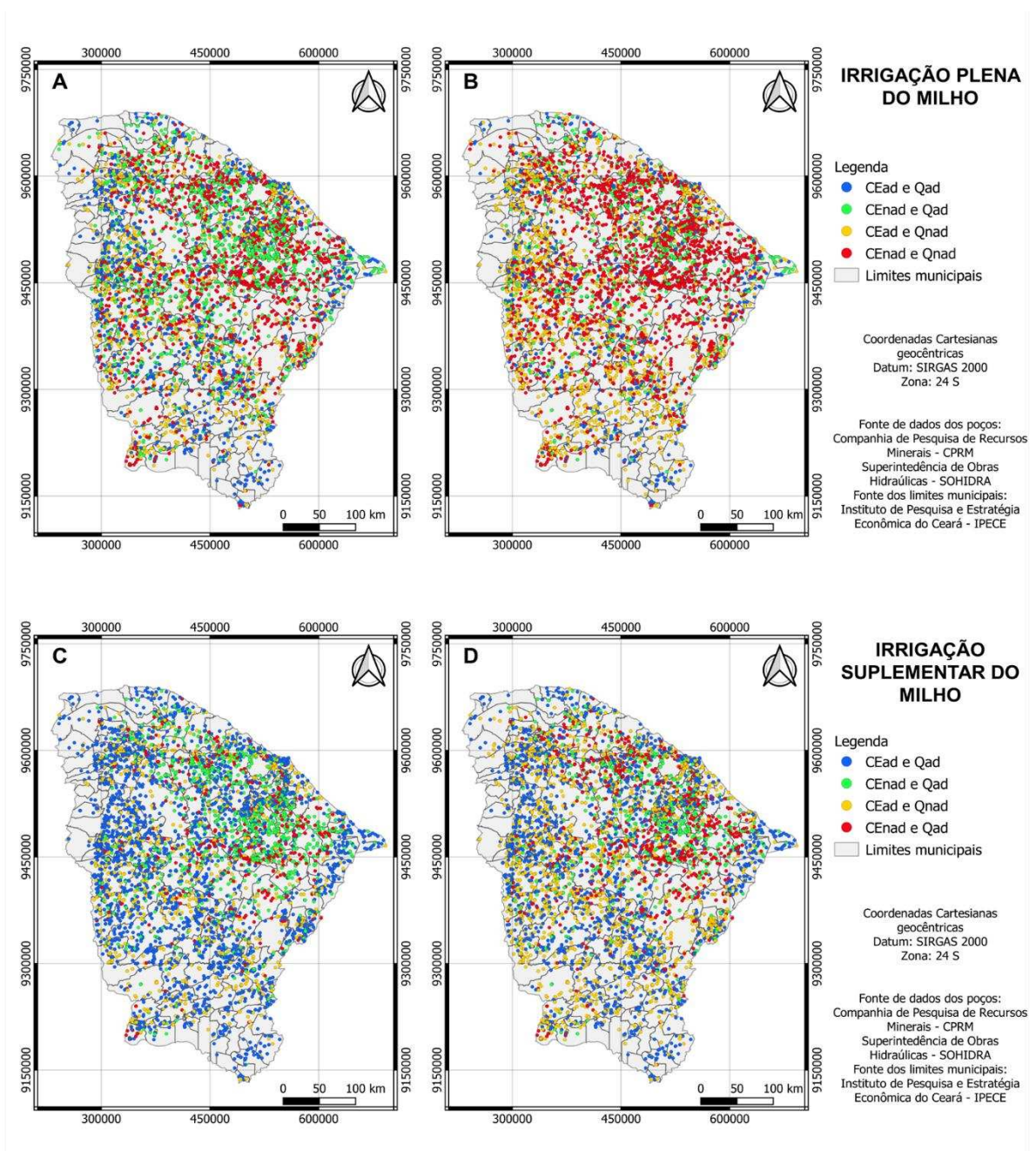
5.3.1.2 Irrigação de milho

Para a irrigação plena do milho, com área de 0,5 ha (Tabela 8; Figura 3A), cerca de 1.410 poços (22,4%) apresentam adequabilidade da CE e Q, 1.729 poços (27,5%) apresentam CE não adequada e Q adequada, 1.263 poços (20,1%) apresentam CE adequada e Q não adequada, e 1.882 poços (30,0%) não apresentam CE e Q adequadas. Para 1,0 ha (Figura 3B), apenas 794 poços (12,6%) possuem CE e Q adequadas, 839 poços (13,3%) possuem apenas Q adequada, 1.879 poços (30,0%) possuem apenas a CE adequada, e 2.772 poços (44,1%) não possuem CE e Q adequadas.

Para a irrigação suplementar do milho para 0,5 ha (Tabela 8; Figura 3C), 3.278 poços (52,2%) atendem a demanda hídrica da cultura e a CE está dentro do limite de tolerância da cultura. Porém, 1.248 poços (19,8%) têm apenas a vazão adequada, 1.211 poços (19,3%) possuem apenas a condutividade elétrica da água adequada, e 547 poços (8,7%) não apresentaram condutividade elétrica e vazão adequadas. Para a área de 1,0 ha (Figura 3D), 2.314 poços (36,8%) estão aptos conforme a condutividade elétrica e a vazão, 825 poços (13,1%) apresentam apenas a vazão adequada, 2.175 poços (34,6%) possuem apenas a condutividade elétrica adequada, e 970 poços (15,5%) não estão aptos devido à elevada condutividade elétrica da água e à baixa vazão dos poços.

Figura 3 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação plena do milho em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), e irrigação suplementar do milho em 0,5 ha (C) e 1,0 ha (D), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão dos

poços. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada



Fonte: Autor (2023).

As culturas anuais também se caracterizam pelo consumo hídrico relativamente alto, e graus variados de tolerância à salinidade (LACERDA *et al.*, 2011; RIBEIRO *et al.*, 2020; DOURADO *et al.*, 2022). Dentre as espécies anuais estudadas, o milho apresenta menor grau de tolerância à salinidade (AYERS; WESTCOT, 1999; BARBOSA *et al.*, 2012) e maior requerimento hídrico. Para esta cultura se observa que apenas cerca de 13% dos poços se

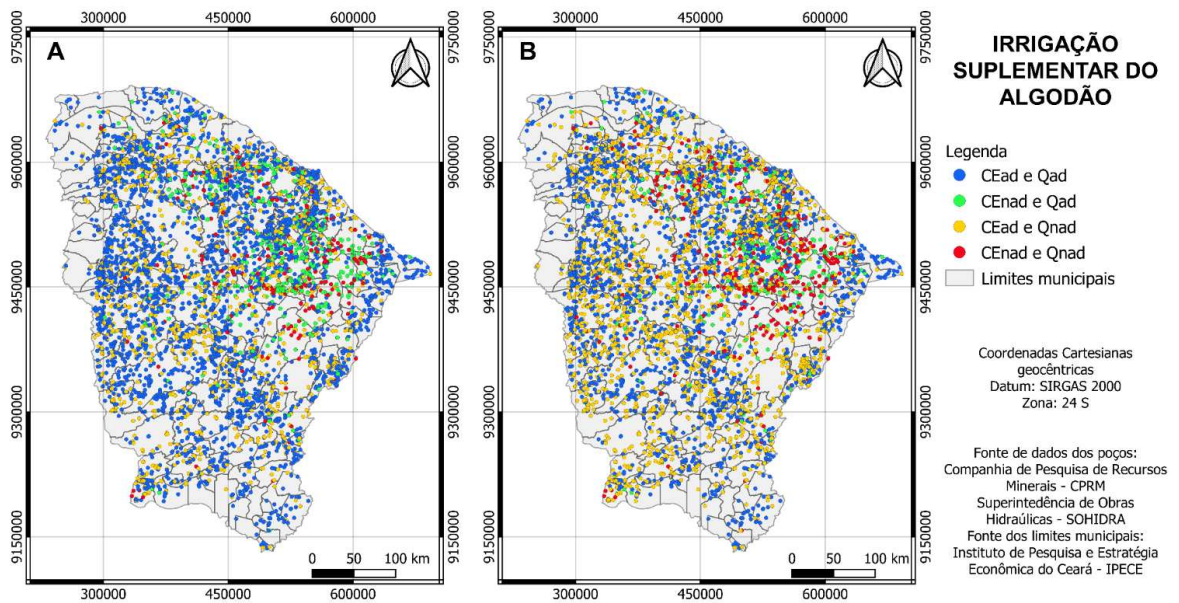
adequam para o cultivo de 1,0 ha sob irrigação plena, enquanto 87% destes apresentam limitação de vazão, de salinidade ou de ambas.

Porém, quando se utiliza irrigação suplementar os números ficam bem mais positivos, alcançando nível de adequação de cerca de 37% dos poços avaliados. Ensaio de campo mostram efeitos benéficos da irrigação suplementar com águas salobras no semiárido brasileiro, com elevada eficiência hídrica, produtiva, econômica e social (CAVALCANTE *et al.*, 2021). Os resultados também demonstraram baixo acúmulo de sais no solo, aumento nas taxas de fotossíntese e melhor eficiência do uso da água com uso de irrigação suplementar com água salobra, demonstrando que essa prática reduz o déficit hídrico sem ocasionar estresse salino significativo (CAVALCANTE *et al.*, 2022).

5.3.1.3 Irrigação de algodão

Para a prática da irrigação suplementar do algodão em uma área de 0,5 ha (Tabela 8; Figura 4A), 62,6% (3.938 poços) desfrutam de uma condutividade elétrica da água e uma vazão adequada, 9,4% (588 poços) têm apenas a vazão adequada, 23,5% (1.477 poços) têm apenas a condutividade elétrica da água adequada, e 4,5% (281 poços) não possuem condutividade elétrica da água e vazão adequadas. Considerando uma área de 1,0 ha (Figura 4B), 44,0% (2.760 poços) detêm condutividade elétrica da água e vazão adequadas, 6,0% (379 poços) apresentam apenas vazão adequada, 42,2% (2.655 poços) apresentam apenas condutividade elétrica da água adequada, e 7,8% (490 poços) são limitados tanto pela alta salinidade como pelas baixas vazões.

Figura 4 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação suplementar do algodão em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão dos poços. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada



Fonte: Autor (2023).

O algodão apresentou elevados níveis de adequação com o uso de irrigação suplementar, devido ser, dentre as espécies anuais avaliadas, a que apresenta o maior grau de tolerância à salinidade (SOARES *et al.*, 2020b). Para o cultivo de 1,0 hectare, observa-se um aumento de 10% no nível de adequação, da irrigação suplementar do algodão em comparação à irrigação suplementar do milho, sob os poços avaliados.

Na maior parte das regiões que produzem algodão, predomina o cultivo em sequeiro (FERREIRA, *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2020), incluindo o Brasil que é um dos maiores produtores com área cultivada estimada em 1,1 milhão de hectares (FERREIRA *et al.*, 2020). A irrigação suplementar torna-se uma estratégia de irrigação para utilização em cultivos de regime sequeiro, com o intuito de atenuar o estresse hídrico, reduzir os riscos e consolidar a produção em períodos de estiagem (OWEIS; HACHUM, 2012; RAPER *et al.*, 2020).

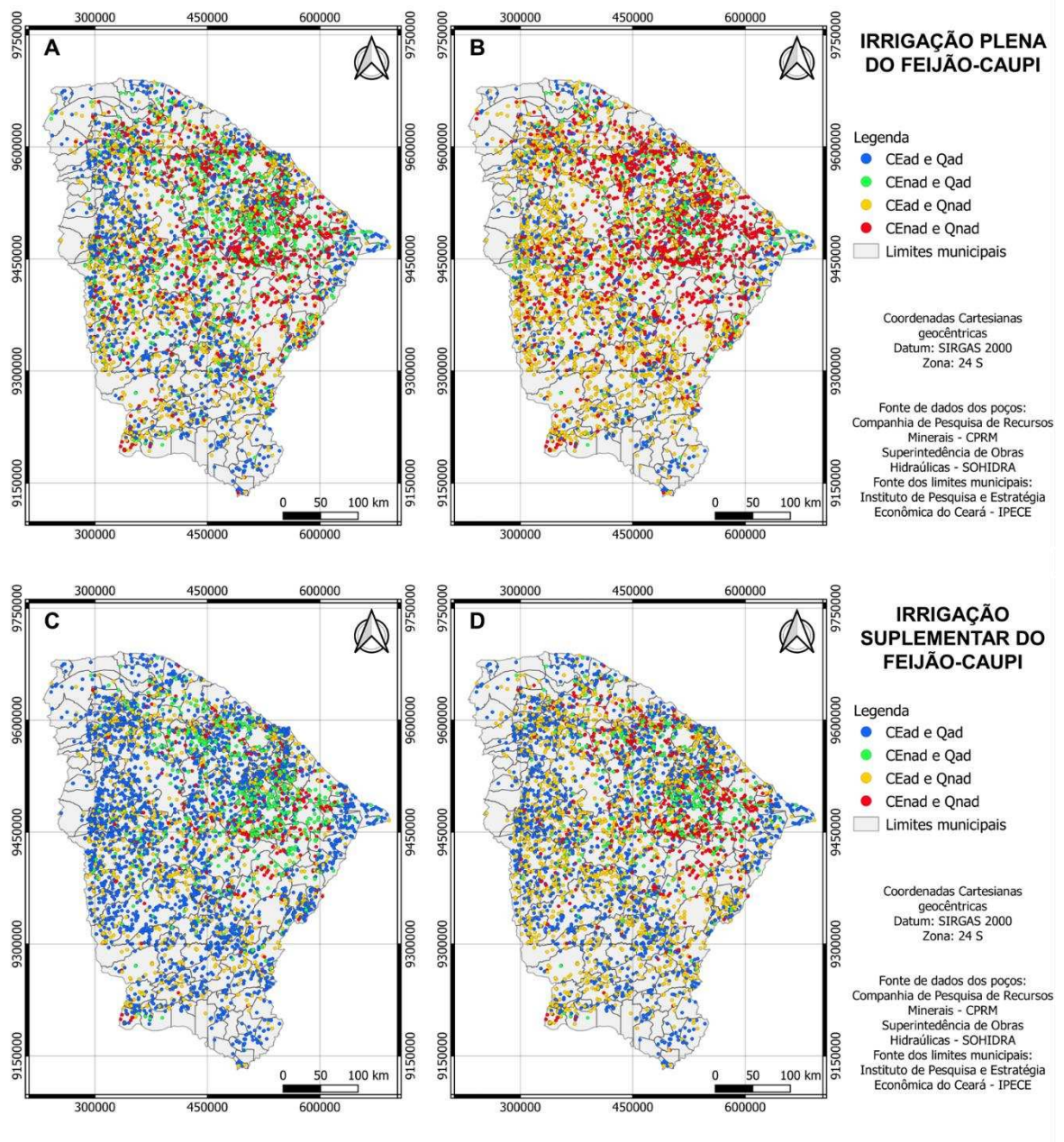
5.3.1.4 Irrigação de feijão-caupi

Para a irrigação plena do feijão-caupi, com área de 0,5 ha (Tabela 8; Figura 5A), cerca de 1.987 poços (31,6%) apresentam adequabilidade da CE e Q, 1.152 poços (18,3%) apresentam CE não adequada e Q adequada, 1.866 poços (29,7%) apresentam CE adequada e Q não adequada, e 1.279 poços (20,4%) não apresentam CE e Q adequadas. Para 1,0 ha (Figura 5B), apenas 1.100 poços (17,5%) possuem CE e Q adequadas, 533 poços (8,5%) possuem

apenas Q adequada, 2.753 poços (43,8%) possuem apenas a CE adequada, e 1.898 poços (30,2%) não possuem CE e Q adequadas.

Para a irrigação suplementar do feijão-caupi para 0,5 ha (Tabela 8; Figura 5C), 3.630 poços (57,8%) atendem a demanda hídrica da cultura e a CE está dentro do limite de tolerância da cultura. Porém, 896 poços (14,2%) têm apenas a vazão adequada, 1.349 poços (21,5%) portam apenas a condutividade elétrica da água adequada, e 409 poços (6,5%) não apresentaram condutividade elétrica e vazão adequadas. Para a área de 1,0 ha (Figura 5D), 2.560 poços (40,7%) aptos conforme a condutividade elétrica e a vazão, 579 poços (9,2%) apresentam apenas a vazão adequada, 2.419 poços (38,5%) possuem apenas a condutividade elétrica adequada, e 726 poços (11,6%) não estão aptos devido à elevada condutividade elétrica da água e à baixa vazão.

Figura 5 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação plena do feijão-caupi em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), e irrigação suplementar do feijão-caupi em 0,5 ha (C) e 1,0 ha (D), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão dos poços. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada



Fonte: Autor (2023).

O feijão-caupi é uma leguminosa que tem grande destaque, em virtude do seu alto valor nutricional e do baixo custo. As regiões Norte e Nordeste concentram a produção de feijão-caupi (FROTA *et al.*, 2008; FREIRE FILHO, 2011). Porém, apenas 7% da produção mundial de feijão é realizada em terras irrigadas (BROUGHTON *et al.*, 2003). Na irrigação plena, em uma área de 0,5 ha, o critério com maior porcentagem, cerca de 30% dos poços, é para condições adequadas de CE e Q. Já para 1,0 ha, essa realidade é diferente, por conta da vazão do poço que precisa ser maior, passando a ser 5,0 m³ h⁻¹.

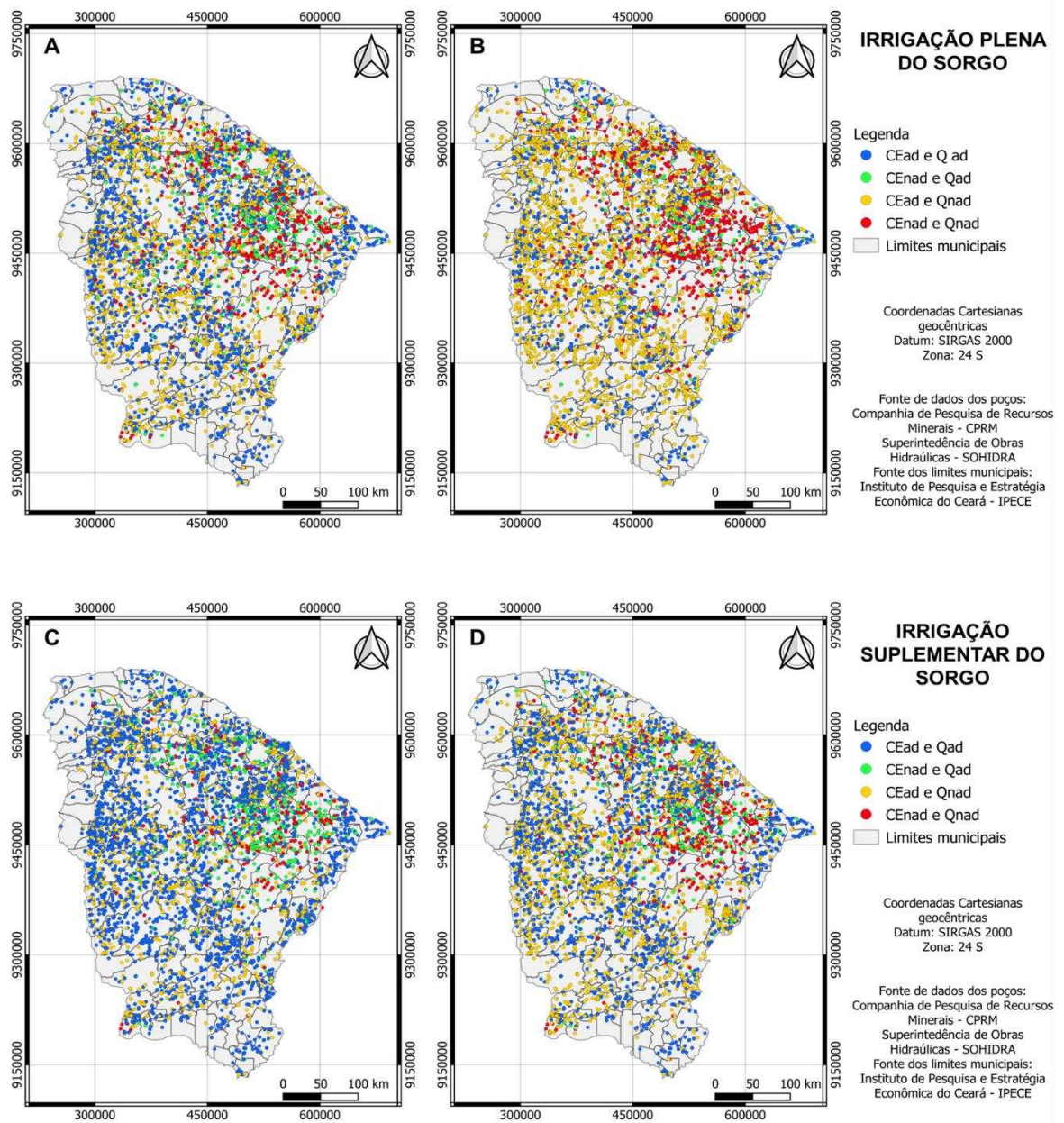
Em contrapartida, a produção de feijão-caupi na região Nordeste, ocorre em áreas semiáridas, que são acometidas por longos períodos de estiagem (FREIRE FILHO, 2011). Além disso, o feijão-caupi é uma espécie que apresenta uma tolerância moderada ao estresse hídrico (BOYER, 1978). Portanto, faz-se necessário o uso da irrigação suplementar, que poderá ser utilizada quando o teor de água do solo proveniente da precipitação não for suficiente para atender a demanda hídrica da cultura (DANIELESCU *et al.*, 2022). O maior número de poços com adequabilidade na irrigação suplementar do que na irrigação plena, ocorre devido o aumento do limite de condutividade elétrica da água para a cultura e a redução da vazão mínima requerida do poço.

5.3.1.5 Irrigação de sorgo

Dos 6.284 poços avaliados para a irrigação plena do sorgo em uma área de 0,5 ha (Tabela 8; Figura 6A), cerca de 2.560 poços (40,7%) apresentam adequabilidade da CE e Q, 579 poços (9,2%) apresentam CE não adequada e Q adequada, 2.419 poços (38,5%) apresentam CE adequada e Q não adequada, e 726 poços (11,6%) não apresentam CE e Q adequadas. Para 1,0 ha (Figura 6B), apenas 1.372 poços (21,8%) possuem CE e Q adequadas, 261 poços (4,2%) possuem apenas Q adequada, 3.607 poços (57,4%) possuem apenas a CE adequada, e 1.044 poços (16,6%) não possuem CE e Q adequadas.

Para a irrigação suplementar do sorgo, com área de 0,5 ha (Tabela 8; Figura 6C), 62,0% (3.898 poços) possuem CE e Q adequadas, 10,0% (628 poços) apresentam CE não adequada e Q adequada, 23,3% (1.462 poços) têm CE adequada e Q não adequada, e 4,7% (296 poços) não apresentam CE e Q adequadas. Já para uma área de 1,0 ha (Figura 6D), 43,5% (2.732 poços) dos poços dispõem de CE e Q adequadas, 6,5% (407 poços) apresentam a CE não adequada e Q adequada, 41,8% (2.628 poços) apresentam CE adequada e Q não adequada, e 8,2% (517 poços) não possuem CE e Q adequadas.

Figura 6 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação plena do sorgo em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), e irrigação suplementar do sorgo em 0,5 ha (C) e 1,0 ha (D), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão dos poços. EC_{ad}: condutividade elétrica adequada; EC_{nad}: condutividade elétrica não adequada; Q_{ad}: vazão adequada; Q_{nad}: vazão não adequada



Fonte: Autor (2023).

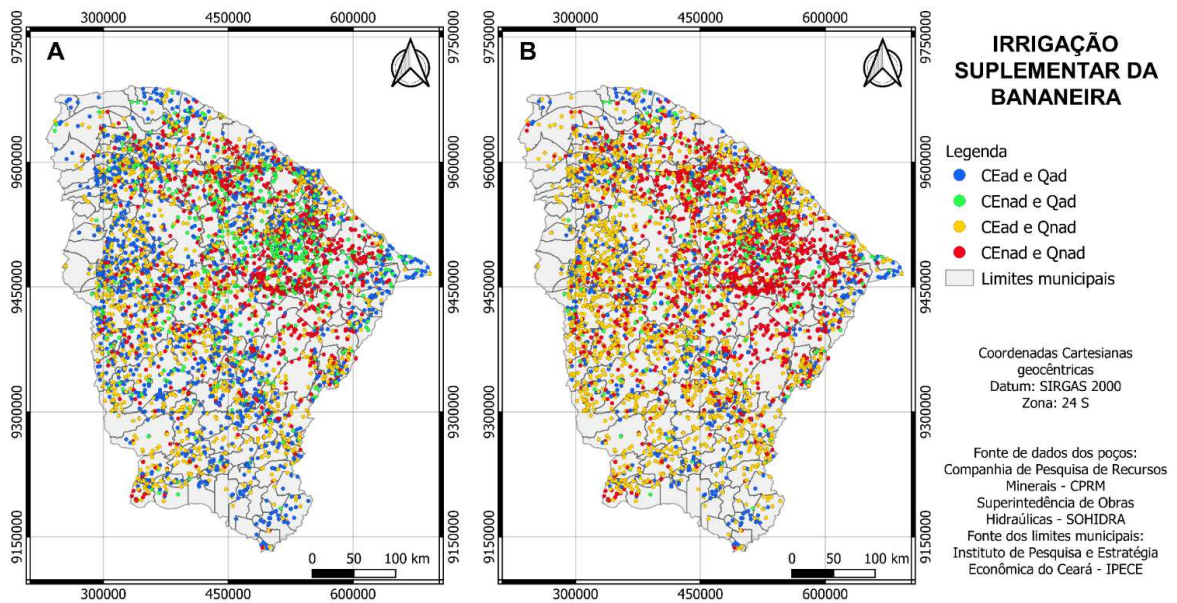
A cultura do sorgo, dispõe de uma tolerância à salinidade relativamente alta ($4,0 \text{ dS m}^{-1}$). Porém, o seu desenvolvimento e rendimento podem ser afetados, quando exposto a condições de estresse hídrico (TOVIGNAN *et al.*, 2023), em algumas situações pode ocorrer perda total (AMELEWORK *et al.*, 2015). O sorgo atua como substituto do milho em regiões áridas e semiáridas, onde ocorre uma menor produção de milho por conta da escassez hídrica (FERRAZ-ALMEIDA *et al.*, 2022). Como apresentado, o sorgo mostra uma maior adaptabilidade do que o milho, tanto para a irrigação plena como para a suplementar.

O sorgo caracteriza-se como um importante cereal de cultivo em sequeiro (DOURADO *et al.*, 2022). Em regiões semiáridas, comumente adota-se a agricultura de sequeiro, em razão da escassez hídrica presente nessas regiões. O nível de adequação para CE e Q, com uso da irrigação suplementar foi mais elevado quando comparado à irrigação plena, mais de 20 %, face à alta tolerância do sorgo à salinidade (HOSTETLER *et al.*, 2021) e a redução da demanda hídrica da cultura para a irrigação suplementar. A irrigação com restrição de água (irrigação suplementar) pode resultar em uma boa produção e também, aumentar a eficiência do uso da água (MAN *et al.*, 2016).

5.3.1.6 Irrigação de bananeira

Para irrigação suplementar da bananeira em uma área de 0,5 ha, observa-se que 30,3% (1.907) dos poços apresentaram CE e Q adequadas, 15,9% (997 poços) têm apenas a Q adequada, 32,8% (2.059 poços) têm apenas a CE adequada, e 21,0% (1.321 poços) não apresentam CE e Q adequadas (Tabela 8; Figura 7A). Já para uma área de 1,0 ha, 15,2% (956) dos poços desfrutam de CE e Q adequadas, 6,7% (419 poços) são improdutivos em função da CE, 47,9% (3.010 poços) são improdutivos em função das baixas vazões, enquanto 30,2% (1.899 poços) não apresentaram CE e Q adequadas.

Figura 7 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação suplementar da bananeira em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão dos poços. EC_{ad}: condutividade elétrica adequada; EC_{nad}: condutividade elétrica não adequada; Q_{ad}: vazão adequada; Q_{nad}: vazão não adequada



Fonte: Autor (2023).

A banana é um alimento básico, bastante cultivada por pequenos agricultores e geralmente seu cultivo é em sistema de sequeiro (ADHIKARI *et al.*, 2015; GAMBART *et al.*, 2020). É uma espécie exigente em água, pois mais de 90% da parte vegetativa e aproximadamente 75% do fruto é composto por água (SILVA, 1997). Porém, a escassez hídrica presente nas regiões áridas e semiáridas, é o maior fator limitante para a sua produção (CARR, 2009; VAN ASTEN *et al.*, 2011).

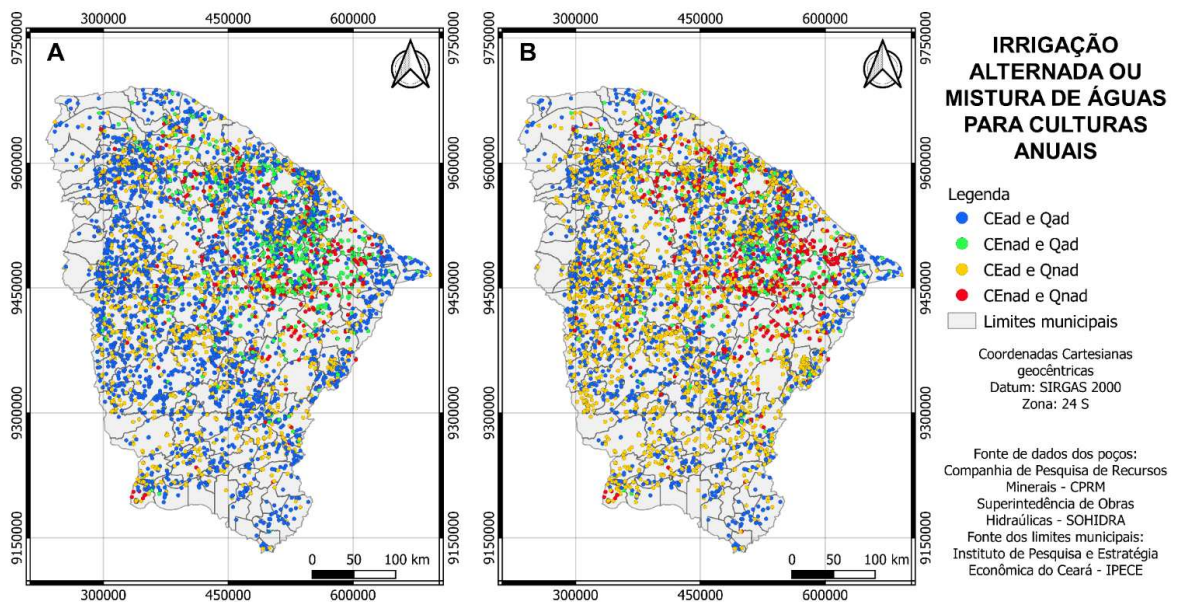
A cultura da banana possui uma tolerância média à salinidade da água de irrigação ($2,6 \text{ dS m}^{-1}$) porém, a demanda hídrica para suprir a necessidade da cultura é elevada. Sendo assim, o maior número de poços, em ambas as áreas, apresenta condutividade elétrica adequada e vazão não adequada, sendo 2.059 e 3.010 poços para 0,5 e 1,0 ha, respectivamente. Este resultado está diretamente relacionado com a ocorrência de fontes hídricas salobras, de $1,5$ a $6,0 \text{ dS m}^{-1}$, (CAVALCANTE, 2020), e também pelas baixas vazões dos poços, com média de $2,6 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (SILVA *et al.*, 2007), no semiárido brasileiro.

5.3.1.7 Irrigação alternada ou mistura de águas

Para a prática da irrigação alternada ou a mistura de águas para culturas anuais em uma área de 0,5 ha (Tabela 8; Figura 8A), 56,7% (3.566 poços) dispõem de uma condutividade elétrica da água e vazão adequadas, 11,0% (688 poços) possuem apenas a vazão adequada, 25,9%

(1.629 poços) são limitados apenas pela baixa vazão e, 6,4% (401 poços) apresentam problemas de alta salinidade e baixo potencial hídrico. Para uma área de 1,0 ha (Figura 8B), 37,9% (2.380 poços) dispõem de uma condutividade elétrica da água e vazão adequadas, 6,8% (429 poços) apresentam apenas Q adequada, 44,8% (2.815) poços são limitados pelas baixas vazões, e 10,5% (660 poços) não dispõem de uma condutividade elétrica da água e vazão adequadas.

Figura 8 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação alternada ou a mistura de águas para culturas anuais em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão dos poços. EC_{ad}: condutividade elétrica adequada; EC_{nad}: condutividade elétrica não adequada; Q_{ad}: vazão adequada; Q_{nad}: vazão não adequada



Fonte: Autor (2023).

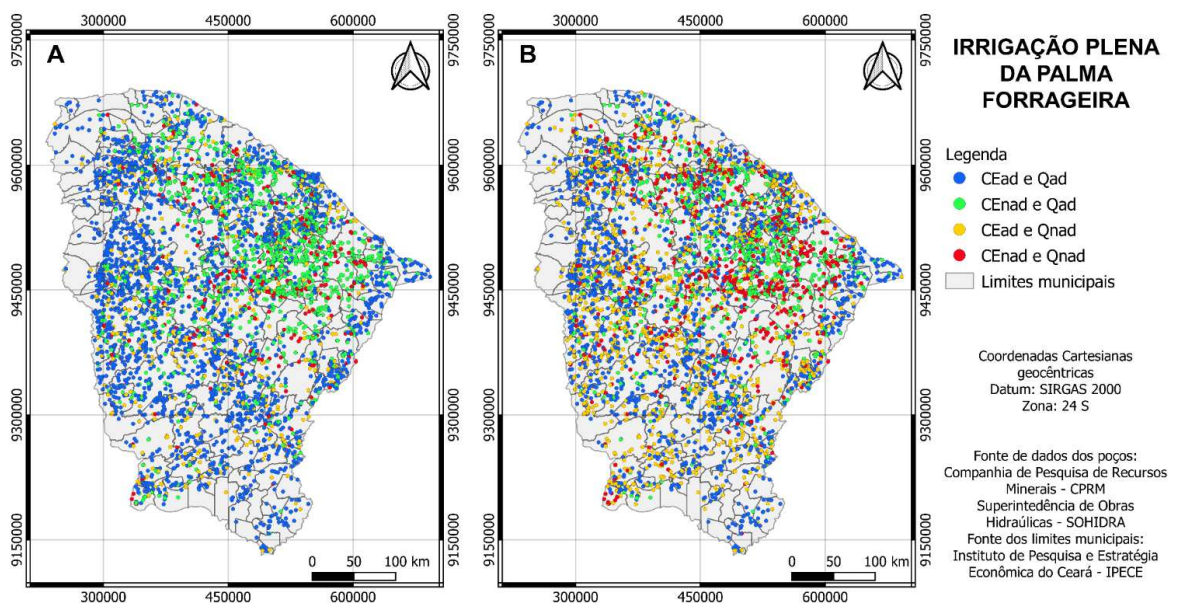
Estratégias de irrigação que visem maximizar a produtividade da água são de extrema importância, principalmente em regiões semiáridas com problemas de abastecimento hídrico e qualidade da água. Assim, a irrigação deve ser realizada de maneira sustentável para garantir a sua viabilidade (MATEOS *et al.*, 2018). A adequação plena dos sistemas apresentados para as áreas definidas (56,7 e 37,9%) se configura como estratégia viável e produtiva para os problemas recorrentes no Nordeste brasileiro (escassez hídrica e presença de águas salobras). Contudo, ainda percebe-se que o fator limitante para ambos os sistemas é a indisponibilidade da vazão necessária (25,9 e 44,8% para 0,5 e 1,0 ha, respectivamente).

Tornando-se imprescindível a avaliação de forma conjunta dos fatores de ordem qualitativa e quantitativa.

5.3.1.8 Irrigação de palma forrageira

Na irrigação plena da palma forrageira para área de 0,5 ha (Tabela 8; Figura 9A), 3.624 poços (57,7%) dispõem-se de CE e Q adequadas, 1.603 poços (25,5%) têm apenas a Q adequada, 703 poços (11,2%) têm apenas a CE adequada, e 354 poços (5,6%) apresentaram CE e Q não adequadas. Para uma área de 1,0 ha (Figura 9B), 2.594 poços (41,3%) indicaram possuir CE e Q adequadas, 1.108 poços (17,6%) possuem apenas Q adequada, 1.733 poços (27,6%) possuem apenas CE adequada, e 849 poços (13,5%) não apresentam CE e Q adequadas.

Figura 9 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação plena da palma forrageira em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão dos poços. EC_{ad}: condutividade elétrica adequada; EC_{nad}: condutividade elétrica não adequada; Q_{ad}: vazão adequada; Q_{nad}: vazão não adequada



Fonte: Autor (2023).

Os sistemas de produção vegetal com menor requerimento hídrico foram os que apresentaram os melhores resultados, mesmo com tolerância moderada ao estresse salino. A palma forrageira, espécie com metabolismo CAM (BORLAND *et al.*, 2009; CUSHMAN *et al.*,

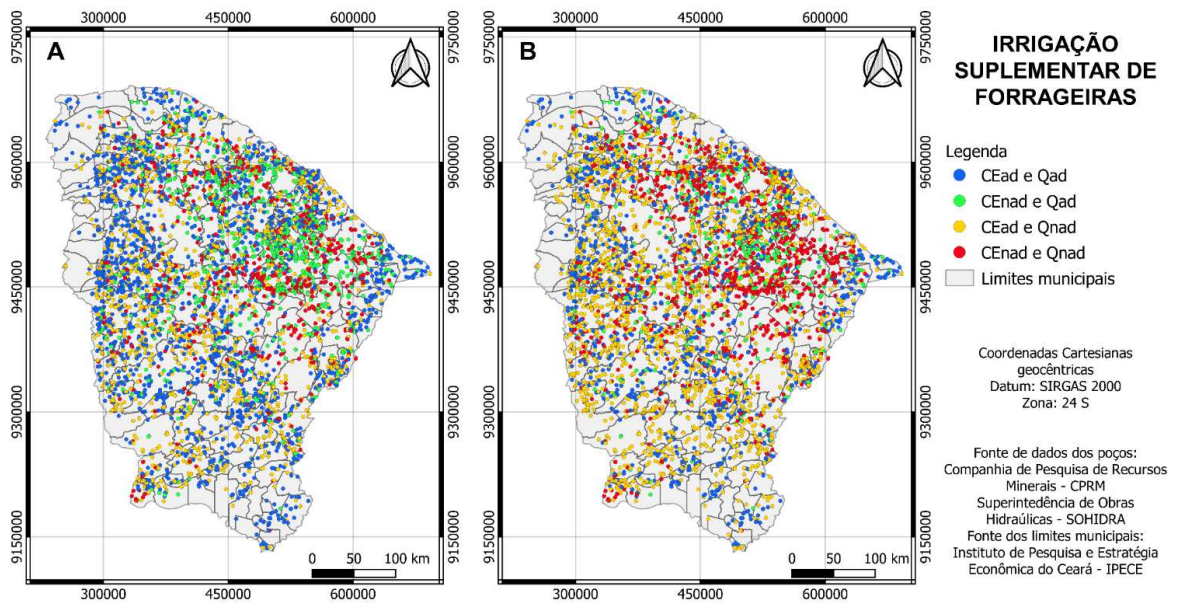
2015), se contrasta com o coqueiro, apresentando valores bem maiores, com adequação de salinidade e vazão de 41% para irrigação de 1,0 ha e adequação de vazão de 59%. Portanto, para cultivos perenes, pressupõe-se a utilização de culturas com baixa demanda hídrica, como a palma forrageira (*Opuntia fícus*, *Nopalea cochenillifera*, *Opuntia sp.*, *Opuntia stricta*), para as quais o total de irrigação anual não ultrapassa 200 mm, de modo a reduzir a carga de sais aplicada ao solo durante a estação seca.

A palma forrageira é importante fonte energética para alimentação animal, por possuir alto teor de carboidratos, nutrientes digestíveis totais e água (COSTA *et al.*, 2012; ROCHA FILHO *et al.*, 2021; RAVARI, *et al.*, 2022), e pode também compor sistemas múltiplos envolvendo uso de águas salobras advindas da piscicultura ou em sistemas consorciados com gliricídias e outras espécies (MIRANDA *et al.*, 2019; SILVA BRITO *et al.*, 2020; ARAÚJO *et al.*, 2021). Uso de cobertura morta e outras técnicas de conservação da água e do solo são também recomendados para cultivo da palma e de outras espécies quando irrigadas com águas salobras (SOUZA *et al.*, 2020; LACERDA *et al.*, 2021; ALVES *et al.*, 2022), considerando-se a necessidade de aumentar a eficiência do uso da água no semiárido tropical (FRIZZONE *et al.*, 2021).

5.3.1.9 Irrigação de forrageiras

A irrigação suplementar de forrageiras para uma área de 0,5 ha (Tabela 8; Figura 10A) apresentou 2.598 poços (41,3%) que possuem a condutividade elétrica e a vazão dos poços adequadas, 1.109 poços (17,7%) não possuem condutividade elétrica adequada, mas a sua vazão é adequada, 1.729 poços (27,5%) possuem condutividade elétrica adequada, mas a vazão é insuficiente, e 848 poços (13,5%) não possuem vazão adequada e a condutividade elétrica era superior ao limite de tolerância estabelecido. Já para uma área de 1,0 ha (Figura 10B), 1.561 poços (24,9%) são adequados tanto de ponto de vista a condutividade elétrica como da vazão, 581 poços (9,2%) possuem apenas vazão adequada, 2.766 poços (44,0%) apresentam apenas a condutividade elétrica adequada, e 1.376 poços (21,9%) não possuem adequabilidade para a condutividade elétrica e para a vazão.

Figura 10 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação suplementar de forrageiras em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão dos poços. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada



Fonte: Autor (2023).

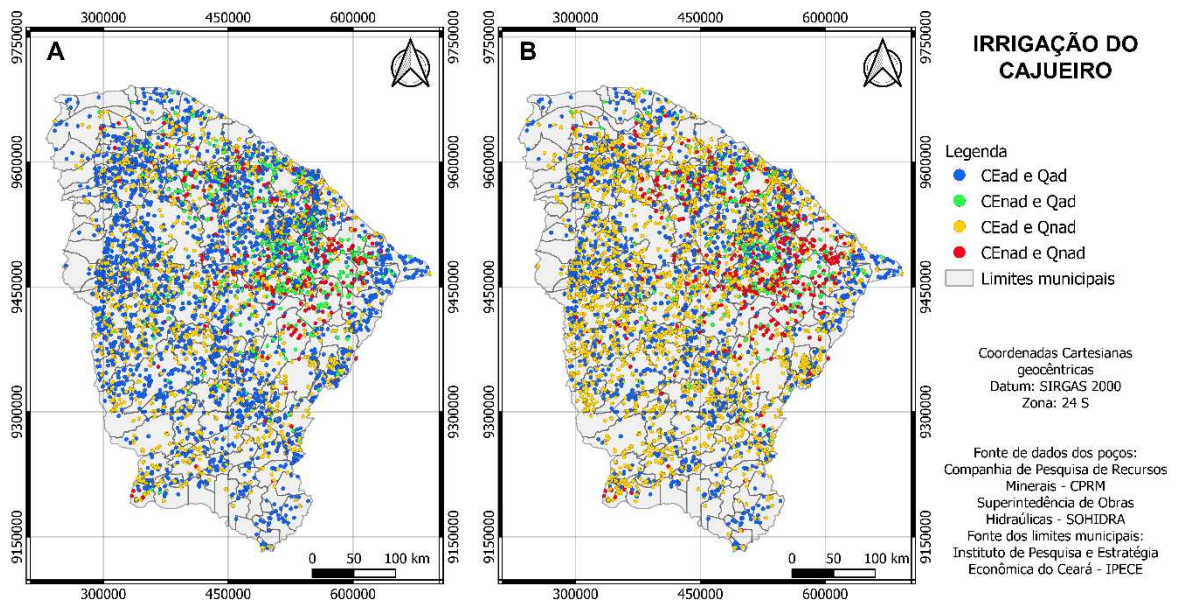
As forrageiras, principal fonte de alimentação de ruminantes, continuam sendo altamente utilizadas devido ao seu alto rendimento de matéria seca e ao baixo custo de produção (ARAÚJO *et al.*, 2017; CAPSTAFF; MILLER, 2018). A limitação de água, ocasiona estresse hídrico, afetando as relações hídricas, fisiológicas e morfológicas podendo prejudicar o desenvolvimento e produção de forragem (MARANHÃO *et al.*, 2021). Desta forma, considerando a escassez hídrica presente no semiárido, é necessário o uso da irrigação suplementar, por ser uma técnica eficiente, para a economia de água e para o aumento da produção nos sistemas de sequeiro (OWEIS; HACHUM, 2006; ZEGBE; SERVÍN-PALESTINA, 2021).

Por mais que se tenha poços com boa adaptabilidade, a maior limitação na irrigação suplementar de forrageiras é a vazão dos poços. Essa limitação ocorre por conta das baixas vazões dos poços do Ceará (SILVA *et al.*, 2007). A vazão mínima dos poços para suprir a necessidade de irrigação suplementar das forrageiras ainda é um valor relativamente alto, ficando atrás apenas da irrigação da bananeira e do coqueiro. Para a área de 1,0 ha, grande parte dos poços, 44,0%, apresentam condutividade elétrica adequada porém, a vazão do poço não é suficiente para suprir a necessidade hídrica.

5.3.1.10 Irrigação de cajueiro

Para irrigação do cajueiro em uma área de 0,5 ha, observa-se que 55,7% (3.501) dos poços apresentaram CE e Q adequadas, 8,8% (554 poços) têm apenas a Q adequada, 29,6% (1.859 poços) têm apenas a CE adequada, e 5,9% (370 poços) não apresentaram CE e Q adequadas (Tabela 8; Figura 11A). Já para uma área de 1,0 ha, 35,1% (2.208) dos poços desfrutam de CE e Q adequadas, 5,0% (316 poços) não possuem CE adequada, mas têm Q adequada, 50,2% (3.152 poços) são improdutivos em função das baixas vazões, enquanto 9,7% (608 poços) não apresentam CE e Q adequada (Figura 11B).

Figura 11 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação do cajueiro em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad}: condutividade elétrica adequada; EC_{nad}: condutividade elétrica não adequada; Q_{ad}: vazão adequada; Q_{nad}: vazão não adequada



Fonte: Autor (2023).

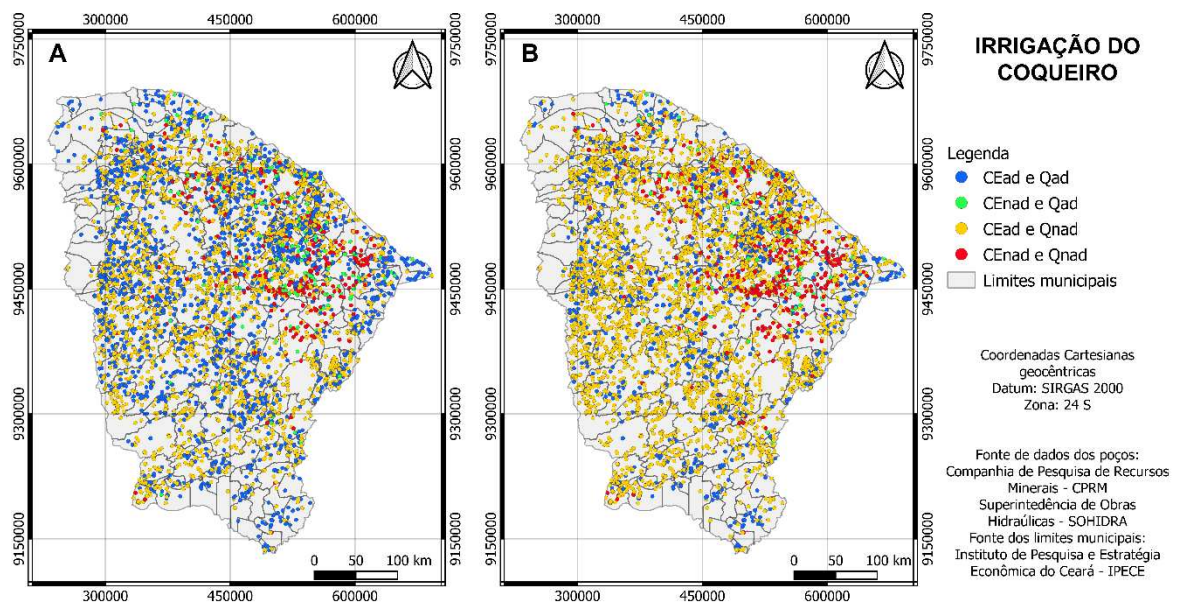
A cultura do caju apresenta grande importância social e econômica, devidos aos múltiplos produtos oriundos da cajucultura (BRAINER e VIDAL, 2018), possui boa adaptação a condições de cultivo em regiões intertropicais, apresentando satisfatória adaptabilidade a condições de sequeiro, além de resistência ao estresse salino (BEZERRA *et al.*, 2007), e é uma das principais fontes de geração de renda para os pequenos agricultores do semiárido (SILVA, 2017). Contudo devido a demanda hídrica do cajueiro irrigado, nota-se que os cenários encontrados na região Nordeste, são insatisfatórios para essa prática, principalmente para 1,0

hectare (50,2%) assim, sendo necessário condições com vazão mais elevada, ou manejos que visem aumentar a produtividade da água com objetivo de aumentar a eficiência. Vale ressaltar que segundo Bezerra *et al.*, (2007) apenas 1% dos hectares cultivados no mundo são irrigados. Contudo a irrigação permite o aumento da produção da castanha e pedúnculo da cultura (LIMA *et al.*, 2017).

5.3.1.11 Irrigação de coqueiro

Para a prática da irrigação do coco em uma área de 0,5 ha (Tabela 8; Figura 12A), 41,2% (2.592 poços) dispõem de uma condutividade elétrica da água e vazão adequadas, 3,5% (217 poços) possuem apenas a vazão adequada, 49,4% (3.105 poços) são limitados apenas pela baixa vazão e, 5,9% (370 poços) apresentaram problemas de alta salinidade e baixo potencial hídrico. Para uma área de 1,0 ha, 19,5% (1.225 poços) dispõem de uma condutividade elétrica da água e vazão adequadas, 1,4% (88 poços) apresentaram apenas Q adequada, 71,2% (4.472 poços) são limitados pelas baixas vazões, e 7,9% (499 poços) não dispõem de uma condutividade elétrica da água e vazão adequadas (Figura 12B).

Figura 12 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para irrigação do coqueiro em 0,5 ha (A) e 1,0 ha (B), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada



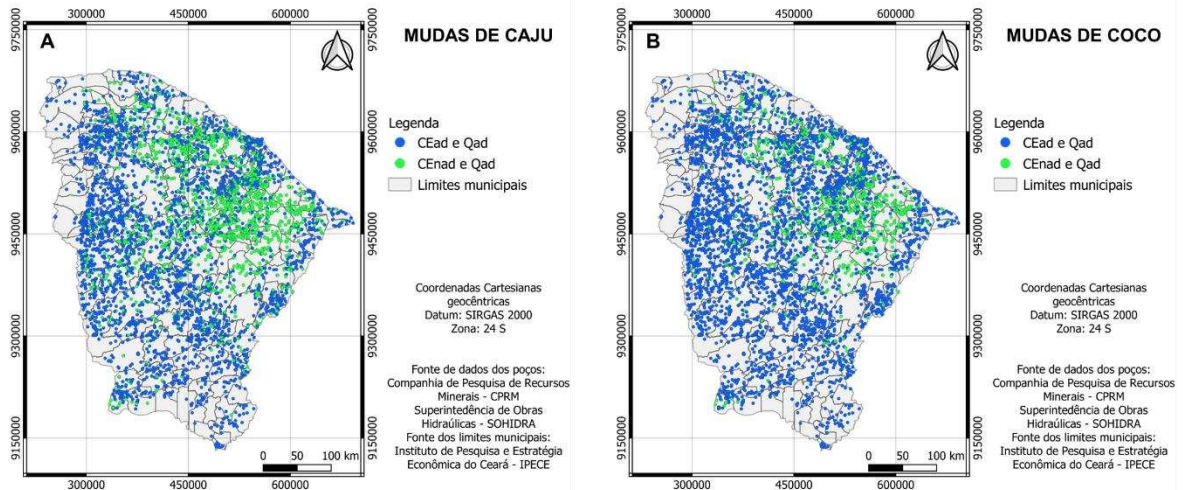
Fonte: Autor (2023).

Para o coqueiro, glicófito tolerante à salinidade (SANTOS *et al.*, 2020b), essa limitação pela vazão alcança 71% dos poços (1,0 ha) face à elevada demanda hídrica desta cultura. Esses resultados demonstram que a tolerância dos cultivos à salinidade não é a solução única para os problemas com recursos salinos em regiões semiáridas (MEDEIROS *et al.*, 2018; RENGASAMY *et al.*, 2022), pois a escassez hídrica limita o crescimento, desenvolvimento e a produção de coco (MIRANDA *et al.*, 2019). O coco necessita de uma demanda hídrica mais elevada que outras frutíferas, e esse valor varia conforme as condições climáticas, genótipos e métodos de irrigação (OHLER, 1999).

5.3.1.12 Irrigação de mudas

Conforme apresentado na Figura 13A, referente à produção de 2.000 mudas de caju, 4.327 poços (68,8%) apresentaram condutividade elétrica da água e vazão adequadas e 1.957 poços (31,2%) são limitados pela alta salinidade (Tabela 8). Para a produção de 2.000 mudas de coco (Tabela 8; Figura 13B), dos poços avaliados, 5.195 (82,7%) estão plenamente aptos por desfrutarem de condutividade elétrica da água e vazão adequadas e 1.089 (17,3%) possuem apenas vazão adequada.

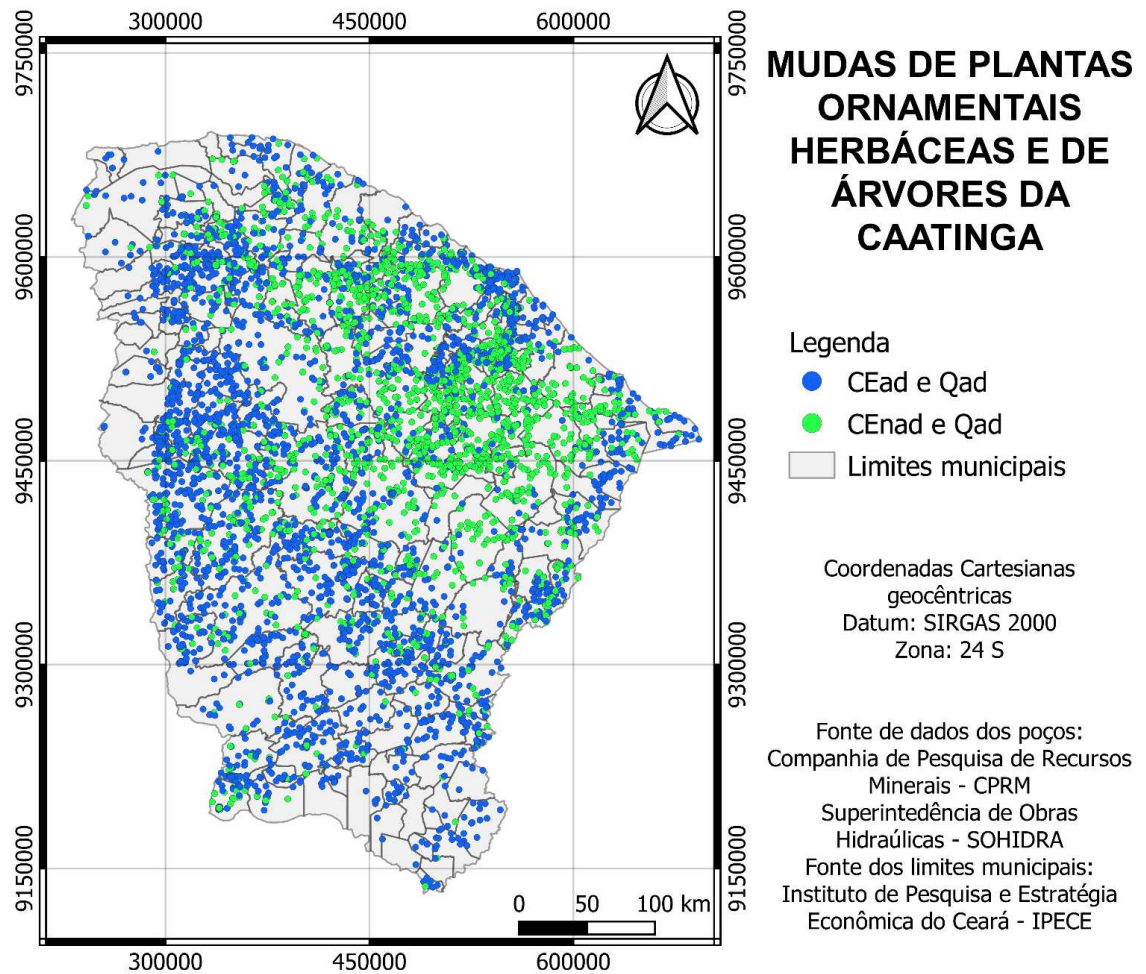
Figura 13 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para produção de 2000 mudas de caju (A) e de coco (B), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada



Fonte: Autor (2023).

Para a produção de 2.000 mudas de árvores do bioma Caatinga ou plantas ornamentais (Tabela 8; Figura 14), 3.853 poços (61,3%) dispõem de uma condutividade elétrica da água e vazão adequadas, e 2.431 poços (38,7) possuem condutividade elétrica acima do limite de tolerância das plântulas.

Figura 14 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para produção de 2000 mudas de árvores do bioma Caatinga ou plantas ornamentais, com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada



Fonte: Autor (2023).

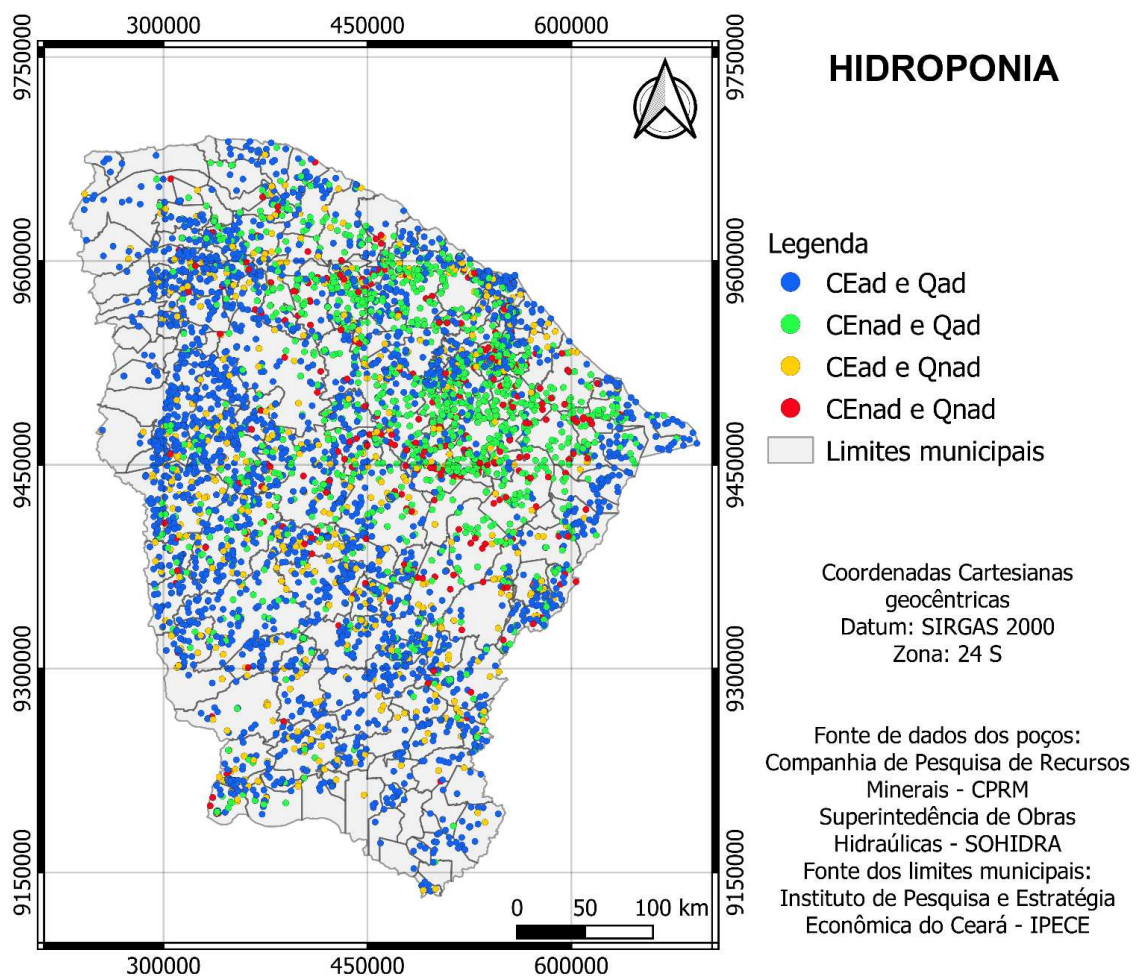
Para os sistemas vegetais mais intensivos e com menor uso de água (Figuras 13 e 14), os graus de adequação foram os mais elevados, sendo maiores para produção de mudas de coqueiro (83%) depois, mudas de cajueiro (69%) e por último, as mudas de espécies arbóreas nativas do bioma Caatinga/plantas ornamentais (61%). Essa adequação decrescente está de acordo com os níveis de tolerância à salinidade das espécies na fase de muda, que decresce na mesma ordem (ABREU *et al.*, 2008; BESSA *et al.*, 2017; LIMA *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2018).

5.3.1.13 Cultivo hidropônico

Para o cultivo hidropônico de hortaliças em área de 100 m² (Tabela 8; Figura 15), 3.624 poços (57,7%) apresentam condutividade elétrica da água e vazão adequadas, 1.603

poços (25,5%) possuem apenas a vazão adequada, 703 poços (11,2%) possuem apenas a condutividade elétrica da água adequada, e 354 poços (5,6%) não têm a condutividade elétrica da água e a vazão adequadas.

Figura 15 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para produção de hortaliças em hidroponia de 100 m², com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad}: condutividade elétrica adequada; EC_{nad}: condutividade elétrica não adequada; Q_{ad}: vazão adequada; Q_{nad}: vazão não adequada



Fonte: Autor (2023).

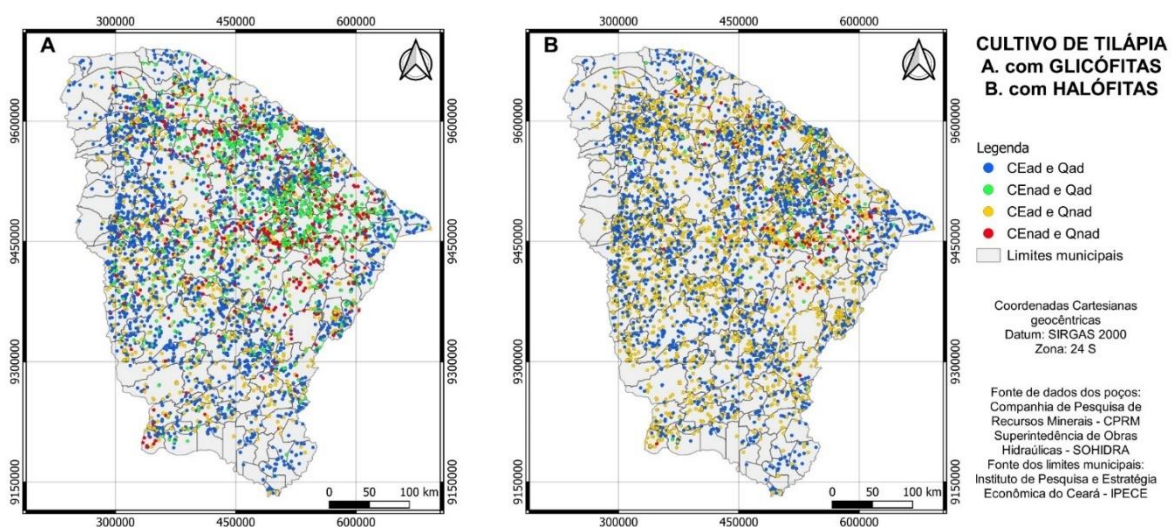
O sistema hidropônico é um sistema intensivo e que também demanda um menor uso de água, apresentando graus de adequação elevados. Para a produção hidropônica de hortaliças folhosas o nível de adequação alcançou cerca de 58%, sendo um sistema que tem

despertado interesse de pesquisadores e agricultores do semiárido brasileiro (LEAL *et al.*, 2020; BIONE *et al.*, 2021; NAVARRO *et al.*, 2022).

5.3.1.14 Sistemas múltiplos

Para a associação peixe e glicófitas (0,4 ha de irrigação suplementar ou 0,5 ha de palma forrageira ou 100 m² hidroponia ou produção de 2.000 mudas), 2.982 poços (47,5%) apresentaram CE e vazão adequadas, 1.272 poços (20,2%) possuem vazão adequada, mas a condutividade elétrica não é adequada, 1.345 poços (21,4%) possuem apenas condutividade elétrica adequada, e 685 poços (10,9%) não possuem vazão e condutividade elétrica adequadas (Tabela 8; Figura 16A). Para o sistema com peixe e 0,5 ha de halófitas (Figura 16B) 3.042 poços (48,4%) apresentam adequabilidade da CE e Q, 97 poços (1,5%) possuem CE não adequada e vazão adequada, 3.016 poços (48,0%) possuem a CE adequada e Q não adequada, e 129 poços (2,1%) não apresentaram adequabilidade de CE e Q.

Figura 16 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para os sistemas múltiplos com peixe e glicófitas (A) e peixe com halófitas (B), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad}: condutividade elétrica adequada; EC_{nad}: condutividade elétrica não adequada; Q_{ad}: vazão adequada; Q_{nad}: vazão não adequada



Fonte: Autor (2023).

O cultivo de peixes pode também ser feito de forma combinada com outros sistemas de produção, como as halófitas, irrigação suplementar, produção de mudas, hidroponia e produção de palma forrageira, com elevado grau de adequação das águas salobras do semiárido brasileiro. Esses sistemas combinados permitem o uso múltiplo da água, bem como o aproveitamento de nutrientes contidos na água residuária do cultivo do peixe (GRABER; JUNGE, 2009; KABURAGI *et al.*, 2020; KIEN *et al.*, 2022; ANDRADE *et al.*, 2023).

Obviamente que o grau de adequação diminui para o cultivo combinado, comparando-se as Figuras 16 (associações de tilápia com vegetais) e 22 (somente cultivo de tilápia). Essas diferenças são explicadas pela limitação da salinidade nas glicófitas ou pela maior demanda hídricas dos sistemas vegetais. Porém, as associações entre peixes e vegetais aumentam as oportunidades de sustentabilidade produtiva, econômica e ambiental nos ambientes semiáridos.

5.3.2 Potencial de área irrigável e quantificação de poços por intervalo de área

Considerando-se a amostragem de poços, a vazão requerida por cada sistema e produção e o potencial hídrico de cada poço foi possível estimar a área potencial irrigável de cada sistema, sem restrições em termos de salinidade de água (Tabela 9). Verifica-se que a palma forrageira apresenta a maior área potencial irrigável dos sistemas avaliados, seguida pelos sistemas com irrigação suplementar (algodão, sorgo e milho), todos com mais de 9.000 ha. As menores áreas irrigáveis foram encontradas nos sistemas de irrigação do coqueiro e irrigação plena do milho.

Tabela 9 – Potencial de área irrigável sem restrições com águas salobras dos poços no semiárido brasileiro

Sistemas de produção	Área irrigável (ha)
Irrigação plena de halófitas (Atriplex, Sarcocórnia etc.)	6.426
Irrigação plena do milho	2.566
Irrigação suplementar do milho	7.970
Irrigação suplementar do algodão	9.287
Irrigação plena do feijão-caupi	3.512
Irrigação suplementar do feijão-caupi	8.688
Irrigação plena do sorgo	4.344

Irrigação suplementar do sorgo	9.213
Irrigação suplementar da bananeira	3.211
Irrigação alternada com água de baixa salinidade ou mistura de água para culturas anuais (melão, milho, etc.)	7.485
Irrigação plena da palma forrageira	9.660
Irrigação suplementar de forrageiras (capim Tanzânia, capim elefante, cunhã, etc.)	4.830
Irrigação plena/suplementar do cajueiro em solos arenosos	7.197
Irrigação plena/suplementar do coqueiro em solos arenosos	4.026

Fonte: Autor (2023).

No contexto da agricultura bioassalada, a irrigação suplementar pode diminuir as perdas da agricultura de sequeiro, especialmente em períodos de veranicos, sendo uma ferramenta decisiva para lidar com as limitações na disponibilidade de recursos hídricos, tanto nas regiões de clima úmido como nas de clima semiárido, considerando-se também os riscos atuais e futuros associados às mudanças climáticas globais (CHAUHAN *et al.*, 2008; NANGIA *et al.*, 2018).

O cultivo da palma forrageira e a irrigação suplementar de culturas anuais também se destacaram em termos de área potencial irrigável sem restrições de salinidade (Tabela 9), superando culturas mais tolerantes à salinidade como halófitas e o coqueiro, e com menores riscos de degradação do solo. Para a palma forrageira a área total irrigável seria de mais de 9.000 ha, obtida a partir de 6.284 poços com águas salobras, que representaram cerca de 27,39% do total de poços contidos no banco de dados (25.497 poços). Se considerarmos o total de 160.000 poços no semiárido brasileiro (CPRM/SIAGAS, 2022) e mantendo-se esse mesmo percentual, o total de poços com águas salobras alcançaria cerca de 44.000, resultando em maiores áreas irrigáveis para a palma forrageira e demais sistemas produtivos.

Entretanto, o tamanho do empreendimento fica limitado à vazão de cada poço e deve-se trabalhar no sentido de se ter uma diversificação de cultivos bioassalados em áreas de agricultura familiar, os quais podem produzir alimentos para dinamização dos comércios locais e forragem para alimentar os rebanhos. Ressalte-se que 65% dos estabelecimentos rurais na Região Nordeste do Brasil possuem área inferior a 10 ha e 79% dos estabelecimentos são enquadrados como agricultura familiar (IPEA, 2021), o que fortalece a necessidade da diversificação dos sistemas de produção como forma de alcançar a sustentabilidade social e econômica das produções familiares.

Através da adequação dos poços para cada sistema de produção, foi possível quantificar o número de poços, sem restrição de salinidade da água de irrigação, para cada intervalo de área irrigável (Tabela 10). Podemos observar, que de forma geral, para a irrigação plena, a maior quantidade de poços foi nos intervalos de menores áreas irrigáveis. Este resultado é decorrente do fato que a irrigação plena necessita de uma maior quantidade de água para o pleno desenvolvimento da produção. Sendo assim, dos poços analisados, um grande número possuem vazões aptas para irrigar pequenas áreas.

Já para a irrigação suplementar, os intervalos de maiores áreas irrigáveis obtiveram a maior quantidade de poços (Tabela 10). Essa tendência está associada ao fato de que a irrigação suplementar utilizar uma menor quantidade de água, em comparação à irrigação plena, para o desenvolvimento de uma produção eficiente. Para esse sistema as restrições de salinidade são menores (CAVALCANTE *et al.*, 2021), e há possibilidade de armazenamento de água das chuvas e poços, por ocasião dos períodos sem veranicos.

Verifica-se que o sistema com maior quantidade de poços no intervalo de 0,2 a 0,5 ha, é a irrigação de coqueiro (Tabela 10). Esse resultado é decorrente da alta demanda hídrica exigida pela cultura. Neste intervalo, os sistemas de irrigação plena do sorgo, irrigação plena de halófitas, irrigação plena da bananeira e irrigação plena do feijão também obtiveram muitos poços, mais de 1.000 poços. Considerando o intervalo de área irrigável > 5,01 ha, a irrigação plena da palma forrageira e a irrigação suplementar do sorgo, apresentaram mais de 1.000 poços nestas condições. Um alto número de poços também foi obtido nos outros sistemas de irrigação suplementar. A irrigação alternada e a irrigação de cajueiro, obtiveram os maiores números de poços nos intervalos de 0,51 a 1,0 ha e 1,01 a 2,0 ha.

Tabela 10 - Quantidade de poços com condutividade elétrica adequada por intervalo de área irrigável para sistemas vegetais

Sistemas de produção	Intervalo de área irrigável (ha)							Total
	0,2 a 0,5	0,51 a 1,0	1,01 a 2,0	2,01 a 3,0	3,01 a 4,0	4,01 a 5,0	> 5,01	
Irrigação plena de halófitas	1341	1425	1468	744	440	265	493	6176
Irrigação plena do milho	709	607	717	852	595	253	521	4254
Irrigação suplementar do milho	340	879	1039	574	503	236	955	4526
Irrigação suplementar do algodão	364	874	1085	599	517	228	859	4526
Irrigação plena do feijão	1049	890	900	390	270	102	252	3853
Irrigação suplementar do feijão	393	966	1153	650	560	260	997	4979
Irrigação plena do sorgo	1361	1152	1209	496	333	144	284	4979
Irrigação suplementar do sorgo	434	1042	1253	695	603	280	1053	5360
Irrigação plena da bananeira	1214	880	931	409	214	117	201	3966
Irrigação alternada	576	1206	1229	675	448	277	784	5195
Irrigação plena da palma forrageira	170	732	979	594	409	321	1121	4326
Irrigação suplementar de forrageiras	906	976	1003	524	332	204	382	4327
Irrigação plena/suplementar de cajueiro	759	1166	1266	706	435	339	689	5360
Irrigação plena/suplementar de coqueiro	1983	1340	1236	544	278	141	175	5697

Fonte: Autor (2023).

5.3.3 Sistemas de produção animal

Na tabela 11 apresenta-se o número de poços e a porcentagem de acordo com os critérios de adequação estabelecidos, CE_{ad} e Q_{ad} , CE_{nad} e Q_{ad} , CE_{ad} e Q_{nad} , CE_{nad} e Q_{nad} , para os sistemas de produção animal.

Tabela 11 – Número e percentual de poços para os sistemas de produção animal e considerando-se os diferentes critérios de adequação

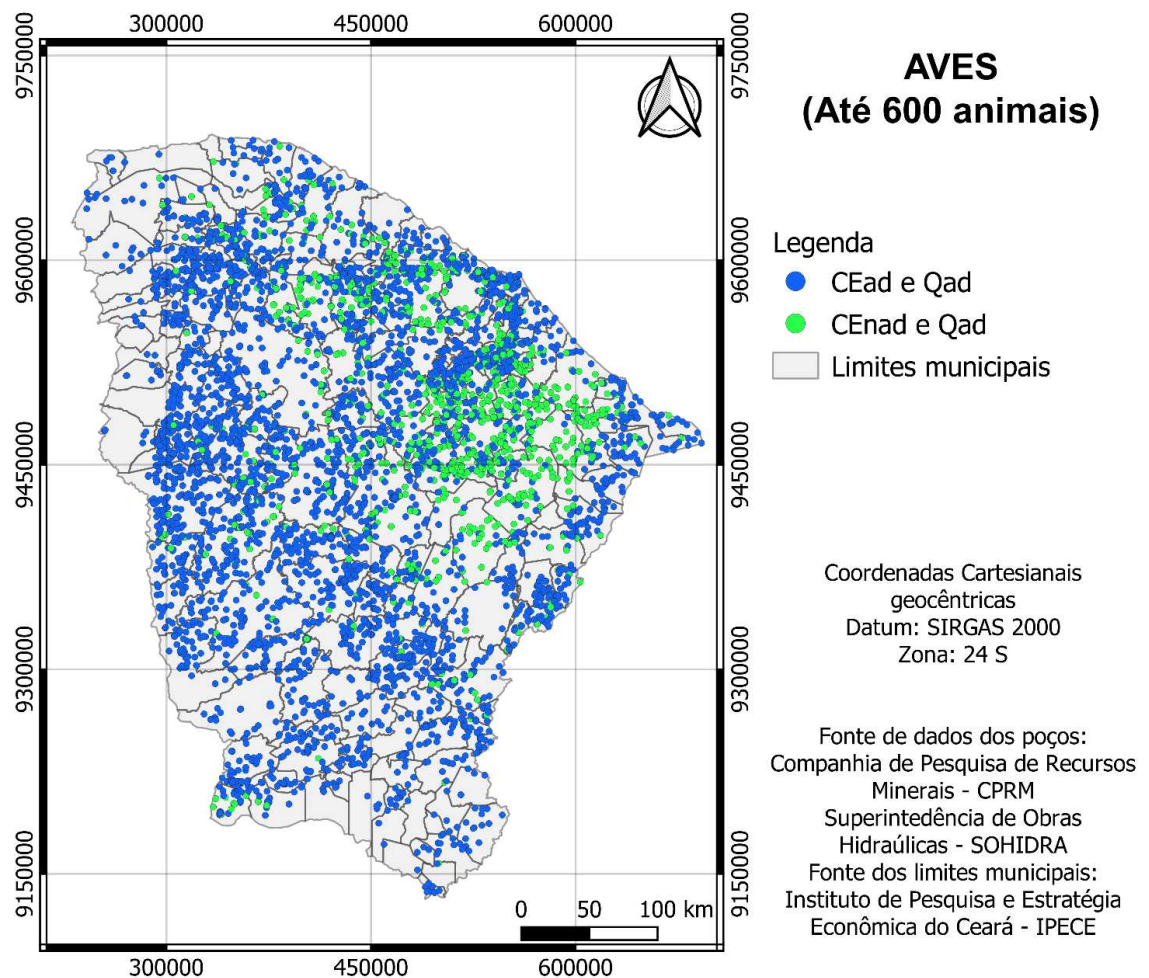
Sistemas de produção	CE _{ad} e Q _{ad}		CE _{nad} e Q _{ad}		CE _{ad} e Q _{nad}		CE _{nad} e Q _{nad}	
	Número de poços	(%)	Número de poços	(%)	Número de poços	(%)	Número de poços	(%)
Aves – (até 600 frangos)	5.154	82,0	1.130	18,0	-	-	-	-
Suínos – 157 a 230 dias de idade (15 suínos)	5.466	87,0	818	13,0	-	-	-	-
Suínos – 1 galpão (100 suínos por galpão)	3.253	51,8	449	7,1	2.213	35,2	369	5,9
Suínos – 2 galpões (100 suínos por galpão)	1.909	30,4	229	3,6	3.557	56,6	589	9,4
Bovino de leite – (10 bovinos)	6.047	96,2	237	3,8	-	-	-	-
Bovino de leite – (50 animais por rebanho)	2.724	43,3	85	1,4	3.323	52,9	152	2,4
Bovino de leite – (100 animais por rebanho)	1.283	20,4	30	0,5	4.764	75,8	207	3,3
Bovino de corte – Até 370 kg (10 bovinos)	6.210	98,8	74	1,2	-	-	-	-
Bovino de corte – (50 animais por rebanho)	3.656	58,2	46	0,7	2.554	40,6	28	0,5
Bovino de corte – (100 animais por rebanho)	2.120	33,7	18	0,3	4.090	65,1	56	0,9
Ovino e caprino – adulto (até 100 animais)	6.192	98,5	92	1,5	-	-	-	-
Criação de tilápia – (tanques de 100 m ³)	5.047	80,3	180	2,9	1.011	16,1	46	0,7

Fonte: Autor (2023).

5.3.3.1 Criação de aves

Conforme apresentado na Figura 16, referente ao potencial das águas salobras subterrâneas do Estado do Ceará, para a criação de até 600 aves (Tabela 11; Figura 17), levando em consideração apenas a dessedentação animal, 5.154 poços (82,0%) dispõem de uma condutividade elétrica da água e vazão adequadas, 1.130 poços (18,0%) possuem apenas a vazão adequada.

Figura 17 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para a criação de até 600 aves, com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada



Fonte: Autor (2023).

As aves são, dentre os sistemas avaliados, as que apresentam maior sensibilidade aos sais presentes na água para a dessedentação ($4,4 \text{ dS m}^{-1}$). Todos os poços avaliados atendem a demanda de 600 aves, pois dentre os animais considerados, elas possuem a menor quantidade de água necessária para o consumo. Ou seja, as aves necessitam de pouca água, porém, esta deve ter uma qualidade moderada.

Como em qualquer produção, no sistema avícola, a qualidade e a disponibilidade de água são um dos fatores principais que podem afetar o desenvolvimento das aves (SOARES *et al.*, 2007). Valores médios de sais presentes na água de consumo são aceitáveis e podem contribuir na dieta dos animais (BORA *et al.*, 1993) porém, níveis exorbitantes de sais podem ocasionar toxidez (WATKINS *et al.*, 2005).

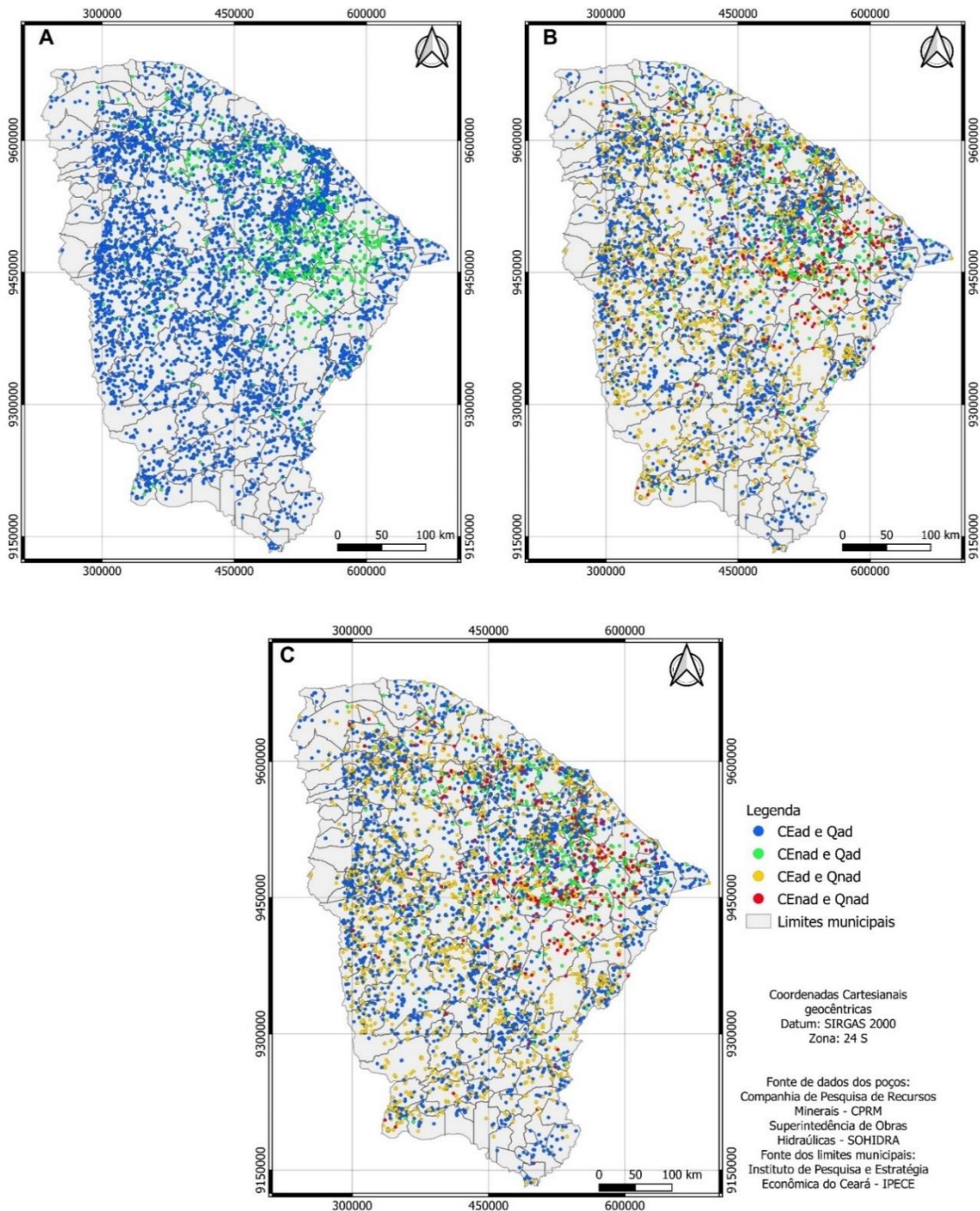
5.3.3.2 Criação de suínos

Para a dessedentação de 15 suínos (Tabela 11; Figura 18A), 5.466 poços (87,0%) possuem a condutividade elétrica e a vazão dos poços adequadas e 818 poços (13,0%) não possuem condutividade elétrica adequada, mas a sua vazão é adequada.

Considerando um galpão com 100 suínos, 3.253 poços (51,8%) apresentaram CE e vazão adequadas, 449 poços (7,1%) possuem vazão adequada, mas a condutividade elétrica não é adequada, 2.213 poços (35,2%) possuem apenas condutividade elétrica adequada, e 369 poços (5,9%) não possuem vazão e condutividade elétrica adequadas (Figura 18B). Já para dois galpões (100 suínos por galpão), 30,4% (1.909 poços) desfrutam de uma condutividade elétrica da água e uma vazão adequada, 3,6% (229 poços) têm apenas a vazão adequada, 56,6% (3.557 poços) têm apenas a condutividade elétrica da água adequada, e 9,4% (589 poços) não possuem condutividade elétrica da água e vazão adequadas (Figura 18C).

Figura 18 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para a criação de 15 suínos (A), 1 galpão – 100 animais por galpão (B) e 2 galpões – 100 animais por galpão (C), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad} : condutividade elétrica adequada; EC_{nad} : condutividade elétrica não adequada; Q_{ad} : vazão adequada; Q_{nad} : vazão não adequada

SUÍNOS



Fonte: Autor (2023).

Para a criação de 15 suínos, todos os poços avaliados possuem vazão suficiente para suprir a necessidade hídrica desses animais. Assim, possibilitando aos pequenos agricultores condições de criar até 15 porcos, para contribuir na geração de renda. Já para grandes empreendimentos, a demanda hídrica, que é considerada para todos os animais, tende a aumentar com o aumento do número de animais. Dessa forma, alguns poços passam a não ter

vazão suficiente para suprir a necessidade estabelecida. Em relação ao teor de sais, apenas uma pequena porcentagem dos poços (13%) não está dentro do limite máximo suportado pelos suínos.

A tolerância aos sais e a quantidade de água necessária são superior na suinocultura, em comparação com a avicultura. O consumo hídrico deve ser conhecido, pois representa um indicador de desempenho, tanto na quantidade como na qualidade. O desenvolvimento dos animais pode ser prejudicado por diversos fatores como, o teor de sais e a quantidade de água fornecida (PALHARES, 2010).

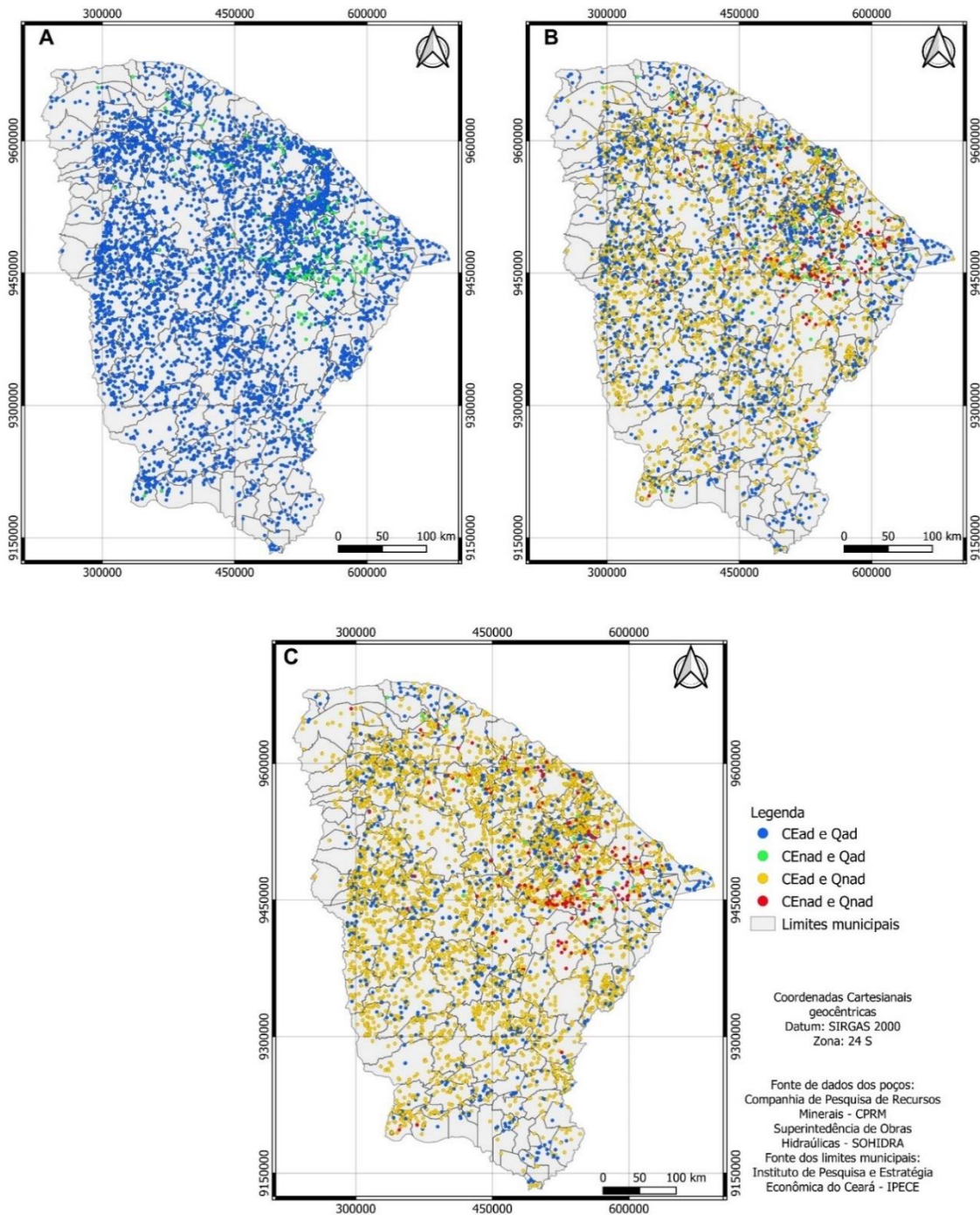
5.3.3.3 Criação de bovinos

Para a dessedentação de 10 bovinos de leite (Tabela 11; Figura 19A), dos poços avaliados 96,2% (6.047 poços) desfrutam de uma condutividade elétrica da água e uma vazão adequada, 3,8% (237 poços) têm apenas a vazão adequada para suprir as necessidades destes animais.

Considerando um rebanho com 50 bovinos de leite (Figura 19B), 43,3% (2.724 poços) apresentaram CE e vazão adequadas, 1,4% (85 poços) possuem vazão adequada, mas a condutividade elétrica não é adequada, 52,9% (3.323 poços) têm apenas a condutividade elétrica da água adequada, e 2,4% (152 poços) não possuem condutividade elétrica da água e vazão adequadas. Já para um rebanho com 100 bovinos de leite (Figura 19C), 20,4% (1.283 poços) possuem CE e Q adequadas, 0,5% (30 poços) possuem apenas vazão adequada, 75,8% (4.764 poços) apresentam apenas a CE adequada, 3,3% (207 poços) não possuem CE e Q adequadas para a dessedentação.

Figura 19 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para a criação de 10 bovinos de leite (A), 50 bovinos de leite por rebanho (B) e 100 bovinos de leite por rebanho (C), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad}: condutividade elétrica adequada; EC_{nad}: condutividade elétrica não adequada; Q_{ad}: vazão adequada; Q_{nad}: vazão não adequada

BOVINO DE LEITE



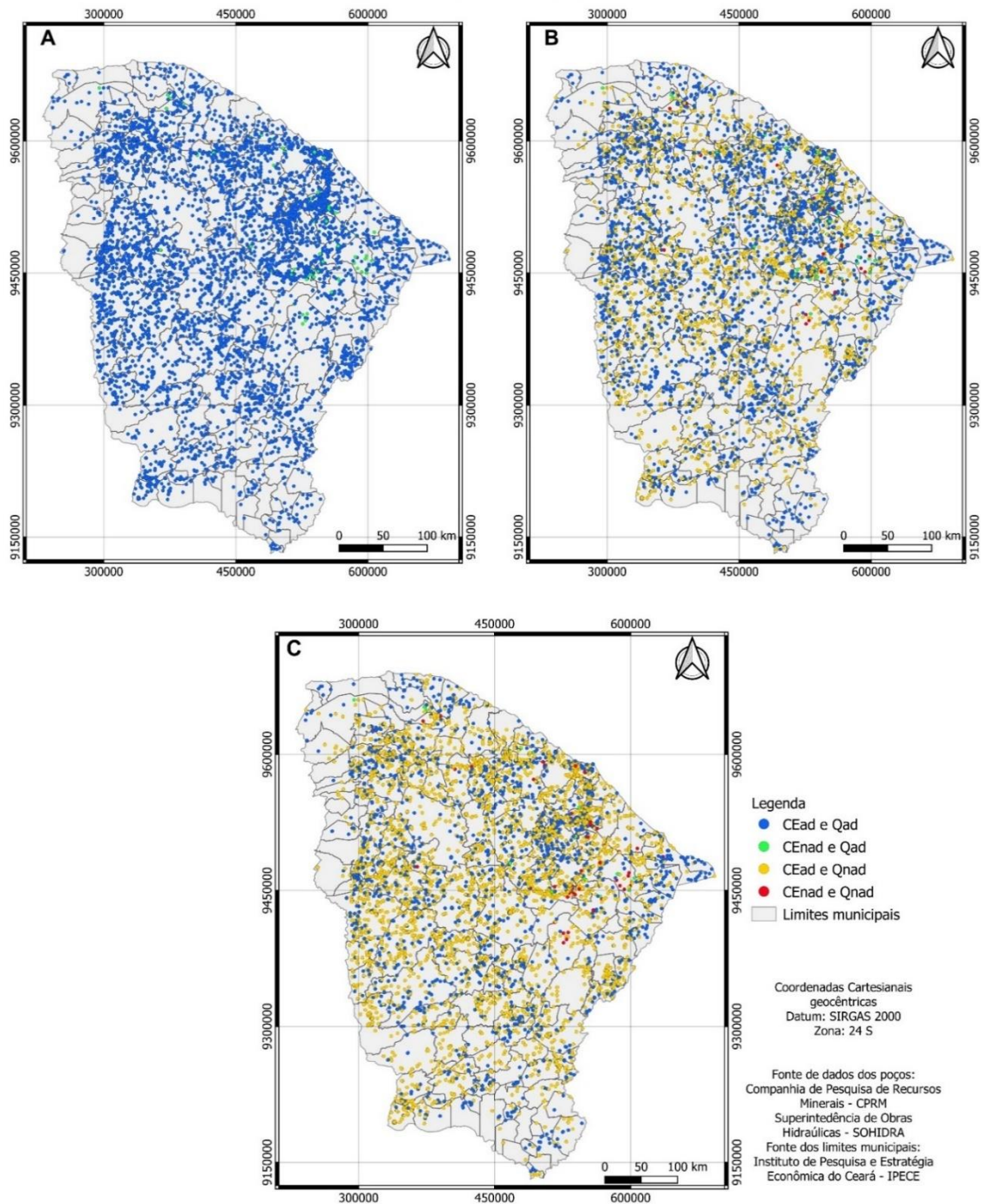
Fonte: Autor (2023).

Visando a criação de 10 bovinos de corte (Tabela 11; Figura 20A), a maior parte dos poços avaliados apresentaram condutividade elétrica da água e vazão adequadas para as condições necessárias, sendo 98,8% (6.210 poços). Apenas 1,2% (74 poços) não possuem condutividade elétrica adequada.

Para a criação de 50 bovinos de corte (Figura 20B), 3.656 poços (58,2%) atendem a demanda hídrica para a dessedentação e também a condutividade elétrica dentro do limite de tolerância dos animais. Porém, 46 poços (0,7%) têm apenas a vazão adequada, 2.554 poços (40,6%) portam apenas a condutividade elétrica adequada, e 28 poços (0,5%) não possuem CE e Q adequadas. Já para atender a necessidade de 100 bovinos de corte (Figura 20C), 2.120 poços (33,7%) estão aptos nos quesitos de qualidade e quantidade de água, 18 poços (0,3%) possuem apenas a vazão adequada, 4.090 poços (65,1%) possuem apenas a condutividade elétrica adequada, e 56 poços (0,9%) não estão aptos nos quesitos de qualidade e quantidade.

Figura 20 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para a criação de 10 bovinos de corte (A), 50 bovinos de corte por rebanho (B) e 100 bovinos de corte por rebanho (C), com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad}: condutividade elétrica adequada; EC_{nad}: condutividade elétrica não adequada; Q_{ad}: vazão adequada; Q_{nad}: vazão não adequada

BOVINO DE CORTE



Fonte: Autor (2023).

Os bovinos apresentam alta tolerância à salinidade da água de irrigação e também possuem um alto consumo de água. Para a pequena criação de bovinos, 10 animais, a maior parte dos poços (mais de 96% e 98% para bovinos de leite e de corte, respectivamente) possuem condições de fornecer água com sais dentro do limite para o gado e em quantidades suficientes. Sendo mais uma fonte de renda para os pequenos agricultores. Já considerando maiores

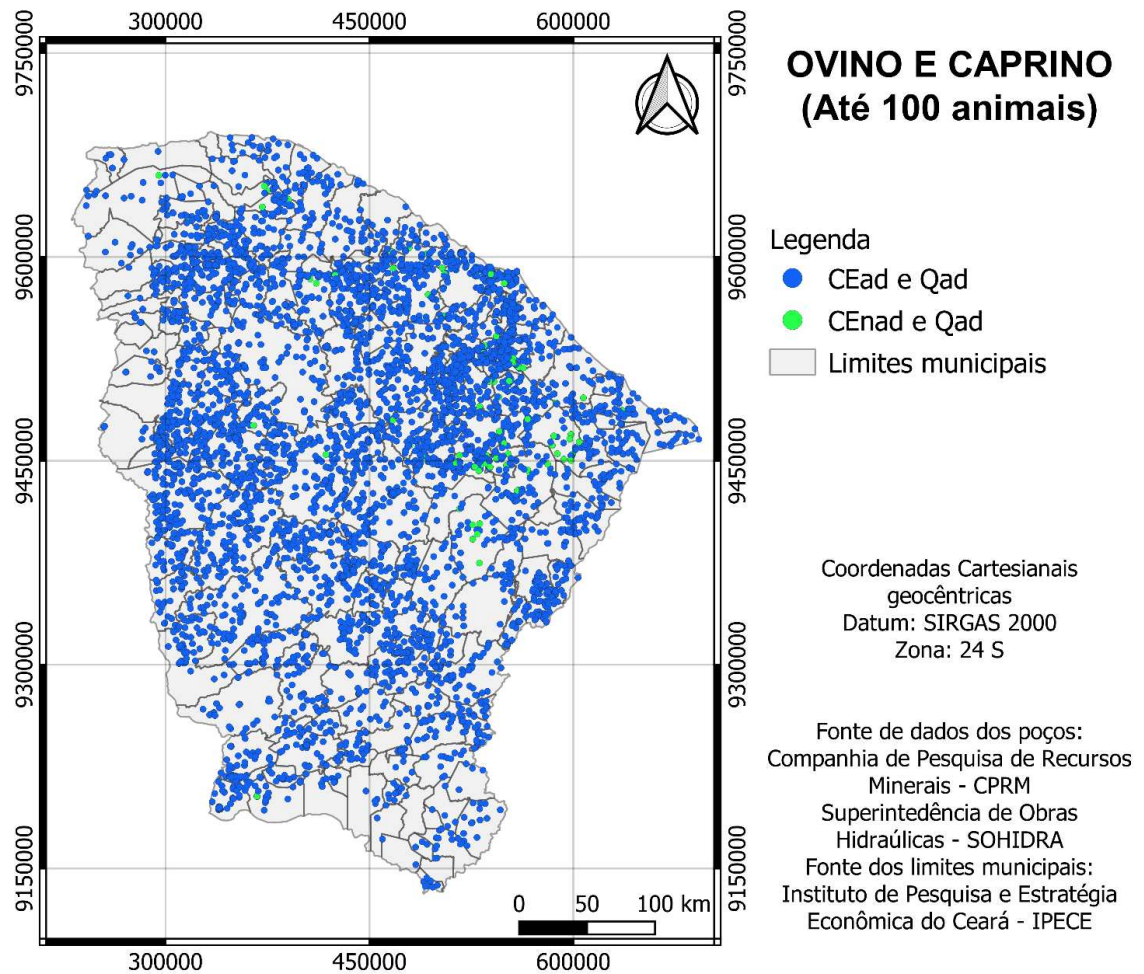
empreendimentos, com 50 e 100 bovinos, alguns poços passam a não ser adequados por apresentarem baixas vazões, para atender a demanda dos animais, visto que o consumo de água aumenta.

Por mais que a bovinocultura apresente rusticidade à falta de água, é importante que o fornecimento de água seja feito de forma adequada, em questão de qualidade e quantidade, pois pode afetar o crescimento, produtividade, produção de leite e consequentemente afetando no rendimento dos produtores (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Os bovinos de leite apresentam maior consumo de água do que os bovinos de corte, devido à produção de leite, portanto sendo necessário uma maior reposição hídrica (PERISSINOTO *et al.*, 2005). Holter e Urban (1992), Meyer *et al.* (2004) e Kume *et al.* (2010) observaram em bovinos, a relação entre o consumo de água e a produção de leite.

5.3.3.4 Criação de ovinos e caprinos

Conforme apresentado na Figura 21 (Tabela 11), referente à criação de até 100 ovinos e caprinos, a grande parte dos poços estão aptos para atender as necessidades de qualidade e quantidade de água para a dessedentação destes animais, sendo 6.192 poços (98,5%). O restante, 92 poços (1,5%) possuem restrição quanto à condutividade elétrica da água.

Figura 21 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para a criação de até 100 ovinos ou caprinos, com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad}: condutividade elétrica adequada; EC_{nad}: condutividade elétrica não adequada; Q_{ad}: vazão adequada; Q_{nad}: vazão não adequada



Fonte: Autor (2023).

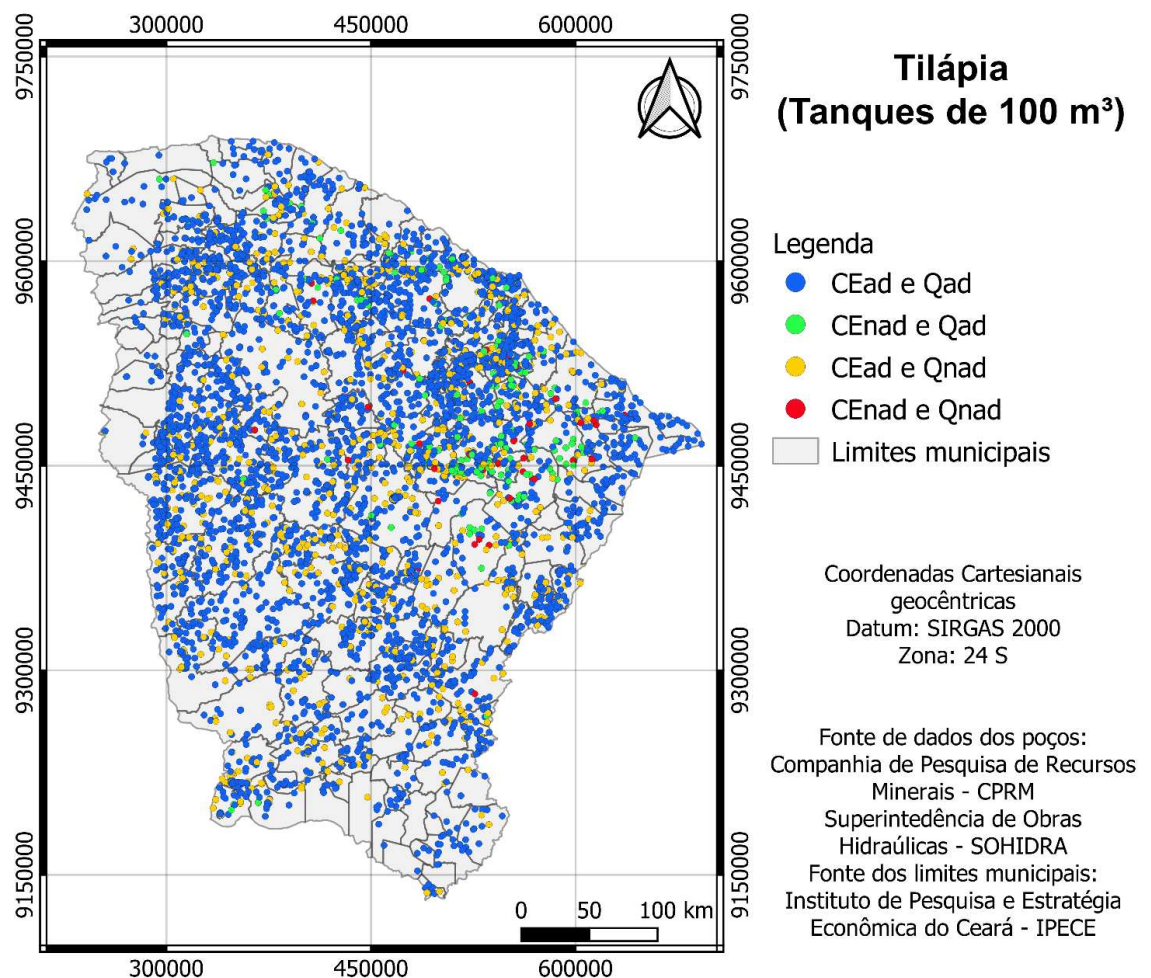
A ovinocaprinocultura é uma atividade importante, principalmente para as regiões áridas e semiáridas, devido a sua boa adaptabilidade às condições edafoclimáticas (RAINERI *et al.*, 2015). Os ovinos e caprinos conseguem consumir uma água com alto teor de sais (12 dS m^{-1}) sendo assim, menos de 2% dos poços avaliados possuem água com condutividade elétrica superior ao limite suportado por esses animais. Todos os poços possuem vazão suficiente para uso na dessedentação, devido ao baixo consumo de água necessário para satisfazer estes animais.

5.3.3.5 Criação de tilápia

Para a criação de tilápia, em tanques de 100 m^3 (Tabela 11; Figura 22), 80,3% (5.047 poços) apresentaram CE e Q adequadas, 2,9% (180 poços) têm restrição para a

condutividade elétrica da água, 16,1% (1.011 poços) têm restrição quanto à vazão e, apenas 0,7% (46 poços) não apresentam condições adequadas de condutividade elétrica e vazão.

Figura 22 – Potencial de águas salobras do Estado do Ceará (Nordeste do Brasil) para a criação de tilápia em tanques de 100 m³, com base nos critérios de condutividade elétrica da água de irrigação e vazão do poço. EC_{ad}: condutividade elétrica adequada; EC_{nad}: condutividade elétrica não adequada; Q_{ad}: vazão adequada; Q_{nad}: vazão não adequada



Fonte: Autor (2023).

A produção de tilápia em tanques apresenta alto grau de adaptabilidade à salinidade e exige-se pouca água, alcançando grau de adequação superior a 80%. Amaral e Navori (2023), avaliando o potencial de aproveitamento de águas salobras no semiárido brasileiro concluíram que o uso dessas águas na piscicultura apresenta menor grau de restrição do que o uso na agricultura.

5.4 CONCLUSÕES

O semiárido brasileiro apresenta problemas de escassez hídrica para garantir a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Porém, as águas subterrâneas dessa região, mesmo com baixas vazões e a presença de sais, podem garantir de forma geral, o estabelecimento de diversos sistemas em pequena escala, tanto para a produção vegetal como para animal. Nosso estudo evidencia que a partir da quantificação e caracterização das águas subterrâneas com os índices adotados, é possível identificar as potencialidades dos poços com águas salobras do semiárido brasileiro para os diferentes sistemas produtivos avaliados, demonstrando-se que a utilização das águas subterrâneas é uma alternativa para elevar a produção nesta região.

Fica evidente que o potencial produtivo das águas salobras subterrâneas do semiárido brasileiro não depende apenas da tolerância da cultura e dos animais à salinidade, mas do conjunto de dados do sistema de produção (grau de tolerância à salinidade e demanda hídrica) e da fonte hídrica (salinidade da água e a vazão). Os sistemas de produção vegetal com menor requerimento hídrico (palma forrageira, irrigação suplementar, cultivo hidropônico e produção de mudas), mesmo com níveis de tolerância moderada ao estresse salino, apresentaram resultados superiores aos de espécies mais tolerantes, incluindo halófitas e coqueiro. Cerca de 65% dos poços com águas salobras não têm vazão suficiente para irrigar uma área de 1,0 ha com plantas halófitas, apesar de mais de 95% não terem limitação de salinidade. Para o coqueiro, essa limitação pela vazão alcança 71% dos poços face à elevada demanda hídrica desta cultura, apesar de mais de 80% das fontes hídricas não alcançarem o limiar de tolerância à salinidade da cultura. Contrariamente, a palma forrageira e outros sistemas com menor requerimento hídrico (irrigação suplementar, hidroponia e produção de mudas), apresentam potencial bem mais elevado em termos de adequação à vazão dos poços, considerando-se a predominância de níveis moderados de salinidade das fontes hídricas da região. Deve-se destacar ainda a necessidade de difusão de sistemas múltiplos (consórcios de espécies vegetais ou combinação de peixes com vegetais), os quais aumentam as oportunidades de sustentabilidade dos sistemas produtivos no semiárido, especialmente os relacionados à agricultura familiar, mesmo para sistemas com glicófitas com tolerância moderada a salinidade de água.

A criação de aves, ovinos e caprinos são ótimas opções para a região semiárida, com uso de águas salobras. A ovinocultura apresenta maior resistência aos sais da água do que as aves, atingindo 98% de adequação. Já as aves, apresentam 82% de adequação, mesmo a porcentagem sendo menor em comparação aos ovinos e caprinos, ainda é um nível satisfatório para a região semiárida. Para a criação de peixe (tilápias), a adequabilidade ultrapassa os 80%.

Já para animais de portes maiores (suínos e bovinos), a realidade muda conforme a quantidade de animais, mas as limitações em termos de salinidade da água são baixas. Para 15 suínos a adequação é de 87,0%, quando a criação passa para 200 suínos o nível de adequação cai para 30,4%. O mesmo ocorre para os bovinos, para a criação de 15 bovinos de leite, 96,2% dos poços avaliados são adequados, quando esse número passa para 100 animais, ocorre uma queda de mais de 70% na adequação. Já para a criação de bovinos de corte, em uma criação de 10 animais a adequabilidade é de 98,8%, com o aumento dos animais para 100 bovinos, acontece uma queda maior que 60% de adequação. As águas subterrâneas dessa região, mesmo com baixas vazões e a presença de sais, podem garantir de forma geral, a criação de animais e permitir o desenvolvimento de milhares de pequenos negócios no semiárido brasileiro.

Conclui-se que as águas salobras do aquífero cristalino apresentam alto potencial para a agricultura familiar no semiárido brasileiro. Nossos resultados também demonstraram que o uso de dados quantitativos e qualitativos gera informações mais realistas relacionadas ao potencial da água salobra para fins agrícolas, e esse tipo de avaliação deve ser recomendado para outras regiões semiáridas do mundo. Esse método de avaliação também pode ser utilizado por agricultores, incluindo aqueles que possuem poços com vazões mais elevadas, possibilitando definir o potencial das águas salobras e escolher os sistemas mais sustentáveis para a agricultura bioassalada.

6. CAPÍTULO 2: CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS SALOBRAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS BANABUIÚ E CURU PARA IRRIGAÇÃO

RESUMO

A qualidade da água pode afetar as propriedades do solo e da planta. O objetivo do presente estudo foi avaliar e classificar a qualidade das águas salobras subterrâneas em bacias hidrográficas para fins de irrigação. O estudo foi desenvolvido nas bacias hidrográficas do rio Banabuiú e do rio Curu, no Estado do Ceará, utilizando-se laudos compostos pelas características químicas das águas de poços. Foram analisadas 192 amostras da bacia hidrográfica do Banabuiú (10 municípios) e 79 amostras da bacia hidrográfica do Rio Curu (7 municípios), todas com condutividade elétrica (CE) $\geq 0,8 \text{ dS m}^{-1}$ (águas salobras). Uma análise descritiva dos parâmetros dos laudos foi realizada, a fim de analisar os valores dos elementos presentes na água. Utilizou-se também, as metodologias de Richards (1954) e Ayers e Westcot (1991) para caracterizar a qualidade das águas salobras. A salinidade e a sodicidade são determinantes na avaliação e monitoramento da qualidade das águas. As águas da bacia hidrográfica do rio Curu apresentam maior restrição em termos de condutividade elétrica (média de $3,76 \text{ dS m}^{-1}$), além de apresentar a maior RAS ($5,96 \text{ mmol L}^{-1}$) e maior quantidade de sólidos totais dissolvidos ($2.460,1 \text{ mg L}^{-1}$), em comparação às águas da bacia hidrográfica do rio Banabuiú (CE = $2,72 \text{ dS m}^{-1}$, RAS = $3,87 \text{ mmol L}^{-1}$; STD = $1.763,07 \text{ mg L}^{-1}$). Na metodologia de Richards (1954), tanto as águas do Banabuiú como do Curu, são classificadas em sua maior parte (83,9% e 69,6%, respectivamente), como águas que apresentam problemas alto e muito alto de salinidade e baixo a médio risco de sodicidade. Da mesma forma na metodologia de Ayers e Westcot (1991), o maior problema nas águas das duas bacias hidrográficas está relacionado ao teor de sais da água, pois os problemas de sodicidade não chegam a 10%. Portanto, a definição do potencial das águas salobras subterrâneas deve-se levar em conta as restrições impostas principalmente pela salinidade da água, face aos baixos riscos de sodicidade.

Palavras-chave: Semiárido, recursos hídricos, atributos, agricultura bioessalina.

ABSTRACT

Water quality can affect soil and plant properties. The aim of this study was to evaluate and classify the quality of ground brackish water in watersheds for irrigation purposes. The study was carried out in the watersheds of the Banabuiu and Curu rivers, in the State of Ceará, using reports composed of the chemical characteristics of water from wells. A total of 192 samples from the Banabuiú watershed (10 municipalities) and 79 samples from the Curu River watershed (7 municipalities) were analyzed, all with electrical conductivity (EC) ≥ 0.8 dS m⁻¹ (brackish water). A descriptive analysis of the parameters of the reports was carried out in order to analyze the values of the elements present in the water. The methodologies of Richards (1954) and Ayers and Westcot (1991) were also used to characterize the quality of brackish waters. Salinity and sodicity are crucial in assessing and monitoring water quality. The waters of the Curu river basin are more restriction in terms of electrical conductivity (average of 3.76 dS m⁻¹), in addition to having the highest SAR (5.96 mmol L⁻¹) and the highest amount of total dissolved solids (2,460.1 mg L⁻¹), compared to the waters of the Banabuiú river basin (EC = 2.72 dS m⁻¹, SAR = 3.87 mmol L⁻¹; TDS = 1,763.07 mg L⁻¹). In Richards' methodology (1954), both the waters of the Banabuiú and the Curu are classified for the most part (83.9% and 69.6%, respectively) as waters that present high and very high problems of salinity and low to medium risk of sodicity. Similarly in the methodology of Ayers and Westcot (1991), the biggest problem in the waters of the two basins is related to the salt content of the water, as the sodicity problems do not reach 10%. Before, the definition of the potential of brackish groundwater must take into account the restrictions imposed mainly by the salinity of the water, given the low risks of sodicity.

Keywords: Semi-arid, water resources, attributes, biosaline agriculture.

6.1 INTRODUÇÃO

A escassez de recursos hídricos superficiais e a superexploração dos recursos subterrâneos afetam o fornecimento de água para diversas atividades (KÜSTER; LEMOS, 2019). A região Nordeste apresenta cenários de seca, devido a irregularidade dos índices pluviométricos, temperaturas elevadas e altas taxas de evaporação (FRANÇA *et al.*, 2019).

A irrigação é um fator de segurança determinante para a agricultura, sobretudo em regiões áridas e semiáridas (ARRAES *et al.*, 2009). Porém, nessas regiões, a escassez hídrica é um fator que limita o desenvolvimento dessa prática, e conseqüentemente suprime as atividades agropecuárias (NUNES, 2021). Com isso, ocorre uma maior demanda de implantação de reservatórios de água como alternativa para suprir as necessidades hídricas das atividades agrícolas, e garantir a produção (HOLANDA *et al.*, 2016; NUNES, 2021). O Nordeste brasileiro tem grande número de poços perfurados com o objetivo de minimizar os impactos da escassez hídrica, dos quais as águas são utilizadas majoritariamente para uso na agricultura (SILVA JÚNIOR *et al.*, 1999; ANA, 2018).

No entanto, é importante conhecer a composição das águas a fim de obter parâmetros de qualidade para uso agrônômico, principalmente, quando deseja-se utilizar na irrigação (MAIA *et al.*, 2001). A salinidade, sodicidade, alcalinidade, quantificação de cátions e ânions, são alguns parâmetros importantes e que devem ser avaliados na análise, indicando assim a qualidade da água (LI *et al.*, 2017). Na composição iônica das águas, ocorrem alterações conforme o tipo da fonte, o percurso que a água faz, a estação do ano, o grau de intemperismo das rochas e o tipo de solo (CRUZ; MELO, 1969). Através de análises é possível determinar a qualidade da água, que contribui para planejar as atividades agrícolas (VILLANUEVA *et al.*, 2015). A política mundial de conservação de recursos hídricos tem como uma de suas prioridades realizar o monitoramento da qualidade das águas (SIMEONOV *et al.*, 2002).

A elevada concentração de sais nas águas subterrâneas, é decorrente, da origem, composição e da geologia da região (YARON, 1973). Conforme Ayers e Westcot (1999), a salinidade configura-se como uma das principais problemáticas que afetam a qualidade da água para fins de irrigação. O acúmulo excessivo de sais na água de irrigação ocasiona redução na disponibilidade de água para as plantas devido as alterações no potencial osmótico do solo (NEVES *et al.*, 2009; DIAS *et al.*, 2017). A sodicidade da água pode ser avaliada através da razão de adsorção de sódio (RAS). Para a classificação da água em relação aos riscos de infiltração, a mesma deve ser realizada levando em consideração a RAS e a CE (AYERS; WESTCOT, 1999). Sendo assim, é necessário estudar e monitorar as águas subterrâneas, como

forma de estratégia de identificação da qualidade e do potencial de uso das águas (SINGHA *et al.*, 2021).

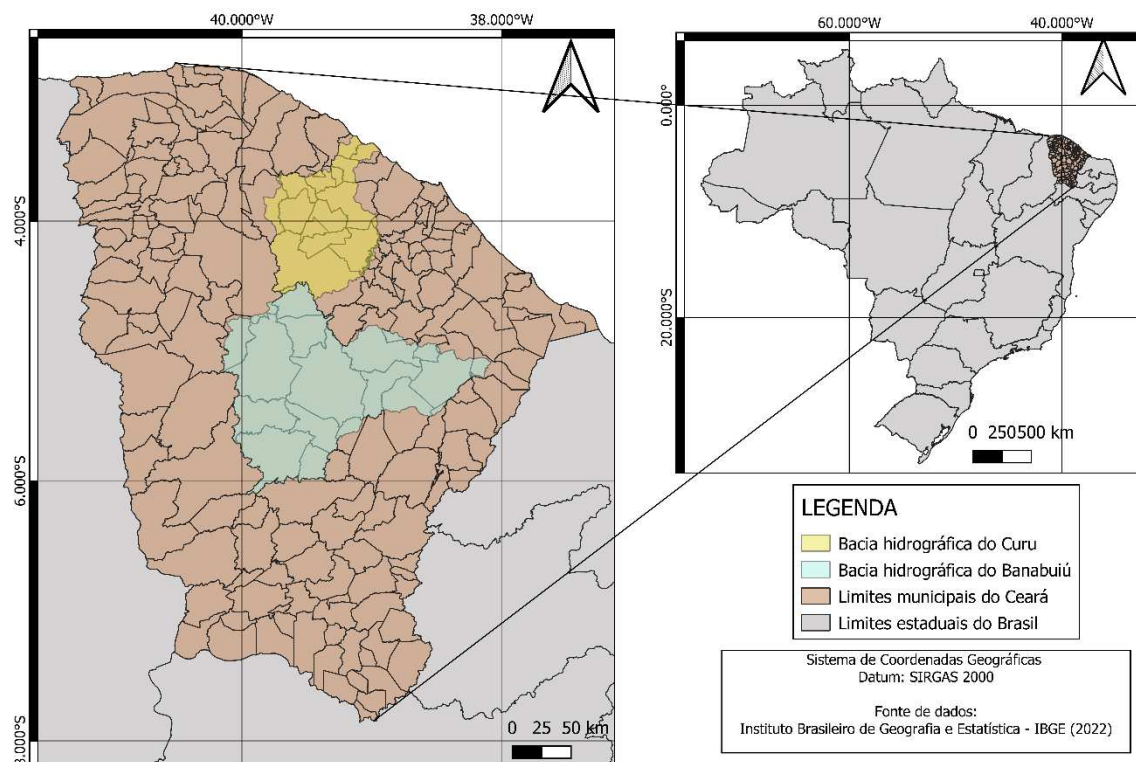
A caracterização das águas é realizada através de um estudo hidrogeoquímico que tem como propósito determinar e avaliar os constituintes e as propriedades da água (SANTOS, 2008). Com isso, o objetivo foi avaliar e classificar a qualidade das águas subterrâneas das bacias hidrográficas do Rio Banabuiú e do Rio Curu, visando identificar o potencial e as limitações para uso na irrigação de sistemas da agricultura bioessalina no semiárido brasileiro.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 Localização e caracterização da área do estudo

O estudo foi desenvolvido no Estado do Ceará, utilizando-se laudos compostos por parâmetros físico-químicos das águas de poços nas bacias hidrográficas dos Rios Curu e Banabuiú (Figura 23).

Figura 23 – Localização geográfica da área de estudo



Fonte: Autor (2023).

A bacia hidrográfica do Rio Curu é composta por 15 municípios, sendo eles: Apuiarés, Canindé, Caridade, General Sampaio, Irauçuba, Itapajé, Itatira, Paracuru, Paraipaba, Paramoti, Pentecoste, São Gonçalo do Amarante, São Luís do Curu, Tejuçuoca e Umirim. Possui uma área de drenagem de 8.750,75 km², correspondente a 6% do território cearense, sendo o seu principal afluente o rio Canindé. Essa bacia apresenta uma capacidade de acumulação de águas superficiais de 1.068.355.000 m³ (COGERH, 2021).

A bacia hidrográfica do Banabuiú é composta por 15 municípios, sendo eles: Banabuiú, Boa Viagem, Ibicuitinga, Itatira, Jaguaratama, Madalena, Milhã, Mombaça, Monsenhor Tabosa, Morada Nova, Pedra Branca, Piquet Carneiro, Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu. Possui uma área de drenagem de 19.316 km², correspondente a 13,37% do território cearense, sendo o Rio Banabuiú, o principal tributário do Rio Jaguaribe, e apresenta uma capacidade de acumulação de águas superficiais de 2.760.549.943 m³ (COGERH, 2022).

6.2.2 Caracterização do banco de dados

Para este estudo, a Superintendência de Obras Hidráulicas do Ceará - SOHIDRA forneceu o banco de dados dos laudos das análises hidroquímicas das águas subterrâneas salobras ($CE \geq 0,8 \text{ dS m}^{-1}$) das bacias hidrográficas dos rios Banabuiú e Curu. Para tanto, foram disponibilizados os laudos de resultados de análises de amostras de 10 municípios representativos que compõem a bacia hidrográfica do Banabuiú (total de 192 amostras) e de 7 municípios que fazem parte da bacia hidrográfica do Rio Curu (total de 79 amostras), contendo as informações descritas na Tabela 12.

Tabela 12 – Número de amostras por município em cada bacia

Bacia	Municípios	Número de amostras
Bacia do Banabuiú	Banabuiú	1
	Boa Viagem	27
	Itatira	1
	Madalena	8
	Milhã	4
	Monsenhor Tabosa	30
	Pedra Branca	31

	Quixadá	50
	Quixeramobim	27
	Senador Pompeu	13
Bacia do Curu	Apuiarés	14
	Canindé	31
	Caridade	9
	Paraipaba	1
	Paramoti	1
	Pentecoste	18
	Tejuçuoca	5

Fonte: Autor (2023).

6.2.3 Caracterização Hidroquímica

De forma a caracterizar a qualidade das águas subterrâneas nas duas bacias hidrográficas, foram obtidos os resultados hidroquímicos das amostras analisadas. Encontra-se na Tabela 13 os parâmetros analisados e as respectivas unidades.

Tabela 13 – Características analisadas para definição da qualidade da água para irrigação

Atributos	Unidade
Condutividade Elétrica (CE)	dS m ⁻¹
Razão de adsorção de sódio	mmol L ⁻¹
Potencial Hidrogeniônico (pH)	-
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	mg L ⁻¹
Dureza Total (CaCO ₃)	mg L ⁻¹
Ferro total (Fe)	mg L ⁻¹
Cálcio (Ca ²⁺)	mmol _c L ⁻¹
Magnésio (Mg ²⁺)	mmol _c L ⁻¹
Sódio (Na ⁺)	mmol _c L ⁻¹
Cloreto (Cl ⁻)	mmol _c L ⁻¹
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg L ⁻¹
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mmol _c L ⁻¹
Amônia Total (NH ₃)	mg L ⁻¹

Fonte: Autor (2023).

Para calcular a razão de adsorção de sódio (RAS) utilizou-se a fórmula desenvolvida pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (RICHARDS, 1954), conforme a equação 1.

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

em que:

Na^+ - Concentração de sódio na água, em $mmol_c L^{-1}$;

Ca^{2+} - Concentração de cálcio na água, em $mmol_c L^{-1}$;

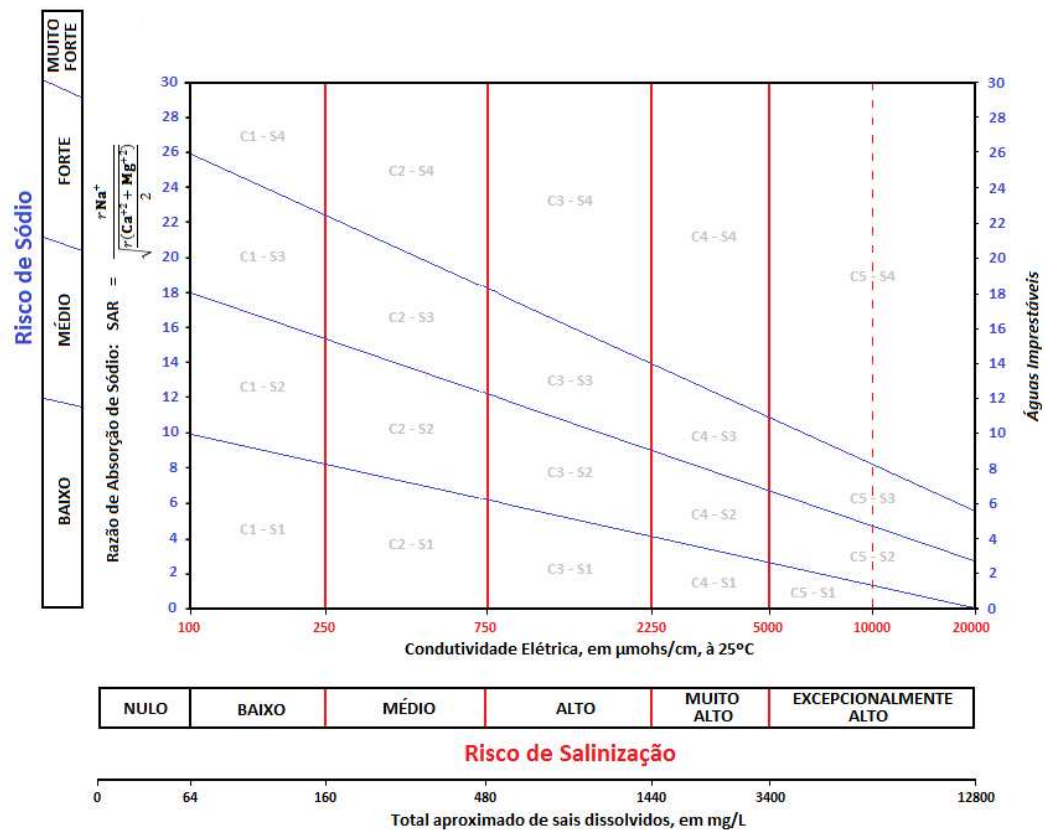
Mg^{2+} - concentrações de Magnésio, em $mmol_c L^{-1}$.

6.2.4 Classificação das águas para irrigação

6.2.4.1 Metodologia de Richards (1954)

Para obter a classificação das amostras de águas subterrâneas das bacias hidrográficas, com a finalidade de uso para a irrigação, foi utilizado o software QUALIGRAF versão 1.17 (FUNCEME, 2001). Para esta classificação foram consideradas as concentrações de sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloreto e sulfato, como também condutividade elétrica, razão de adsorção de sódio e potencial hidrogeniônico. Nesse processo, utiliza-se a metodologia do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos, proposta por Richards (1954), em que é possível identificar os riscos de salinização e/ou sodificação, conforme Figura 24.

Figura 24 – Gráfico de risco de salinização e sodificação.



Fonte: FUNCEME (2001)

A classificação da água para irrigação, seguindo a metodologia de Richards (1954), utiliza uma classificação qualitativa. Para o risco de salinização, são utilizadas quatro classes sucessivas, C1, C2, C3 e C4, que variam com o aumento da concentração de sais na água. Sendo, a classe C1, águas com baixa salinidade, ou seja, concentrações de sais menor que $0,25 \text{ dS m}^{-1}$. A classe C2, águas de média salinidade, que sua condutividade elétrica esteja entre $0,25$ e $0,75 \text{ dS m}^{-1}$. Águas de alta salinidade, pertencem a classe C3, e suas concentrações de sais devem estar entre $0,75$ e $2,25 \text{ dS m}^{-1}$. E as águas de muito alta salinidade, fazem parte da classe C4, suas concentrações de sais são maiores que $2,25 \text{ dS m}^{-1}$. Vale ressaltar que no presente trabalho foram identificadas apenas as classes C3 e C4, visto que foram utilizados laudos apenas de águas salobras ($\text{CE} \geq 0,8 \text{ dS m}^{-1}$). O risco de sodicidade é avaliado através da razão de adsorção de sódio (RAS), utiliza-se a classificação de S1 a S4, como, baixo, médio, alto e muito alto, respectivamente.

6.2.4.2 Metodologia de Ayers e Westcot (1991)

Também foi realizada a classificação da água, quanto à salinidade e a sodicidade, de acordo com a metodologia proposta por Ayers e Westcot (1991), conforme apresentado nas Tabelas 14 e 15, respectivamente.

Tabela 14 – Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade

Classe de salinidade	CE _a (dS m ⁻¹)	Problema de salinidade
C1	< 0,7	Nenhum
C2	0,7 – 3,0	Moderado
C3	> 3,0	Severo

Fonte: Adaptada de Ayers e Westcot (1991)

Tabela 15 – Riscos de problemas de infiltração no solo causados pela sodicidade da água

RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	Classes de sodicidade ¹		
	S1	S2	S3
	Sem problemas	Problemas crescentes	Problemas severos
	CE _a (dS m ⁻¹)		
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 e Westcot (1991). ¹ Simbologia (S) não se refere a classificação de Richards (1954), foi inserida para resumir a classificação da classe.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores mínimos, médios, máximos, medianos e desvio padrão, dos atributos das análises hidroquímicas das águas subterrâneas das Bacias hidrográficas dos Rios Banabuiú e Curu, estão apresentados nas tabelas 16, 17 e 18. A maior média da condutividade elétrica das águas foi verificada na Bacia do Curu (3,76 dS m⁻¹), como também a maior mediana (2,84 dS m⁻¹), em comparação à bacia do Banabuiú que foi de 2,72 e 2,16 dS m⁻¹ para média e

mediana, respectivamente. Estes resultados mostram que mais de 50% das águas de ambas as bacias possuem restrição baixa a moderada de salinidade, e estão dentro do limite de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$, proposto por Ayers e Westcot (1991), indicando que as águas possuem grau de restrição moderada. Porém, os resultados apresentados no Capítulo 1, indicam elevado potencial para sistemas produtivos, principalmente os que utilizam menores volumes de água e apresentam tolerância moderada ao estresse salino.

Tabela 16 – Valores mínimos, médios, máximos, medianos e desvio padrão para CE, RAS, pH e STD das águas subterrâneas nas Bacias do Banabuiú e Curu

Atributos	Parâmetros descritivos	Bacia do Banabuiú	Bacia do Curu
CE (dS m^{-1})	Mínimo	0,95	0,8
	Média	$2,72 \pm 1,6$	$3,76 \pm 2,6$
	Máximo	8,93	12,22
	Mediana	2,16	2,84
RAS (mmol L^{-1})	Mínimo	0,18	0,67
	Média	$3,87 \pm 2,9$	$5,96 \pm 3,7$
	Máximo	17,34	19,91
	Mediana	3,21	5,17
pH a 25°	Mínimo	6,63	5,19
	Média	$7,48 \pm 0,3$	$7,32 \pm 0,6$
	Máximo	8,58	8,75
	Mediana	7,47	7,42
Sólidos Totais Dissolvidos (mg L^{-1})	Mínimo	611,1	512,0
	Média	$1.763,07 \pm 1.052,4$	$2.460,1 \pm 1.674,1$
	Máximo	5.715,6	7.822,7
	Mediana	1.389,50	1.872,0

Fonte: Autor (2023).

Segundo Feitosa e Diniz (2011) as águas subterrâneas do embasamento cristalino, normalmente são cloretadas sódicas e dispõem, em geral, altos teores de sólidos dissolvidos totais, com uma média de 2.000 mg L^{-1} . O valor dos atributos das águas subterrâneas avaliados, quando superiores aos valores limites, ocasionam diversos problemas tanto para as culturas como para o solo. A condutividade elétrica da água é um indicativo relevante para a quantidade de constituintes químicos que estão dissolvidos na água (LIU *et al.*, 2022). A utilização contínua de água com condutividade elétrica superior a $0,7 \text{ dS m}^{-1}$, com o manejo inadequado, pode colaborar com o aumento da concentração de sais no solo, que conseqüentemente podem ser

conduzidos para a zona saturada do aquífero por meio das chuvas e/ou irrigação, resultando no aumento da salinidade das águas subterrâneas (ANDRADE *et al.*, 2012).

Analisando os sistemas de produção vegetal e animal estudados no Capítulo 1, a partir das médias da condutividade elétrica das águas das bacias do Banabuiú ($2,72 \text{ dS m}^{-1}$) e Curu ($3,76 \text{ dS m}^{-1}$), verifica-se que as águas do Curu apresentam maior restrição para os sistemas vegetais, possuindo CE apta para o pleno desenvolvimento de apenas 9 sistemas. Já para os sistemas de produção animal, mesmo esta média sendo relativamente alta, não apresenta restrição para a produção dos animais estudados.

Como a bacia do Banabuiú apresenta uma média de condutividade elétrica das suas águas menor do que a bacia do Curu, esta possui um maior número de sistemas de produção vegetal disponível para o uso de suas águas sem que afete a sua produção em termos de salinidade. Para os sistemas de produção animal, as águas do Banabuiú também não apresentam restrição de uso.

As águas da Bacia do Curu, apresentaram os maiores valores dos parâmetros descritivos analisados para a RAS, em comparação à Bacia do Banabuiú, sendo a média de $5,96 \text{ mmol L}^{-1}$ e mediana de $5,17 \text{ mmol L}^{-1}$. Levando em consideração os valores médios da razão de adsorção de sódio e da condutividade elétrica juntos, mostra que tanto as águas da bacia do Banabuiú como do Curu apresentam baixo grau de restrição. Sendo assim, elas podem ser utilizadas na irrigação sem preocupações com problemas potenciais de infiltração de água no solo (AYERS; WESTCOT, 1991). As águas que apresentam altos teores de sódio e baixos teores de cálcio, ocasionam redução na velocidade de infiltração da água no solo (ALMEIDA, 2010). Os valores de RAS podem aumentar de acordo com a presença de sais solúveis na água de irrigação (PESSOA *et al.*, 2019a).

A maior média e mediana do pH foram obtidas nas análises da Bacia do Curu (7,48 e 7,47, respectivamente). Segundo Ayers e Westcot (1991), o pH ideal de uma água para uso na irrigação, deve estar na faixa de 6,5 a 8,4. Considerando essa faixa ideal, ambas as bacias apresentam águas com pH fora desse limite. As duas bacias apresentam águas com pH inferiores a 6,5 e superior a 8,4, levando em consideração esses valores de pH de forma isolada, existem águas que não são adequadas para a irrigação. O pH indica a acidez ou alcalinidade de uma solução, quando apresenta alta acidez pode promover corrosão em materiais de irrigação (BELIZÁRIO, 2016; GOMES; CAVALCANTE, 2017). Sendo assim, águas com valores de pH fora do intervalo recomendado devem ser analisadas.

Em relação aos sólidos totais dissolvidos, a maior média ($2.460,1 \text{ mg L}^{-1}$) e a maior mediana ($1.872,0 \text{ mg L}^{-1}$) foram encontradas nas águas da Bacia do Curu. Considerando a faixa

usual de STD estabelecida por Ayers e Westcot (1991), que é de 2000 mg L⁻¹, apenas a média do Banabuiú está adequada, sendo que os valores máximos estão muito acima do valor estabelecido. Os valores máximos de sólidos totais dissolvidos, estão acima do valor estabelecido por Ayers e Westcot (1991). Além do alto valor, existe a alta variação entre os diferentes poços avaliados, que indica diferenças na litologia do aquífero, nos processos geoquímicos e nas atividades antrópicas (LIU *et al.*, 2022).

A dureza total, geralmente, está associada à concentração de Ca²⁺ e Mg²⁺. As bacias do Curu e do Banabuiú apresentam dureza total média 1055,03 mg L⁻¹ e 939,65, respectivamente. Segundo Von Sperling (1996), a partir das concentrações de dureza, a água pode ser classificada como água mole (< 50 mg L⁻¹), água de dureza moderada (50 a 150 mg L⁻¹), água dura (150 a 300 mg L⁻¹), água muito dura (> 300 mg L⁻¹). Com base nessa classificação, concluiu-se que as águas de ambas as bacias possuem dureza elevada. Este atributo pode causar problemas aos sistemas de irrigação, como o entupimento de emissores, principalmente na irrigação localizada, devido ao pequeno diâmetro dos emissores, ou a deterioração dos sistemas, que podem ocorrer pela presença de sais como materiais em suspensão (AYERS; WESTCOT, 1991; ALMEIDA, 2010; CRUZ, 2014).

Tabela 17 – Valores mínimos, médios, máximos, medianos e desvio padrão para dureza total, ferro total, nitratos e amônia total das águas subterrâneas nas Bacias do Banabuiú e Curu

Atributos	Parâmetros descritivos	Bacia do Banabuiú	Bacia do Curu
Dureza total (mg L⁻¹)	Mínimo	64,2	92,2
	Média	939,65 ± 719,1	1055,03 ± 878,5
	Máximo	5324,8	5383,4
	Mediana	726,80	765,90
Ferro total (mg L⁻¹)	Mínimo	0	0
	Média	0,1 ± 0,3	0,1 ± 0,5
	Máximo	3,1	4,0
	Mediana	0,05	0
Nitratos (mg L⁻¹)	Mínimo	0	0
	Média	9,3 ± 13,5	5,5 ± 9,4
	Máximo	67,0	59,2
	Mediana	4,2	1,4
Amônia Total (mg L⁻¹)	Mínimo	0	0
	Média	0,4 ± 0,9	0,4 ± 1,9

Máximo	11,0	17,0
Mediana	0,08	0,05

Fonte: Autor (2023).

O valor médio de ferro total ($0,1 \text{ mg L}^{-1}$) foi obtido nas análises das águas das duas bacias. Já a mediana foi de $0,05$ para a bacia do Banabuiú e 0 para a bacia do Curu. Segundo Pratt (1972) a recomendação de concentração máxima de ferro é de $5,0 \text{ mg L}^{-1}$, limite que pode causar toxidez nas plantas, não sendo tóxico em solos com boa drenagem. O ferro presente na água de irrigação pode sofrer um processo de oxidação, fazendo com que ele se precipite na forma de Fe^{3+} , e conseqüentemente obstruindo os emissores (MANTOVANI *et al.*, 2007). Sendo assim, considerando os riscos de obstrução dos emissores e tubulações de irrigação, diversos autores estabelecem limites diferentes, como $1,5 \text{ ppm}$ ($1,5 \text{ mg L}^{-1}$) (NAKAYAMA; BUCKS, 1986) e $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ (BAR, 1995; HERNANDEZ; PETINARI, 1998). Analisando os valores de média e mediana de ambas as bacias, como também os valores limites estipulados, pode-se considerar que as águas analisadas não possuem problemas com ferro, que sejam capazes de ocasionar problemas nos sistemas de irrigação.

Para os nitratos, a Bacia do Banabuiú contém a maior média ($9,3 \text{ mg L}^{-1}$), como também a maior mediana ($4,2 \text{ mg L}^{-1}$). O nitrato é a principal forma de nitrogênio associada à contaminação da água pelas atividades agrícolas (RESENDE, 2002). É a forma mais oxidada do nitrogênio, e é formado durante os estágios finais da decomposição biológica. Este íon geralmente ocorre em baixos teores nas águas superficiais, mas pode atingir altas concentrações em águas profundas (BIGUELINI; GUMY, 2012). Cultivos sensíveis são afetados por concentrações superiores a 5 ppm (5 mg L^{-1}), enquanto a maior parte tolera valores de pelo menos 30 ppm (30 mg L^{-1}) (ALMEIDA, 2010).

Vale ressaltar que a lixiviação ou acúmulo de NO_3 , está mais relacionado a questões de saúde pública, uma vez que concentrações superiores a 10 mg L^{-1} nas águas subterrâneas podem ocasionar doenças, como a metahemoglobinemia (RESENDE, 2002; BRASIL, 2005; ANDRADE *et al.*, 2009). Problemas também podem ocorrer em animais ruminantes (bovinos e ovinos) e alguns monogástricos (equinos) que apresentam bactérias no sistema digestivo que convertem nitrato em nitrito, levando a uma forma de envenenamento (RESENDE, 2002; ZUBLENA *et al.*, 2001). Levando em consideração o limite de 10 mg L^{-1} e considerando a média e a mediana de ambas as bacias, pode-se afirmar que os riscos de nitratos, são ausentes ou baixos, em termos de saúde.

Na amônia total, apenas o valor máximo e a mediana foram diferentes para as Bacias analisadas, onde a Bacia do Curu apresentou o valor máximo (17,0 mg L⁻¹) e a Bacia do Banabuiú apresentou a maior mediana (0,08 mg L⁻¹). Pinto *et al.* (2013) explicam que, das diversas formas de nitrogênio presentes na natureza, a amônia é fator para a perda de qualidade da água, porém, a amônia tende a ser rapidamente convertida em amônio, que, por sua vez, é convertido em nitrato. O nitrogênio contido em forma de amônia raras vezes é superior a 1 mg L⁻¹ salvo trate-se de água residual ou que proceda da lixiviação de solos fertilizados com adubos nitrogenados amoniacais (ALMEIDA, 2010). Essa tendência é observada em ambas as bacias estudadas através dos valores médios observados (Tabela 17).

A caracterização da qualidade da água vai além dos teores de salinidade e sodicidade, pois existem íons que podem ser tóxicos e conseqüentemente ocasionar problemas para as plantas e para o solo. As concentrações médias de cátions diminuíram na ordem: Na⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > NH₄⁺, enquanto os ânions, na ordem: Cl⁻ > SO₄²⁻ > NO₃⁻.

As águas da bacia do Banabuiú apresentaram os menores valores de média e mediana para o cálcio (9,48 e 6,94 mmol_c L⁻¹, respectivamente). Já para o magnésio, a bacia do Curu apresentou os maiores valores de média e mediana (11,51 e 8,44 mmol_c L⁻¹, respectivamente). Concordante ao definido por Ayers e Westcot, que é até 20 mmol_c L⁻¹ de cálcio e 5 mmol_c L⁻¹ de magnésio, os teores adequados para a água de irrigação, apenas os valores de cálcio estão dentro do limite estabelecido. Os valores de magnésio foram superiores ao valor limite de adequação. Os elevados valores de Na⁺ e Mg²⁺, podem estar relacionados com a dissolução de minerais e/ou troca catiônica, uso de fertilizantes, além da composição e do grau de intemperismo das rochas (NUNES, 2021). O cálcio é um dos principais elementos que compõem a água, além de ser responsável pela dureza juntamente com o magnésio (SANTOS, 2008).

Tabela 18 – Valores mínimos, médios, máximos, medianos e desvio padrão para cátions e ânions das águas subterrâneas nas Bacias do Banabuiú e Curu

Atributos	Parâmetros descritivos	Bacia do Banabuiú	Bacia do Curu
Cálcio (mmol _c L ⁻¹)	Mínimo	0,67	0,57
	Média	9,80 ± 7,4	9,48 ± 8,2
	Máximo	55,46	49,27
	Mediana	7,71	6,94
Magnésio (mmol _c L ⁻¹)	Mínimo	0,57	0,00
	Média	8,48 ± 6,4	11,51 ± 9,7

	Máximo	47,61	59,47
	Mediana	6,54	8,44
Sódio (mmol _c L ⁻¹)	Mínimo	0,64	1,75
	Média	10,71 ± 9,4	18,49 ± 363,4
	Máximo	66,38	85,65
	Mediana	8,26	15,00
	Mínimo	1,63	2,43
Cloretos (mmol _c L ⁻¹)	Média	22,07 ± 19,2	32,26 ± 30,9
	Máximo	94,0	139,64
	Mediana	14,92	21,29
	Mínimo	0,02	0,01
Sulfatos (mmol _c L ⁻¹)	Média	0,59 ± 0,4	0,93 ± 1,0
	Máximo	1,99	8,33
	Mediana	0,44	0,67
	Mínimo	0,02	0,01

Fonte: Autor (2023).

Em relação ao sódio, as amostras Bacia do Banabuiú apresentaram os menores valores de média e mediana (10,71 e 8,26 mmol_c L⁻¹, respectivamente). Já os maiores valores foram observados na bacia do Curu, 18,49 e 15,00 mmol_c L⁻¹ (média e mediana, respectivamente). Ayers e Westcot (1991), separa o perigo de toxicidade do sódio em dois métodos de irrigação, quais sejam, superfície e aspersão. Na irrigação de superfície, para definir o grau de restrição de uso, é utilizado os valores de RAS, enquanto na irrigação por aspersão, é considerado o valor de sódio. Para ambos os métodos de irrigação, até 9 mmol_c L⁻¹, para irrigação de superfície ou por aspersão, respectivamente, o grau de restrição de uso é moderado. Quando o método de irrigação utilizado é por superfície ou localizada, as culturas são capazes de suportar maiores concentrações de sais do que na irrigação por aspersão (HOLANDA *et al.*, 2016). Além de que, o modo de ação entre a irrigação por aspersão e localizada são diferentes, pois a irrigação localizada preserva as folhas e frutos do contato direto com a água (CRUZ, 2014). Sendo o sódio, o principal causador do crescente aumento da salinidade nas águas (SANTOS, 2008), pode-se considerar que as águas de ambas as bacias possuem problemas com sódio.

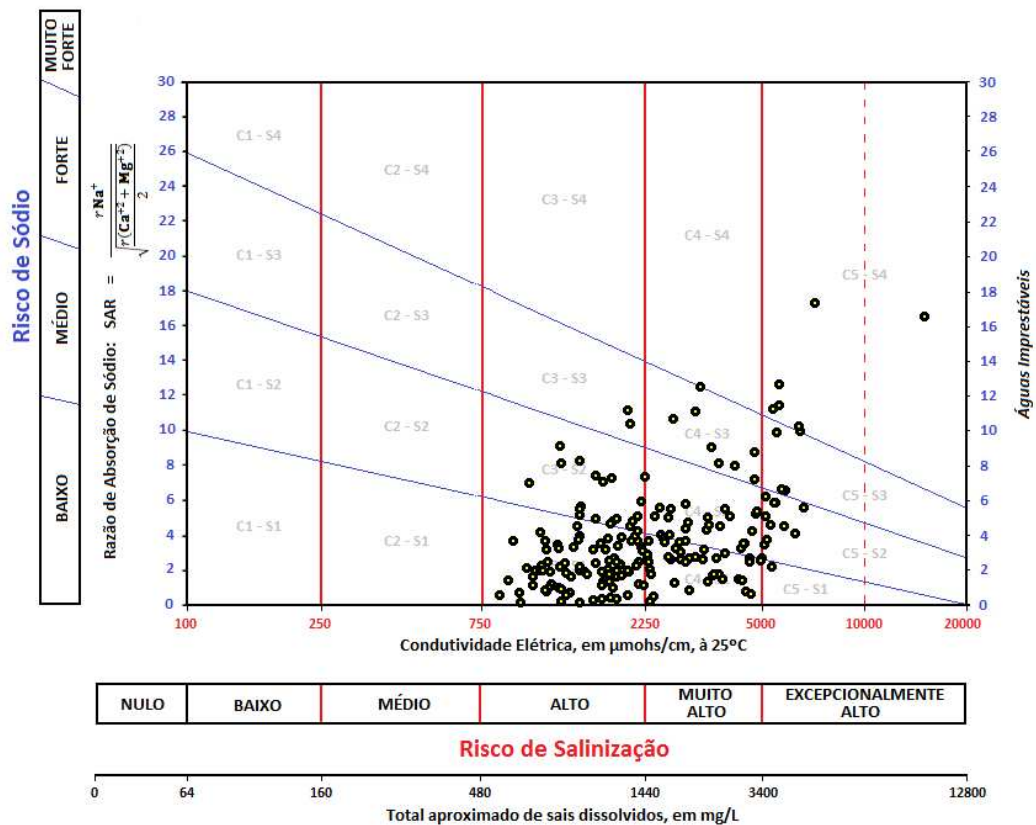
A menor média (22,07 mmol_c L⁻¹) e mediana (14,92 mmol_c L⁻¹) de cloretos, foram obtidas na bacia do Banabuiú. Ayers e Westcot (1991) definiram diferentes faixas para os sistemas irrigados, conforme o grau de restrição de uso. Para a irrigação por superfície, quando o teor de cloreto for menor que 4 mmol_c L⁻¹, a água não apresenta nenhuma restrição de uso, teor entre 4 e 10 mmol_c L⁻¹, apresenta um grau de restrição moderado, e para teores maiores

que $10 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, o grau de restrição de uso é severo. Já para a irrigação por aspersão, a água não apresenta nenhuma restrição de uso, quando o teor de cloreto for menor que $3 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, e um teor maior que $3 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, a água terá uma restrição moderada. Com base nessa classificação, pelo menos 50% das águas do Banabuiú e do Curu, possuem problemas de cloreto, tanto para irrigação por superfície como irrigação por aspersão. O cloreto é oriundo da lixiviação dos minerais, ele pode sofrer aumentos constantes e gradativos, devido à sua alta solubilidade e também ao movimento lento das águas no aquífero (SANTOS, 2008).

Todos os parâmetros descritivos analisados, mínimo, média, máximo e mediana, para os sulfatos, foram menores na Bacia do Banabuiú em comparação à Bacia do Curu. Porém, todos os valores dos parâmetros para as duas bacias são inferiores ao valor máximo estabelecido por Ayers e Westcot (1991), que é de $20 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$. Os sulfatos são oriundos da oxidação do enxofre contido nas rochas e da lixiviação de compostos sulfatados (SANTOS, 2008). A formação geológica apresenta grande influência litológica na composição química das águas (CRUZ; MELO, 1969).

A partir da metodologia proposta por Richards (1954), obteve-se a classificação das águas subterrâneas das Bacias hidrográficas do Rio Curu e Banabuiú. Na Figura 25, referente à Bacia do Banabuiú, foram identificadas dez classes, sendo elas: C3S1 (80 amostras - 41,7%), C3S2 (20 amostras - 10,4%), C3S3 (2 amostras - 1,0%), C4S1 (33 amostras - 17,2%), C4S2 (28 amostras - 14,6%), C4S3 (7 amostras - 3,6%), C4S4 (1 amostra - 0,5%), C5S1 (1 amostra - 0,5%), C5S2 (10 amostras - 5,2%), C5S3 (3 amostras - 1,6%) e C5S4 (7 amostras - 3,7%). Por esta classificação, cerca de 94% das amostras apresentam risco baixo de sodicidade (S1 e S2).

Figura 25 – Classificação das águas subterrâneas da bacia do Banabuiú (192 amostras) conforme o risco de salinização e sodificação - United States Salinity Laboratory (USSL), Richards (1954)

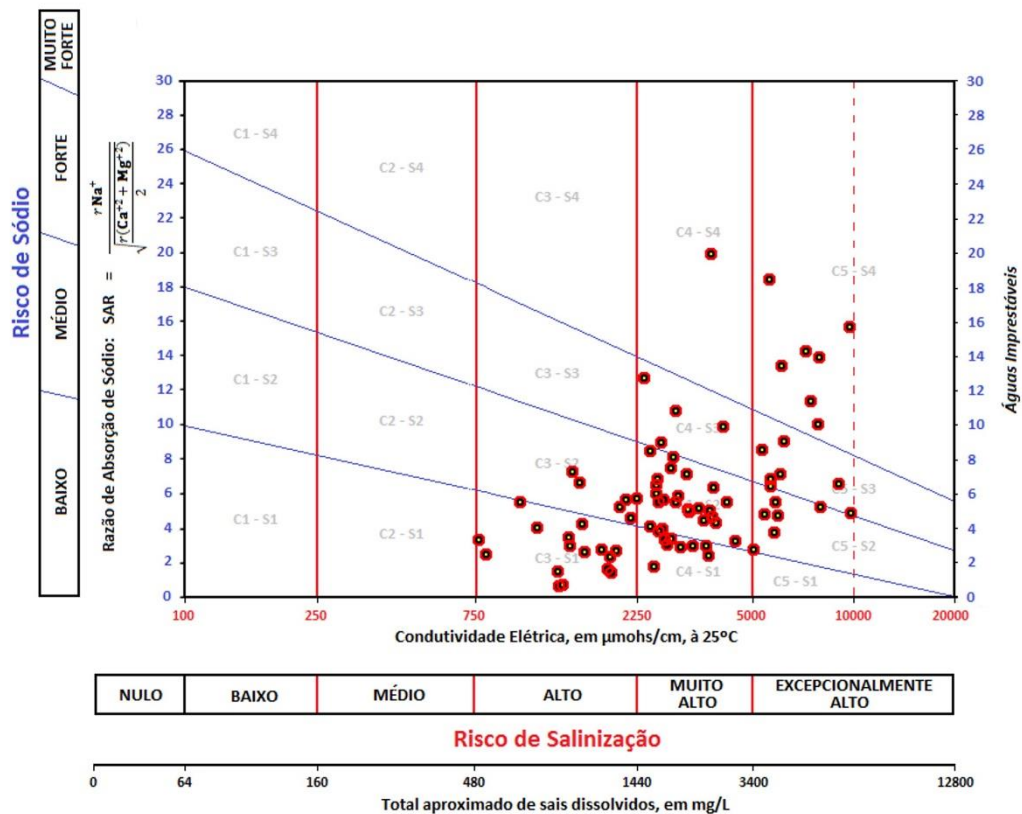


Fonte: Autor (2023).

Conforme a classificação de Richards (1954), a classificação das águas da bacia do Banabuiú que foram avaliadas, foram classificadas, em sua grande maioria (83,9%), como águas que possuem risco de salinidade alto a muito alto e baixo a médio risco de sodicidade.

Já para a Bacia hidrográfica do Curu (Figura 26), foram obtidas 9 classes, sendo elas: C3S1 (15 amostras - 19%), C3S2 (7 amostras - 8,9%), C4S1 (8 amostras - 10,1%), C4S2 (25 amostras - 31,6%), C4S3 (4 amostras - 5,0%), C4S4 (1 amostra - 1,3%), C5S2 (5 amostras - 6,3%), C5S3 (7 amostras - 8,9%), e C5S4 (7 amostras - 8,9%). Por esta classificação, cerca de 76% das amostras apresentam risco baixo de sodicidade (S1 e S2)

Figura 26 – Classificação das águas subterrâneas da bacia do Curu (79 amostras) conforme o risco de salinização e sodificação - United States Salinity Laboratory (USSL), Richards (1954)

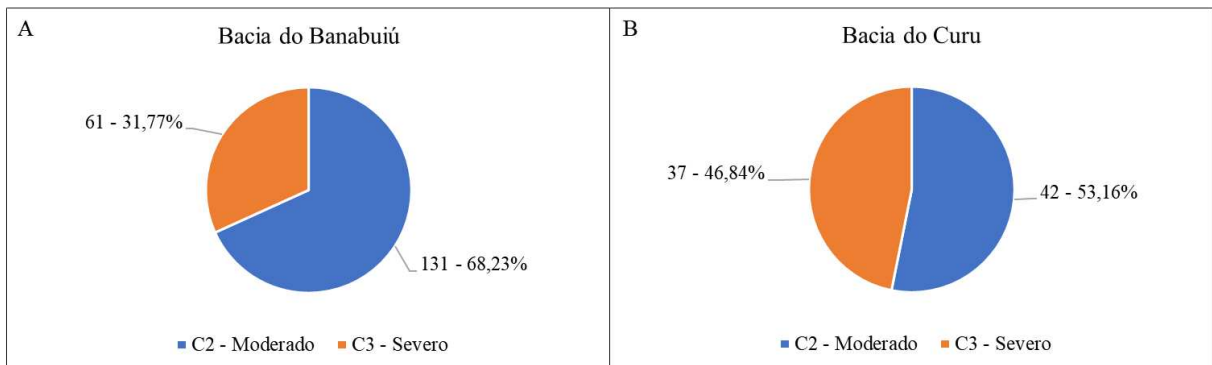


Fonte: Autor (2023).

Já a maior parte das águas avaliadas da bacia do Curu (69,6%), são classificadas com risco alto a muito alto de salinidade e baixo a médio risco de sodicidade. Esses resultados indicam que a maioria das águas apresentam limitações para irrigação em solos com drenagem limitada, sendo necessário o conhecimento sobre a área de cultivo e os sistemas de cultivo. As condições ambientais das regiões áridas e semiáridas, fazem com que estas áreas fiquem susceptíveis a condições de salinidade e sodicidade (ADHANOM, 2019), além de alguns fatores como a dissolução mineral, evaporação da água e atividades humanas afetam a qualidade das águas (LI *et al.*, 2016).

As amostras das águas das bacias do Banabuiú e do Curu foram classificadas quanto ao risco de salinidade e sodicidade, conforme Ayers e Westcot (1991). Conforme apresentado na Figura 27A, 131 amostras de água (68,23%) são classificadas como C2, que são águas que apresentam moderado problema de salinidade. As outras 61 amostras (31,77%) dispõem de problema severo de salinidade. Mais da metade das amostras analisadas na Bacia do Curu (Figura 27B), 42 amostras (53,16%), possuem problema moderado de salinidade. O restante, 37 amostras (46,84%), contém problema severo de salinidade.

Figura 27 – Classificação das águas da Bacia do Banabuiú e Curu para irrigação, quanto ao risco de salinidade

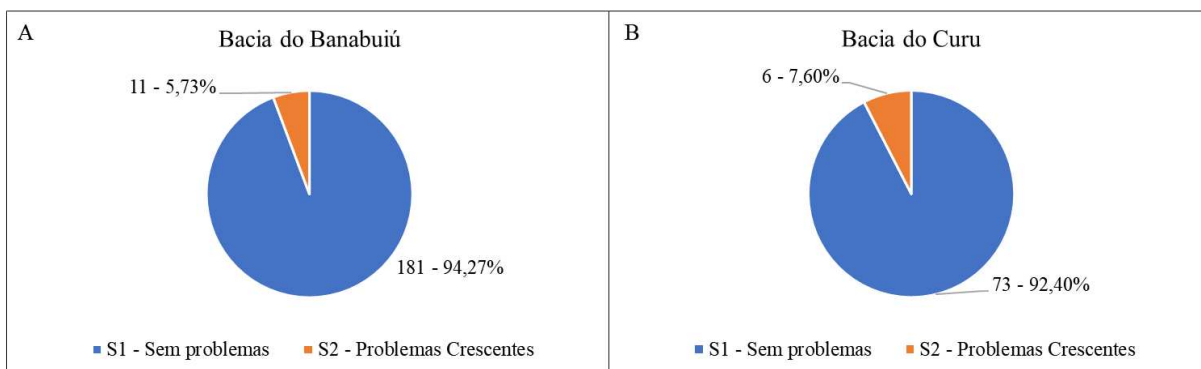


Fonte: Autor (2023).

As águas subterrâneas salobras das Bacias hidrográficas do Banabuiú e do Curu, conforme a metodologia de Ayers e Westcot (1991), classificam-se como C2, em sua grande maioria (mais de 50% das águas analisadas de ambas as bacias), indicando risco de salinização moderado ($0,7$ a $3,0 \text{ dS m}^{-1}$). Para o uso destas águas, é essencial selecionar culturas moderadamente tolerantes ao estresse salino (FEITOSA *et al.*, 2016; NEVES *et al.*, 2018; SÁ *et al.*, 2019; HUSSAIN *et al.*, 2021; LIRA *et al.*, 2020), além de estratégias de manejo que visem a redução dos impactos do excesso de sais no desenvolvimento das culturas (NEVES *et al.*, 2015; SOARES *et al.* 2016; SUDDARTH *et al.*, 2019; SOUSA *et al.*, 2022). O restante das águas que foram classificadas com risco severo de salinização, podem ocasionar redução na produtividade das culturas e afetar as propriedades do solo (BELTRÁN, 1999; MEDEIROS *et al.*, 2009; PESSOA *et al.*, 2019b), além de reduzir os rendimentos. As variações de CE podem estar relacionadas aos processos hidrogeoquímicos e as ações humanas (LIU *et al.*, 2019). Por muitas vezes, pelo fato desses serem o único recurso hídrico disponível, é necessário que se tenha conhecimentos para tomar decisões que possibilitem uma produção eficiente.

Em relação a classificação quanto ao risco de sodicidade, conforme apresentada na Figura 28A, a maior parte das amostras de águas da Bacia do Banabuiú, 181 amostras (94,27%) não possuem problemas de sodicidade, apenas 11 amostras (5,73%) apresentaram problemas crescentes de sodicidade. Para a Bacia do Curu, das 79 amostras avaliadas, apenas 6 amostras (7,60%) dispõem de problemas crescentes de sodicidade. O restante, 73 amostras (92,40%), não possuem problemas de sodicidade, conforme retratado na Figura 28B.

Figura 28 – Classificação das águas da Bacia do Banabuiú e Curu para irrigação, quanto ao risco de sodicidade



Fonte: Autor (2023).

A razão de adsorção de sódio é um importante indicativo em relação ao perigo de sódio. De acordo com a classificação de Ayers e Westcot (1991), a maior parte das águas das duas bacias, mais de 90%, não apresentam problemas de sodicidade. Ou seja, o valor da RAS relacionado à condutividade elétrica, resultou, de forma geral, que as águas não ocasionam problemas de infiltração ocasionados pela sodificação. Entretanto, é importante avaliar os teores de carbonatos e bicarbonatos, visto que a presença desses ânions aumentam os riscos de sodicidade, favorecendo a precipitação do cálcio e aumentando os valores de RAS.

A partir da determinação e dos estudos dos componentes existentes na água, é definido a sua qualidade (SANTOS, 2008). A qualidade é definida a partir de padrões estabelecidos com valores limites de cada parâmetro, que podem variar conforme a finalidade de uso da água. Deve ser levado em consideração, a região de estudo, pois em regiões áridas e semiáridas, devido à escassez hídrica, faz-se necessário o uso intensivo das águas subterrâneas, que acabam sendo afetadas tanto em quantidade como em qualidade, quando não existe monitoramento e manejo dessas águas.

6.4 Conclusões

As águas salobras subterrâneas da bacia do Curu apresentam maior restrição em termos de condutividade elétrica (média de $3,76 \text{ dS m}^{-1}$), além de apresentar a maior RAS ($5,96 \text{ mmol L}^{-1}$) e maior quantidade de sólidos totais dissolvidos ($2.460,1 \text{ mg L}^{-1}$), em comparação as águas do Banabuiú ($\text{CE} = 2,72 \text{ dS m}^{-1}$, $\text{RAS} = 3,87 \text{ mmol L}^{-1}$; $\text{STD} = 1.763,07 \text{ mg L}^{-1}$). Na maior parte dos outros atributos analisados, a maior média também foi obtida nas águas do Curu.

Na metodologia de Richards (1954), tanto as águas do Banabuiú como do Curu, são classificadas em sua maior parte (mais de 50%), como águas que apresentam problemas com salinidade e baixo risco de sodicidade. Da mesma forma na metodologia de Ayers e Westcot

(1991), o maior problema nas águas das duas bacias está relacionado ao teor de sais da água, pois os problemas de sodicidade não chegam a 10%. Na definição do potencial das águas salobras subterrâneas para produção vegetal deve-se levar em conta as restrições impostas principalmente pela salinidade da água, face aos baixos riscos de sodicidade.

Verificou-se que as águas salobras subterrâneas, em sua maioria, podem ser utilizadas desde que se tenha estratégias adequadas de manejo para melhorar a relação com a salinidade e que sejam economicamente viáveis. As estratégias como, o cultivo de culturas mais tolerantes à salinidade, uso de matéria orgânica, aplicação de biofertilizantes, mistura de águas com diferentes concentrações de sais, implementação de hidroponia, uso cíclico da água, cultivo de halófitas, biodrenagem, e outras, contribuem para o desenvolvimento das atividades agrícolas, em áreas que possuem águas de qualidade inferior, com o intuito de ocasionar menores impactos nas culturas e no solo.

Este estudo impulsiona o desenvolvimento de novos trabalhos sobre a caracterização de todas as águas do semiárido brasileiro, região que possuem problemas de escassez hídrica e de qualidade da água.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do presente estudo indicaram a capacidade de produção de diversos sistemas, seja vegetal ou animal, com uso de águas salobras subterrâneas do semiárido brasileiro. Portanto, a exploração desses poços subterrâneos é uma alternativa importante no combate à seca, como forma de garantir a produção para pequenos produtores da região. Para assegurar que ocorra uma produção eficiente dos sistemas, é necessário entender que existe um conjunto de fatores, tanto do sistema de produção como da fonte hídrica, que devem ser levados em consideração. Fatores estes que devem ser analisados de forma conjunta.

Os resultados do potencial produtivo apresentaram grande eficiência para os sistemas de irrigação suplementar, palma forrageira, produção de mudas e sistema hidropônico, devido à menor demanda hídrica requerida por estes sistemas. Também foram obtidos bons resultados, em relação à salinidade, como o cultivo de halófitas e coqueiros, que são sistemas com maior grau de tolerância aos sais. Porém, o cultivo de coqueiro é limitado pela baixa produtividade de água dos poços avaliados. A criação de animais também ganha força na produção bioassalina para pequenos produtores, graças à tolerância das espécies e as condições de fornecimento de água suficiente para garantir a dessedentação dos animais em rebanhos pequenos.

Conclui-se que as águas salobras do aquífero cristalino apresentam alto potencial para a agricultura familiar no semiárido brasileiro. Os resultados também demonstraram que o uso de dados quantitativos e qualitativos gera informações mais realistas relacionadas ao potencial da água salobra para fins agrícolas, e esse tipo de avaliação deve ser recomendado para outras regiões semiáridas do mundo. Esse método de avaliação também pode ser utilizado por agricultores, incluindo aqueles que possuem poços com vazões mais elevadas, possibilitando definir o potencial das águas salobras e escolher os sistemas mais sustentáveis para a agricultura bioassalina.

As análises das águas subterrâneas das bacias hidrográficas do Banabuiú e do Curu, evidenciaram que as mesmas possuem problemas de salinidade e sodicidade. Porém, os maiores riscos de uso dessas águas para irrigação estão relacionados à salinidade e não à sodicidade. Estes parâmetros são determinantes na avaliação e monitoramento da qualidade das águas, mas aspectos relacionados à dureza das águas e os impactos nos sistemas de irrigação também devem ser avaliados.

Mesmo com resultados promissores obtidos com a produção bioassalina, é essencial salientar a importância do uso de estratégias de manejo para as culturas, animais, água e solo,

de modo a garantir uma agricultura sustentável e possibilitar a constância das atividades. Ressalte-se a necessidade de monitoramento da qualidade e quantidade das águas, bem como dos impactos sobre o solo. Com a ampliação e o desenvolvimento desses estudos, será possível garantir uma produção bioessalina sustentável no semiárido, gerando renda para os sistemas de produção familiar desta região.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. E. B.; PRISCO, J. T.; NOGUEIRA, A. R. C.; LACERDA, C. F.; GOMES-FILHO, E. G. Physiological and biochemical changes occurring in dwarf-cashew seedlings subjected to salt stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 20, n. 2, p. 105–108, Jun 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjpp/a/QMVnrn6CLPB6M4qckjSWQyz/?lang=en>. Acesso em: 15 mar. 2022.
- ADHANOM, O. G. Salinity and sodicity hazard characterization in major irrigated areas and irrigation water sources, Northern Ethiopia. **Cogent Food & Agriculture**, [S.l.], v. 5, 1673110, Out 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311932.2019.1673110>. Acesso em: 26 jan. 2022.
- ADHIKARI, U.; NEJADHASHEMI, A. P.; WOZNICKI, S. A. Climate change and Eastern Africa: a review of impact on major crops. **Food and Energy Security**, [S.l.], v. 4, n. 2, p. 110-132, Jun 2015. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fes3.61>. Acesso em: 18 dez. 2021.
- ALBUQUERQUE, C. G.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; FONTES JUNIOR, R. V. P. Recarga de aquífero aluvial sob uso agrícola. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 60-71, Fev 2015. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27931/18357>. Acesso em: 16 abr. 2022.
- ALBUQUERQUE, P. E. P. **Cultivo do Milho**. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 1 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6ª edição Set./2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/81707/1/Manejo-irrigacao.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2022.
- ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. L. T. **Sorgo – O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Embrapa, 2015.
- ALMEIDA, O. A. de. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/875385/1/livroqualidadeagua.pdf>. Acesso em: 29 abr, 2022.
- ALVALÁ, R. C. S.; CUNHA, A. P. M. A.; BRITO, S. S. B.; SELUCHI, M. E.; MARENGO, J. A.; MORAES, O. L. L.; CARVALHO, M. A. Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 91, suppl. 1, e20170209, p. 1-15, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/z6C6SzDNG9GkbfYmgFCsrSN/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 17 abr. 2022.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, Dez 2013. Disponível em:

https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil. Acesso em: 13 jun. 2022.

ALVES, H. K. M. N.; SILVA, T. G. F.; JARDIM, A. M. R. F.; SOUZA, L. S. B.; ARAÚJO JÚNIOR, J. N.; SOUZA, C. A. A.; MOURA, M. S. B.; ARAÚJO, G. G. L.; CAMPOS, F. S.; CRUZ NETO, J. F. The use of mulch in cultivating the forage cactus optimizes yield in less time and increases the water use efficiency of the crop. **Irrigation and Drainage**, [S.l.], v. 72, p. 75–89, Out 2022. Disponível: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ird.2758>. Acesso em: 5 fev. 2022.

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**, São Paulo, v. 35, n. 3, e-30077, p. 1-15, Nov 2021. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/30077/19450>. Acesso em: 21 set. 2022.

AMARAL, K. D. S.; NAVONI, J. A. Desalination in rural communities of the Brazilian semi-arid region: Potential use of brackish concentrate in local productive activities. **Process Safety and Environmental Protection**, [S.l.], v. 169, p. 61-70, Jan 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582022009053>. Acesso em: 14 nov. 2022.

AMELEWORK, B.; SHIMELIS, H.; TONGOONA, P.; LAING, M. Physiological Mechanisms of Drought Tolerance in Sorghum, Genetic Basis and Breeding Methods: A Review. **African Journal Agricultural Research**, [S.l.], v. 10, n. 31, p. 3029–3040, Jul 2015. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/A8724EF54476>. Acesso em: 16 set. 2021.

AMORIM, A. L.; RIBEIRO, M. M. R.; BRAGA, C. F. C. Conflitos em bacias hidrográficas compartilhadas: o caso da bacia do rio Piranhas-Açu/PB-RN. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p.36-45, Jan-Mar. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbrh/a/XPzzZfWFbD4Xccb8bYLBdwD/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 jan. 2023.

AMORIM, M. C. C.; PORTO, E. R.; ARAÚJO, O. J.; SILVA JÚNIOR, L. G. Alternativas de reuso dos efluentes da dessalinização por osmose inversa: evaporação solar e meio líquido para cultivo de tilápia koina (*Oreochromis sp.*). In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. **Saneamento ambiental: desafio para o século 21**. João Pessoa. Anais. João Pessoa, UFPB, 2001. CD-ROM. 26 mai. 2022.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e, Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. Brasília, DF: ANA, 2007. Disponível em: <https://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA%20DO%20ENQUADRAMENTO.pdf>. Acesso em: 3 out. 2022.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual**. Brasília, DF: ANA, 2018. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/porta/publicacao/Conjuntura2018.pdf>. Acesso em: 3 out. 2022.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021: Informe anual**. Brasília, DF: ANA, 2021. Disponível online: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 3 out. 2022.

ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; CRISÓSTOMO, L. A.; RODRIGUES, J. O.; LOPES, F. B. Impacto da lixiviação de nitrato e cloreto no lençol freático sob condições de cultivo irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p.88-95, Fev. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/pph44wT9jCqHh6cVqpcssRM/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 mai. 2022.

ANDRADE, E. M.; GUERREIRO, M. J. S.; PALÁCIO, H. A. Q.; CAMPOS, D. A. Ecohydrology in a Brazilian tropical dry forest: thinned vegetation impact on hydrological functions and ecosystem services. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, [S.l.], v. 27, 100649, Fev. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581819300485>. Acesso em: 6 jul. 2022.

ANDRADE, E. M.; LOPES, F. B.; PALÁCIO, H. A. Q.; AQUINO, D. N.; ALEXANDRE, D. M. B. Uso da terra e qualidade das águas subterrâneas: o caso do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.41, n. 2, p. 208-215, Jun. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/cxpfBDjFVLqrjcpFwTTtGDG/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 27 fev. 2022.

ANDRADE, M. S.; SOUSA, J. F.; MORAIS, M. B.; ALBUQUERQUE, C. C. Saline pisciculture effluent as an alternative for irrigation of *Croton blanchetianus* (Euphorbiaceae). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 27, n.4, p. 256–263, Abr. 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/3KPPjNdwGSHMmvLJFJ6nxLz/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 15 set. 2022.

ANDRADE, T. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; RODRIGUES, D. F. B. Variabilidade espaço-temporal da condutividade elétrica da água subterrânea na região semiárida de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.5, p.496–504, Maio 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/dv9MXLqRWWMVVQ788YFG4vw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 set. 2022.

AQUINO, J. P. A. de; BEZERRA, A. A. de C.; ALCÂNTARA NETO, F. de; LIMA, C. J. G. de S.; SOUSA, R. R. de. Morphophysiological responses of cowpea genotypes to irrigation water salinity. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 4, p. 1001–1008, Out.-Dez. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/wvFFGzP67q7trbcrhvBG83D/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 14 out. 2021.

ARAÚJO, G. G. L.; SILVA, T. G. F.; CAMPOS, F.S. Agricultura bioassalada e uso de águas salobras na produção de forragem. In: CERQUEIRA, P. R. S., LACERDA, C. F., ARAÚJO, G. G. L., GHEYI, H. R., SIMÕES, W. L. (ORG). **Agricultura Irrigada em Ambientes Salinos**. Brasília, DF: CODEVASF, 2021; cap.5, p. 174–211. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1145030>. Acesso em: 19 set. 2022.

ARAÚJO, L. F.; LIMA, R. E. M.; COSTA, L. O.; SILVEIRA, Ê. M. C.; BEZERRA, M. A. Alocação de íons e crescimento de plantas de cajueiro anão-precoce irrigadas com água salina no campo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, (Suplemento), p. S34-S38, Maio 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/6RPPQLZJ3vPpZk6TMRx7Sz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 23 ago. 2022.

ARAÚJO, M. D.; RIBEIRO, M. M. R.; BRAGA, C. F. C. Integrando a modelagem da alocação de água ao sistema de indicadores FPEIR: aplicação ao semiárido do Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 6, p. 1167-1181, Nov.-Dez. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/KxKnCnYbrqHsMdtb4LpwX5m/?lang=pt>. Acesso em: 15 fev. 2022.

ARAÚJO, R. A.; RODRIGUES, R. C.; COSTA, C. S.; SANTOS, F. N. S.; CUTRIM JUNIOR, J. A. A.; JESUS, A. P. R.; SHIGAKI, F.; ARAUJO, J. S. Grazing behavior and spatial distribution of feces of young bulls in silvopastoral systems and Marandu monoculture in the Pre-Amazon region. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 39, p. 83-90, Mar. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asas/a/h6qjVXBFsZKbt9G7S9zCq9r/abstract/?lang=en>. Acesso em: 26 fev. 2022.

ARRAES, F. D. D.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; FROTA JUNIOR, J. I.; SANTOS, J. C. N. Identificação dos íons determinantes da condutividade elétrica nas águas superficiais da bacia do Curu, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 346-355, Jun-Set. 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195317389004>. Acesso em: 19 mar. 2022.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura**. 2ªed. Brasília: Embrapa-SPI, 1998. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.19.20.56/doc/INPE%207106.pdf>. Acesso em: 16 set. 2021.

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

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Qualidade da Água para a Agricultura**. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, 29. FAO, Roma, 1985. p.174

BAR, I. Iron control system for drip irrigation microirrigation for a change world: Conserving resources/Preserving the environment. In: INTERNACIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 15., 1995, Orlando **Proceedings**...1995, p. 239-243.

BARBOSA, F. S.; LACERDA, C. F.; GHEYI, R.H.; FARIAS, G. C.; SILVA JÚNIOR, R. J. C.; LAGE, Y.A.; HERNANDEZ, F. F. F. Yield and ion content in maize irrigated with saline water in a continuous or alternating system. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 10, p. 1731-1737, Out. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/brsJgWHpYK3LfsgywWtbtKy/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 30 jan. 2022.

BASTOS, E. A.; FERREIRA, V. M.; SILVA, C. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no vale do Gurguéia, Piauí. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 2, p. 182-190, Abr.-Jun. 2008. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3363/2116>. Acesso em: 28 jan. 2023.

BATISTÃO, A. C.; HOLTHUSEN, D.; REICHERT, J. M.; PORTELA, J. C. Soil solution composition affects microstructure of tropical saline alluvial soils in semi-arid environment. **Soil and Tillage Research**, [S.l.], v. 203, 104662, Set. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016719872030444X>. Acesso em: 24 nov. 2022.

BELIZÁRIO, T. L.; SOARES, M. A.; ASSUNÇÃO, W. L. Qualidade da água para irrigação no projeto Dom José Mauro, Uberlândia - MG. **Revista Getec**, Monte Carmelo, v. 3, n. 5, p. 53-73, 2014. Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/getec/article/view/430>. Acesso em: 7 abr. 2023.

BELTRÁN, J. M. Irrigation with saline water: benefits and environmental impact. **Agriculture Water Management**, [S.l.], v. 40, p. 183–194, Maio 1999. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377498001206>. Acesso em: 18 dez. 2021.

BESSA, M. C.; LACERDA, C. F.; AMORIM, A. V.; BEZERRA, A. M. E.; LIMA, A. D. Mechanisms of salt tolerance in seedlings of six woody native species of the Brazilian semi-arid. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, p. 157–165, Jan.-Mar.2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/tx3z69MQFcWCFT869DDD9rG/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 1 mar. 2023.

BEZERRA, F. M. S.; **Produção de mudas de três espécies ornamentais sob irrigação com águas salinas**. 69f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/49539/3/2019_dis_fmsbezerra.pdf. Acesso em: 18 mai. 2023.

BEZERRA, A. K. P.; LACERDA, C. F.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; GHEYI, H. R. Rotação cultural feijão caupi/milho utilizando-se águas de salinidades diferentes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 5, p. 1075-1082, Maio. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/5rBFKCddgwKzgY3jwPSsWw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 23 mai. 2022.

BEZERRA, M. A.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, É.; ABREU, C. E. B.; PRISCO, J. T. Physiology of cashew plants grown under adverse conditions. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 19, p. 449-461, Dez. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjpp/a/kdhpxQhVCDBLK3htfBqn46H/?lang=en>. Acesso em: 25 set. 2022.

BIGUELINI, C. P.; GUMY, C. P. Saúde Ambiental: índices de nitrato em águas subterrâneas de poços profundos na região sudeste do Paraná. **Revista Faz Ciência**, [S.l.], v. 14, n. 20, p. 153-175, Jul.-Dez. 2012. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/fazciencia/article/view/8724>. Acesso em: 16 out. 2021.

BIONE, M. A. A.; SOARES, T. M.; COVA, A. M. W.; PAZ, V. P. S.; GHEYI, H. R.; RAFAEL, M. R. S.; MODESTO, F. J. N.; SANTANA, J. A.; NEVES, B. S. L. Hydroponic production of ‘Biquinho’ pepper with brackish water. **Agriculture Water Management**, [S.l.], v. 245, 106607, Fev. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377420321545>. Acesso em: 3 abr. 2022.

BORA, R. K.; GUPTA, S. C.; AGGARWAL, C. K. Effect of different levels of sodium chloride in feed and water on the growth and blood parameters of broilers. **Annal of Biology (Ludhiana)**, [S.l.], v. 7, p. 101–104, 1993.

BORLAND, A. M.; GRIFFITHS, H.; HARWELL, J.; SMITH, J. A. C. Exploiting the potential of plants with crassulacean acid metabolism for bioenergy production on marginal lands. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 60, p. 2879–2896, Jul. 2009. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/60/10/2879/577621?login=true>. Acesso em: 6 nov. 2021.

BOYER, J. S. Water déficits and photosynthesis. In: KOZLOWSKI, T.T. (ed.) **Water déficits and plant growth**. New York: Academic Press, v.4, p.154-191, 1978. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=Fa4snMFITK4C&oi=fnd&pg=PA153&dq=BOYER,+J.+S.+Water+d%C3%A9ficits+and+photosynthesis.+In:+KOZLOWSKI,+T.T.+\(ed.\)+Water+d%C3%A9ficits+and+plant+growth.+&ots=AGQAI0zF_9&sig=UUQdvX7zduVLHVM9u8HM9y12BoI#v=onepage&q=BOYER%2C%20J.%20S.%20Water%20d%C3%A9ficits%20and%20photosynthesis.%20In%20KOZLOWSKI%2C%20T.T.%20\(ed.\)%20Water%20d%C3%A9ficits%20and%20plant%20growth.&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=Fa4snMFITK4C&oi=fnd&pg=PA153&dq=BOYER,+J.+S.+Water+d%C3%A9ficits+and+photosynthesis.+In:+KOZLOWSKI,+T.T.+(ed.)+Water+d%C3%A9ficits+and+plant+growth.+&ots=AGQAI0zF_9&sig=UUQdvX7zduVLHVM9u8HM9y12BoI#v=onepage&q=BOYER%2C%20J.%20S.%20Water%20d%C3%A9ficits%20and%20photosynthesis.%20In%20KOZLOWSKI%2C%20T.T.%20(ed.)%20Water%20d%C3%A9ficits%20and%20plant%20growth.&f=false). Acesso em: 21 dez. 2021.

BRAINER, M. S. de C. P.; VIDAL, M. de F. **Cajucultura Nordestina em recuperação**. Caderno Setorial ETENE. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 54, nov., 2018. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/993/1/2018_CDS_54.pdf. Acesso em: 28 jan. 2023.

Brasil. **Portaria MS n.º 518/2004**. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005. Disponível em: https://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/portaria_518_2004.pdf. Acesso em: 13 abr. 2022.

BRESSIANI, D. de A.; GASSMAN, P. W.; FERNANDES, J. G.; GARBOSSA, L. H. P.; SRINIVASAN, R.; BONUMÁ, N. B.; MENDIONDO, E. M. Review of Soil and Water

Assessment Tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, Pequim, v. 8, n. 3, p. 9-35, Jun. 2015. Disponível em: <https://ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/1765/pdf>. Acesso em: 15 jun. 2023.

BROUGHTON, W. J.; HERNÁNDEZ, G.; BLAIR, M.; BEEBE, S.; GEPTS, P.; VANDERLEYDEN, J. Beans (*Phaseolus* spp.) – model food legumes. **Plant and Soil**, [S.l.], v. 252, p. 55–128, Maio 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/226474316_Beans_Phaseolus_spp_-_Model_food_legumes#fullTextFileContent. Acesso em: 8 mar. 2022.

CAMARA, G.; DAVIS, C. **Introdução à ciência da geoinformação**. 2003. Disponível em: www.dpi.inpe.br.

CAMARGO, E.; RIBEIRO, E. A proteção jurídica das águas subterrâneas no Brasil. In: RIBEIRO, W. C. **Governança da água no Brasil: uma visão interdisciplinar**. São Paulo: Annablume, FAPESP, CNPq. 2009.

CAPSTAFF, N. M.; MILLER, A. J. Improving the yield and nutritional quality of forage crops. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 9, 535, Abr. 2018. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2018.00535/full>. Acesso em: 11 jan. 2023.

CARR, M. K. V. The water relations and irrigation requirements of banana (*Musa* spp.). **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 45, n. 3, p. 333–371, Jul. 2009. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/05891D7F8A34F0D4F2D9726ECFA500E7/S001447970900787Xa.pdf/the-water-relations-and-irrigation-requirements-of-banana-musa-spp.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2022.

CARVALHO, L. L. S. **Influência da sazonalidade climática e da seca prolongada sobre a qualidade das águas subterrâneas do Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú -CE. 129f**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/24254/3/2017_dis_llscarvalho.pdf. Acesso em: 2 set. 2022.

CARVALHO, L. L. S.; LACERDA, C. F.; CARVALHO, C. M.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; GOMES FILHO, R. R. Variabilidade espaço-temporal da qualidade das águas subterrâneas em área irrigada no semiárido brasileiro. **Research, Society and Development**, Itajubá, v. 9, n. 8, e644985786, Jul. 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/5786/5419>. Acesso em: 12 ago. 2022.

CARVALHO JÚNIOR, S. B. **Comportamento ingestivo de ovinos santa inês consumindo água com diferentes níveis de salinidade mantido em ambiente controlado**. 71f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/20504/SEBASTIÃO%20BENÍCIO%20DE%20%20CARVALHO%20JUNIOR%20-%20TESE%20%28PPGEA%29%202015.pdf>. Acesso em: 2 set. 2022.

CAVALCANTE, E. S. **Irrigação suplementar com águas salobras como estratégia para incrementar a produtividade do milho no semiárido brasileiro**. 113f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/57757/3/2020_tese_escavalcante.pdf. Acesso em: 5 jul. 2023.

CAVALCANTE, E. S.; LACERDA, C. F.; COSTA, R. N. T.; GHEYI, H. R.; PINHO, L. L.; BEZERRA, F. M. S.; OLIVEIRA, A. C.; CANJÁ, J. F. Supplemental irrigation using brackish water on maize in tropical semi-arid regions of Brazil: Yield and economic analysis. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 78, suppl., e20200151, p. 1-9, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/8TKKByHVfgM6QgCBGXwn85G/?lang=en>. Acesso em: 15 fev. 2023.

CAVALCANTE, E. S.; LACERDA, C. F.; MESQUITA, R. O.; de MELO, A. S.; da SILVA FERREIRA, J. F.; dos SANTOS TEIXEIRA, A.; LIMA, S. C. R. V.; da SILVA SALES, J. R.; de SOUZA SILVA, J.; GHEYI, H. R. Supplemental irrigation with brackish water improves carbon assimilation and water use efficiency in maize under tropical dryland conditions. **Agriculture**, [S.l.], v. 12, 544, Abr. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/4/544>. Acesso em: 26 jul. 2022.

CAVALCANTE, Í. H. L.; OLIVEIRA, F. A.; CAVALCANTE, L. F.; BECKMANN, M. Z.; CAMPOS, M. C. C.; GONDIM, S. C. Crescimento e produção de duas cultivares de algodão irrigadas com água salinizadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, (Suplemento), p. 108-111, Dez. 2005. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/MSHvySxBptHzvSC8HhF6Mjh/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 out. 2021.

CAVALCANTE JÚNIOR, R. G.; FREITAS, M. A. V.; SILVA, N. F.; AZEVEDO FILHO, F. R. Sustainable groundwater exploitation aiming at the reduction of water vulnerability in the Brazilian Semi-arid region. **Energies**, [S.l.], v. 12, 904, Mar. 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/5/904>. Acesso em: 2 set. 2021.

CEARÁ. Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH). Comitê de Bacias Hidrográficas. Bacia hidrográfica do Rio Curu. 2021. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/comites-de-bacias-hidrograficas/>. Acesso em: 23 nov. 2022.

CEARÁ. Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH). Comitê de Bacias Hidrográficas. Sub-bacia hidrográfica do Banabuiú. 2022. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/banabuiu-2/>. Acesso em: 15. Jan. 2022.

CHAUHAN, C.P.S.; SINGH, R.B.; GUPTA, S.K. Supplemental irrigation of wheat with saline water. **Agriculture Water Management**, [S.l.], v. 95, p.253–258, Mar. 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377407002648>. Acesso em: 18 fev. 2023.

CIDU, R. Appunti al corso di Idrogeochimica. In **Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche**; Universidade de Cagliari: Cagliari, Itália, 2017.

CODEVASF – Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. **Caderno de caracterização: Estado do Ceará**. 2022. Disponível online:

<https://www.codevasf.gov.br/aceso-a-informacao/institucional/biblioteca-geral-rocha/publicacoes/outras-publicacoes/caderno-de-caracterizacao-estado-do-ceara.pdf>. Acesso em: 17 out. 2022.

COELHO, E. F.; COSTA, E. L.; TEIXEIRA, A. H. C.; OLIVEIRA, S. L. de. **Irrigação da bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003. 8 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Circular Técnica, 53).

CORDÃO TERCEIRO NETO, C. P.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DIAS, N. S.; CAMPOS, M. S. Produtividade e qualidade de melão sob manejo com água de salinidade crescente. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, p. 354-362, Dez. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/Gvt58c3jMbnxwyHp9bPJPwH/>. Acesso em: 21 mar. 2022.

COSME, C. R.; DIAS, N. S.; OLIVEIRA, A. M.; OLIVEIRA, E. M. M.; SOUSA NETO, O. N. Produção de tomate hidropônico utilizando rejeito da dessalinização na solução nutritiva aplicados em diferentes épocas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 499–504, Maio 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/j8B37thKyPsjX6t3Dh5WNcC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 mai. 2022.

COSTA, A. R. F. C.; COSTA, J. P. N.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, M. V. T.; LINO, V. A. S. Desempenho de variedades de sorgo dupla aptidão submetidas a diferentes lâminas de irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 18, n. 3, p. 417-428, Jan. 2019. Disponível em: <https://rbms.abms.org.br/index.php/ojs/article/view/1051/pdf>. Acesso em: 18 abr. 2023.

COSTA, C. S. B.; BONILLA, O. H. Halófitas brasileiras: Formas de cultivo e uso. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, É. (Org). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 243-258.

COSTA, L. F.; SOARES, T. M.; SILVA, M. G.; MODESTO, F. J. N.; QUEIROZ, L. de A.; PEREIRA, J. de S. Cauliflower growth and yield in a hydroponic system with brackish water. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 4, p. 1060-1070, Out. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/QmtgPPFKyBG7Bk6Sm7hzJHb/?lang=en>. Acesso em: 1 out. 2022.

COSTA, M. L. M.; RIBEIRO, M. M. R.; RÊGO, J. C.; ALBUQUERQUE, J. P. T. Proposição de critérios de outorga para águas subterrâneas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 105-113, Jan-Mar. 2011. Disponível em: <https://biblat.unam.mx/hevila/Revistabrasileiraderecursoshidricos/2011/vol16/no1/9.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2022.

COSTA, R. G.; TREVINO, I. H.; MEDEIROS, G. R.; MEDEIROS, A. N.; PINTO, T. F.; OLIVEIRA, R. L. Effects of replacing corn with cactus pear (*Opuntia ficus indica* Mill) on the performance of Santa Inês lambs. **Small Ruminant Research**, [S.l.], v. 102, p. 13–17, Jan. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921448811003427#:~:text=Overall%2C>

%20increased%20levels%20of%20cactus,for%20use%20in%20semiarid%20regions. Acesso em: 21 mai. 2023.

COSTA, W. D. Problemática da água subterrânea no nordeste brasileiro. **Revista Águas Subterrânea**, São Paulo, v. 14, p. 25-42, Dez. 1995. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/11302/7877>. Acesso em: 15 fev. 2023.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas**, novembro, 2022. Disponível online: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/index.php>. Acesso em: 20 de nov. 2021.

CRISOSTOMO, L. A.; NAUMOV, A. **Adubando para Alta Produtividade e Qualidade: Fruteiras Tropicais do Brasil**. IIP. Boletim 18, Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, 2009. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/658334/adubando-para-alta-produtividade-e-qualidade-fruteiras-tropicais-do-brasil>. Acesso em: 26 jun. 2023.

CRUZ, R. L. Qualidade da água. In: BISCARO, G. A. **Sistema de irrigação localizada**. Dourado, MS: Ed. UFGD, 2014. p. 109-119. Disponível em: <https://omp.ufgd.edu.br/omp/index.php/livrosabertos/catalog/view/50/50/130>. Acesso em: 26 jan. 2023.

CRUZ, W. B.; MELO, F. A. C. F. de. Zoneamento químico e salinização das águas subterrâneas do Nordeste do Brasil. In: **Boletim de Recursos Naturais - SUDENE**, v. 7, p. 7-40, 1969.

CUSHMAN, J. C.; DAVIS, S. C.; YANG, X. H.; BORLAND, A. M. Development and use of bioenergy feedstocks for semi-arid and arid lands. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 66, p. 4177–4193, Jul. 2015. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/66/14/4177/2893371>. Acesso em: 17 mai. 2022.

DANIELESCU, S.; MACQUARRIE, K. T. B.; ZEBARTH, B.; NYIRANEZA, J.; GRIMMETT, M.; LEVESQUE, M. Crop Water Deficit and Supplemental Irrigation Requirements for Potato Production in a Temperate Humid Region (Prince Edward Island, Canada). **Water**, Basileia, v. 14, 2748, Set. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/17/2748>. Acesso em: 30 ago. 2022.

DE RIBEIRO, A. A.; DE LACERDA, C. F.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, C. H. C.; DOS BRAZ, R. S.; DE OLIVEIRA, A. C.; PEREIRA, J. M. G.; DE FERREIRA, J. F. S. Uses and losses of nitrogen by maize and cotton plants under salt stress. **Archives of Agronomy and Soil Science**, [S.l.], v. 67, p.1119–1133, Jun. 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03650340.2020.1779228>. Acesso em: 29 jul. 2022.

DIAS, A. S.; LIMA, G. S.; SOARES, L. A. A., GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SANTOS, J. B.; SÁ, F. V. S. Physiological indices and production of sesame under salt stress and nitrate/ammonium proportions. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 33, p. 610-620, Maio-Jun. 2017. Disponível em:

<https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/36528/20321>. Acesso em: 1 out. 2022.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; SOUSA NETO, O. N.; QUEIROZ, Í. S. R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, É. (Org). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 151-162.

DOURADO, P. R. M.; DE SOUZA, E. R.; SANTOS, M. A. D.; LINS, C. M. T.; MONTEIRO, D. R.; PAULINO, M. K. S. S.; SCHAFFER, B. Stomatal Regulation and Osmotic Adjustment in Sorghum in Response to Salinity. **Agriculture**, [S.l.], v. 12, 658, Maio 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/5/658>. Acesso em: 30 mai. 2022.

EAKIN, H. C.; LEMOS, M. C.; NELSON, D. R. Differentiating capacities as a means to sustainable climate change adaptation. **Global Environmental Change**, [S.l.], v. 27, p. 1-8, Jul. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095937801400079X>. Acesso em: 29 jul. 2022.

EDMUNDS, W. M. Geochemistry's vital contribution to solving water resource problems. **Applied Geochemistry**, [S.l.], v. 24, p. 1058-1073, Jun. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S088329270900047X>. Acesso em: 19 out. 2022.

EMBRAPA—Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo do Milho**. 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/81707/1/Manejo-irrigacao.pdf>. Acesso em: 8 out. 2022.

EMBRAPA—Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sorgo: O produtor Pergunta, a Embrapa Responde**. 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215310/1/500-perguntas-sorgo.pdf>. Acesso em: 2 de out 2022.

FEITOSA, F. A. C.; DINIZ, J. A. O. Água subterrânea no cristalino da região semiárida brasileira. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, Suplemento. Anais do II Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, Dez. 2011. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28026/18153>. Acesso em: 19 fev. 2022.

FEITOSA, H. O.; LACERDA, C. F.; CARVALHO, C. M.; COSTA, R. N. T.; BARBOSA, A. B.; GHEYI, H. R. Productivity and economic analysis of sunflower/maize crop rotation under different levels of salinity and nitrogen. **African Journal of Agriculture Research**, Lagos, v. 11, n.23, p. 1999-2006, Jun. 2016. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/572DEB258888>. Acesso em: 4 abr. 2022.

FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; GHEYI, H. R.; ANDRADE, A. P.; MEDEIROS, S. S. Halofitismo e agricultura bioassalina. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.;

GOMES FILHO, É. (Org). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 209-242.

FERRAZ-ALMEIDA, R.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; CAMARGO, R.; LEMES, E. M.; SOARES DE FARIA, R.; QUINTÃO LANA, R.M. Sorghum–Grass Intercropping Systems under Varying Planting Densities in a Semi-Arid Region: Focusing on Soil Carbon and Grain Yield in the Conservation Systems. **Agriculture**, [S.l.], v. 12, 1762, Out. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/11/1762>. Acesso em: 26 set. 2022.

FERREIRA, A. C. B.; BORIN, A. L. D. C.; LAMAS, F. M.; BOGIANI, J. C.; SILVA, M. A. S.; SILVA FILHO, J. L.; STAUT, L. A. Soil carbon accumulation in cotton production systems in the Brazilian Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.42, e43039, Jan.-Dez. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/rKWfjYgjqpVFBcQfWWVSYhH/?lang=en>. Acesso em: 26 fev. 2022.

FERREIRA, J. F. S.; LIU, X.; SUDDARTH, S. R. P.; NGUYEN, C.; SANDHU, D. NaCl accumulation, shoot biomass, antioxidant capacity, and gene expression of *Passiflora edulis* f. Flavicarpa Deg. in response to irrigation waters of moderate to high salinity. **Agriculture**, [S.l.], v. 12, 1856, Nov. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/11/1856>. Acesso em: 11 set. 2022.

FERREIRA NETO, M.; GHEYI, H.R.; HOLANDA, J. S.; MEDEIROS, J. F.; FERNANDES, P. D. Qualidade do fruto verde de coqueiro em função da irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 69-75, Abr. 2002. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcgclefindmkaj/https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/sPg8R3VLhF9F537FVYRBTjm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 set. 2022.

FLOWERS, T. J.; GALAL, H. K.; BROMHAM, L. Evolution of halophytes: Multiple origins of salt tolerance in land plants. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 37, p. 604–612, Jul. 2010. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/fp/pdf/FP09269>. Acesso em: 2 ago. 2022.

FONSECA, V. A.; SANTOS, M. R.; SILVA, J. A.; DONATO, S. L. R.; RODRIGUES, C. S.; BRITO, C. F. B. Morpho-physiology, yield, and water-use efficiency of *Opuntia ficus-indica* irrigated with saline water. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 41, e42631, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/zhjyJdMzKrBmcHZPjd7sVCF/?lang=en>. Acesso em: 10 nov. 2022.

FRANÇA, C. L. E.; ANJOS, F. S. C.; ANJOS, D. S. C.; SOUZA, L. S. S.; SOUZA, R. S.; FINAZZI, G. A.; SILVA, A. M. C. Caracterização físico-química das águas superficiais do Rio São Francisco nos municípios de Juazeiro/BA e Petrolina/PE. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, Aracaju, v. 10, n. 6, p. 218-230, Out-Nov. 2019. Disponível em: <https://www.sustenere.co/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2019.006.0019/1791>. Acesso em: 23 mar. 2022.

FREIRE FILHO, F. R. **Feijão-Caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2011. 84p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/916831/feijao-caupi-no-brasil-producao-melhoramento-genetico-avancos-e-desafios>. Acesso em: 19 jul. 2022.

FREITAS, V. S. MARQUES, E. C.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Crescimento e acúmulo de íons em plantas de cajueiro anão precoce em diferentes tempos de exposição à salinidade. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3341-3352, 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/98921/1/AB113019.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2022.

FREITAS, W. F. R. **Palma forrageira *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill e *Nopalea cochenilifera* (L.) Salm-Dyck**. 25f. Monografia (Curso superior de tecnologia em Agroecologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2021. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/19335/WALTER%20FELIPE%20RIBEIRO%20FREITAS%20-%20TCC%20AGROECOLOGIA%202021%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 mar. 2022.

FRIZZONE, J. A.; LIMA, S. C. R. V.; LACERDA, C. F.; MATEOS, L. Socio-economic indexes for water use in irrigation in a representative basin of the tropical semiarid region. **Water**, Basiléia, v. 13, 2643, Set. 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/19/2643>. Acesso em: 21 mai. 2023.

FROTA, K. M. G.; SOARES, R. A. M.; ARÊAS, J. A. G. Composição química Do feijão caupi (*Vigna Unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 470-476, Abr.-Jun. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/PDdWzpYBjDPFsd5CPq93q6p/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 jul. 2022.

FUNCEME. **QUALIGRAF**. 2001. Disponível em: <http://www3.funceme.br/qualigraf/> Acesso em: 5 jan. 2023.

GALDINO, A. R. S. **Efeito do nível de salinidade da água sobre consumo e a digestibilidade de caprinos Canindé**. 30f. Trabalho de conclusão de curso. (Graduação em zootecnia) – Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/3421/1/ARSG21022018.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2022.

GAMBART, C.; SWENNEN, R.; BLOMME, G.; GROOT, J. C. J.; REMANS, R.; OCIMATI, W. Impact and opportunities of agroecological intensification strategies on farm performance: a case study of banana-based systems in central and South-Western Uganda. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, Lausanne, v. 4, Jun. 2020. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2020.00087/full>. Acesso em: 23 mar. 2022.

GAO, X.; QU, Z.; HUO, Z.; TANG, P.; QIAO, S. Understanding the role of shallow groundwater in improving field water productivity in arid áreas. **Water**, Basiléia, v. 12, 3519, 2020. Disponível em: Acesso em: 29 out. 2022.

GOMES, M. da C. R.; CAVALCANTE, I. N. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água subterrânea. **Águas subterrâneas**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 134-149, Fev. 2017. Disponível em:

<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28617/18693>. Acesso em: 4 jun. 2022.

GRABER, A.; JUNGE, R. Aquaponic systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. **Desalination**, [S.l.], v. 246, p. 147-156, Set. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916409004299>. Acesso em: 3 set. 2022.

GUILHERME, E. A.; LACERDA, C. F.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Desenvolvimento de plantas adultas de cajueiro anão precoce irrigadas com águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, suplemento, p. 253-257, Dez. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Bv47RccRyhKwTL8RDkqrFFM/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 30 out. 2022.

GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; SALVIANO, A. M.; OLIVEIRA, A. R.; SILVA, J. S.; BARROS, J. R. A.; WILLADINO, L. Management for grain sorghum cultivation under saline water irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.27, n.11, p. 755-762, Nov. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/8JHxTrrW8BvW3NWLSwNZyHp/?format=pdf&lang=em>. Acesso em: 15 fev. 2023.

GUEDES, R. A. A.; OLIVEIRA, F. A.; ALVES, R. C.; MEDEIROS, A. S.; GOMES, L. P.; COSTA, L. P. Estratégias de irrigação com água salina no tomateiro cereja em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 10, p.913-919, Out. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/trjpm8NJPPmkcXsTrVGGYxc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 19 out. 2022.

HE, X.; LIU, Z.; QIAN, J.; ZHAO, W.; LIU, Y. Distribution of nitrate in different aquifers in the urban district of Zhanjiang, China. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, [S.l.], v. 97, p. 279–285, Maio 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00128-016-1822-7>. Acesso em: 14 mar. 2022.

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, É. (Org). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap.4, p.35-50.

HOLTER, J. B.; URBAN JR., W. E. Water partitioning and intake prediction in dry and lactating Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, [S.l.], v. 75, p. 1472-1479, Jun. 1992. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030292779041>. Acesso em: 18 jan. 2022.

HOLGUIN PEÑA, R. J.; MEDINA-HERNÁNDEZ, D.; GHASEMI, M.; RUEDA PUENTE, E. O. Salt tolerant plants as a valuable resource for sustainable food production in arid and saline coastal zones. **Acta Biológica Colombiana**, Bogotá, v. 26, n.1, p. 116–126, Jan-Abr. 2021. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2021000100116. Acesso em: 20 mai. 2023.

HÖLTING, B.; COLDEWEY, W. G. **Hydrogeology**. Springer Berlin Heidelberg, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-56375-5>. Acesso em: 14 mai. 2022.

HOSTETLER, A. N.; GOVINDARAJULU, R.; HAWKINS, J. S. QTL mapping in an interspecific sorghum population uncovers candidate regulators of salinity tolerance. **Plant Stress**, [S.l.], v. 2, 100024, Dez. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667064X21000233>. Acesso em: 26 jul. 2022.

HUSSAIN, S.; HUSSAIN, S.; ALI, B.; REN, X.; CHEN, X.; LI, Q.; SAQIB, M.; AHMAD, N. Recent progress in understanding salinity tolerance in plants: Story of Na⁺/K⁺ balance and beyond. **Plant Physiology and Biochemistry**, [S.l.], v. 160, p. 239-259, Mar. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0981942821000401>. Acesso em: 19 jul. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. **Semiárido brasileiro**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15974-semiarido-brasileiro.html?edicao=24416&t=sobre>. Acesso em: 20 fev. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO - INSA. **Convivência com o semiárido: Diante das preocupações, as ações**. 2012. Disponível em: <https://portal.insa.gov.br/acervorelatorios/167-relatorio-popularizado-2012>. Acesso em: 10 fev. 2022.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Agricultura Nordestina: Análise Comparativa Entre os Censos Agropecuários de 2006 e 2017**. 42p. 2021. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10758>. Acesso em: 29 set. 2022.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Índice municipal de alerta - IMA. Um instrumento para orientações preventivas sobre as adversidades climáticas do estado do Ceará – 2015**. 2015, 38p. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2014/05/IMA_2015.pdf. Acesso em: 18 set 2022.

JAIN, C. K.; VAID, U. Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes using hydrochemical studies in Nalbari district of Assam, India. **Environmental Earth Sciences**, [S.l.], v. 77, 254, Mar. 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-018-7422-6>. Acesso em: 22 ago. 2022.

KABURAGI, E.; YAMADA, M.; BABA, T.; FUJIYAMA, H.; MURILLO-AMADOR, B.; YAMADA, S. Aquaponics using saline groundwater: Effect of adding microelements to fish wastewater on the growth of Swiss chard (*Beta vulgaris* L. spp. cicla). **Agriculture Water Management**, [S.l.], v. 227, 105851, Jan. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377419303701>. Acesso em: 16 ago. 2021.

KAMAL, A. H. M. M.; MAIR, G. C. Salinity tolerance in superior genotypes of tilapia, *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis mossambicus* and their hybrids. **Aquaculture**, [S.l.], v. 247, p.189-201, Jun. 2005. Disponível em: 26 abr. 2022.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848605000888>. Acesso em: 18 jan. 2022.

KARKRA, R.; KUMAR, P.; BANSOD, B. K. S.; BAGCHI, S.; SHARMA, P.; KRISHNA, R. Classification of heavy metal ions present in multi-frequency multi-electrode potable water data using evolutionary algorithm. **Applied Water Science**, [S.l.], v. 7, p. 3679-3689, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-016-0514-0>. Acesso em: 24 mar. 2023.

KIEN, T. T.; THAO, N. T. P.; THANH, T. V.; HIEU, T. T.; SON, L. T.; SCHNITZER, H.; LUU, T. L.; HAI, L. T. Nitrogen conversion efficiency in the integrated catfish farming system toward closed ecosystem in Mekong delta, Vietnam. **Process Safety and Environmental Protection**, [S.l.], v. 168, p. 180–188, Dez. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095758202200831X>. Acesso em: 26 mar. 22.

KROL, M. S.; VRIES, M. J.; VAN OEL, P. R.; ARAÚJO, J. C. Sustainability of small reservoir and large scale water availability under current conditions and climate change. **Water Resources Management**, [S.l.], v. 25, p. 3017-3026, Abr. 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-011-9787-0>. Acesso em: 2 ago. 2022.

KUME, S.; NONAKA, K.; OSHITA, T.; KOZAKAI, T. Evaluation of drinking water intake, feed water intake and total water intake in dry and lactating cows fed silages. **Livestock Science**, [S.l.], v.128, p. 46–51, Mar. 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141309003436>. Acesso em: 17 jan. 2022.

KÜSTER, I. S.; LEMOS, E. C. L. Uma análise da super exploração das águas subterrâneas no município de Boa Esperança – ES. **Natureza Online**, Santa Teresa, v. 16, p. 31-39, 2019. Disponível em: <http://www.naturezaonline.com.br/natureza/conteudo/pdf/NOL20180101%20oK.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2022.

LACERDA, C. F.; COSTA, R. N. T.; BEZERRA, M. A.; NEVES, A. L. R.; SOUSA, G. G.; GHEYI, H. R. Estratégias de manejo para uso de água salina na agricultura. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, É. (Org). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap.21, p.338-352.

LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; COSTA, R. N. T.; SOUSA, G. G.; LIMA, G. S. Strategies for the use of brackish water for crop production in Northeastern Brazil. In: Taleisnik, E., Lavado, R.S. **Saline and Alkaline Soils in Latin America**; Springer: New York, USA, 2021; p.71-99.

LACERDA, C. F.; SOUSA, G. G.; SILVA, F. L. B.; GUIMARÃES, F. V. A.; SILVA, G. L.; CAVALCANTE, L. F. Soil salinization and maize and cowpea yield in the crop rotation system using saline Waters. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 663-675, Jul.-Ago. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/VSmSCrSGFQDCxqxhfDPxfKJ/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 15 set. 2022.

LEAL, L. Y. C.; SOUZA, E. R.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; SANTOS, M. A. Comparison of soil and hydroponic cultivation systems for spinach irrigated with brackish water. **Scientia Horticulturae**, [S.l.], v. 274, 109616, Dez. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423820304441>. Acesso em: 26 mar. 2022.

LI, P.; TIAN, R.; XUE, C.; WU, J. Progress, opportunities, and key fields for groundwater quality research under the impacts of human activities in China with a special focus on western China. **Environmental Science and Pollution Research**, [S.l.], v. 24, p. 13224–13234, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-017-8753-7>. Acesso em: 26 jun. 2022.

LI, P., LI, X., MENG, X.; LI, M.; ZHANG, Y. Appraising Groundwater Quality and Health Risks from Contamination in a Semiarid Region of Northwest China. **Exposure and Health**, [S.l.], v. 8, p. 361–379, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12403-016-0205-y>. Acesso em: 8 mar. 2022.

LIANG, W.; MA, X.; WAN, P.; LIU, L. Plant salt-tolerance mechanism: A review. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, [S.l.], v. 495, p. 286-291, Jan. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006291X17322209?via%3Dihub>. Acesso em: 29 out. 2021.

LIKONGWE, J. S.; STECKO, T. D.; STAUFFER JUNIOR, J. R.; CARLINE, R. F. Combined effects of water temperature and salinity on growth and feed utilization of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus). **Aquaculture**, [S.l.], v. 146, p. 37-46, 1996. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848696013609>. Acesso em: 16 out. 2022.

LIMA, B. L. C. **Respostas fisiológicas e morfométricas na produção de mudas de coqueiro anão irrigado com água salina**. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/10566/1/2014_dis_blclima.pdf. Acesso em: 17 jun. 2022.

LIMA, G. S. de; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; XAVIER, D. A.; SOARES, L. A. dos A. Castor bean production and chemical attributes of soil irrigated with water with various cationic compositions. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 1, p. 54–65, Jan.-Mar. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/DkvsNkDDVbjMqWRjfBMKktP/>. Acesso em: 14 abr. 2022.

LIMA, N. da S.; SILVA, Ê. F. de F. e; MENEZES, D.; CAMARA, T. R.; WILLADINO, L. G. Fruit yield and nutritional characteristics of sweet pepper Grown under salt stress in hydroponic system. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 2, p. 297–305, abr./jun, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/9Wstmr6YwySdvHkr3rjC45m/?lang=en>. Acesso em: 11 abr. 2022.

LIMA, R. B.; FERREIRA NETO, J. V. Qualidade das águas subterrâneas na bacia endorreica do Tabuleiro do Martins, Macéio-AL. **Revista de Geografia**, Recife, v. 37, n. 3, p. 277-298, 2020. Disponível em:

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/viewFile/246647/37355>. Acesso em: 28 jan. 2023.

LIMA, R. E. M.; ARAÚJO, L. F.; BARROS, J. R.; BEZERRA, M. A. Concomitant production of gum, nut and peduncle in dwarf cashew tree explored under different levels of irrigation and fertilization. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 7, p. 456-463, Fev. 2017. Disponível em: <https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/1570/430>. Acesso em: 21 mai. 2023.

LIMA, R. S.; ALVES, J. P. H. Avaliação da qualidade da água dos reservatórios localizados nas bacias hidrográficas dos rios Piauí – Real, utilizando o índice de qualidade da água (IQA). **Scientia plena**, [S.l.], v. 13, n. 10, Nov. 2017. Disponível em: <https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/view/3874/1845>. Acesso em: 16 nov. 2021.

LIRA, J. B.; ANDRADE, A. P.; MAGALHÃES, A. L. R.; CAMPOS, F. S.; ARAÚJO, G. G. L.; DEON, D. S.; GOIS, G. C.; REGITANO NETO, A.; CUNHA, D. S.; TABOSA, J. N.; SILVA, T. G. F.; NAGAHAMA, H. J. Production of pearl millet irrigated with different levels of brackish water and organic matter. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [S.l.], v. 51, p. 701-709, Fev. 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00103624.2020.1729794>. Acesso em: 14 nov. 2022.

LIRA, R. M.; SILVA, Ê, F. F.; SILVA, A. O.; MEDEREIROS, P. R. F.; SILVA, G. F.; SOARES, H. R. Watercress and chine cabbage in a hydroponic system using groundwater. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 4, p. 1038-1047, Out-Dez. 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/VPp9bpkgdT7xqptSPPVmPqs/>. Acesso em: 22 fev. 2022.

LIU, F.; WANG, S.; WANG, L.; SHI, L.; SONG, X.; YEH, T-C. J.; ZHEN, P. Coupling hydrochemistry and stable isotopes to identify the major factors affecting groundwater geochemical evolution in the Heilongdong Spring Basin, North China. **Journal of Geochemical Exploration**, [S.l.], v. 205, 106352, Out. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375674219301359>. Acesso em: 21 set. 2022.

LIU, F.; ZHEN, P.; WANG, S. Groundwater quality assessment and health risks from nitrate contamination in the Heilongdong Spring Basin, a typical headwater basin of the North China Plain. **Environmental Science Pollution Research**, [S.l.], v. 29, p.17655–17670, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-17065-6>. Acesso em: 3 set. 2022.

LÖBLER, A. A.; SILVA, J. L. S. Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do município de Nova Palma, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.10, n. 1, p. 141-152, Mar. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/FNtqt7ZHB9zGwMt3Tjhz8Km/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 4 abr. 2022.

LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; LOPES, J. F. B. Proposta de um índice de sustentabilidade do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 2, p. 185-193, Abr.-Jun. 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195318233004>. Acesso em: 9 abr. 2022.

MACEDO, M. J. H.; GUEDES, R. V. S.; SOUZA, F. A. S.; DANTAS, F. R. C. Análise do índice padronizado de precipitação para o estado da Paraíba, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 5, n. 1, p. 204-214, 2010. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/928/92812526017.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2022.

MACHADO, C. J. S. Recursos hídricos e cidadania no Brasil: Limites, alternativas e desafios. **Ambiente & Sociedade**, [S.l.], v. 6, n. 2, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/TGsCpQ3L7Zd4FLzSM6WtXHk/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 29 nov. 2021.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.; OLIVEIRA, M. Classificação da composição iônica de irrigação usando regressão linear múltipla. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 55-59, Abr. 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Q4XfVTMQzNvxDxW8WCwsVLk/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 19 jul. 2022.

MAIA, P. M. E. **Interação salinidade e nitrogênio sobre os componentes nutricionais e de produção do capim Tanzânia**. 70f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/ad3d1b58-6e78-4050-80b3-9561426962b5/content>. Acesso em: 30 out. 2022.

MAN, J.; SHI, Y.; YU, Z.; ZHANG, Y. Root growth, soil water variation, and grain yield response of winter wheat to supplemental irrigation. **Plant Production Science**, [S.l.], v. 19, p. 193–205, Fev. 2016. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/1343943X.2015.1128097>. Acesso em: 25 set. 2022.

MANOEL FILHO, J. Ocorrência das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. 3 Ed. rev. e ampl. – Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. cap.2.1, p.53-75. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7968885/mod_resource/content/1/Livro%20CPRM%20Hidrogeologia.pdf. Acesso em: 15 abr. 2023.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: Princípios e métodos**. 2 ed., atual. E ampl. – Viçosa: Ed. UFV, 2007. 358p.

MARANHÃO, S. R.; POMPEU, R. C. F. F.; ARAÚJO, R. A.; LOPES, M. N.; CÂNDIDO, M. J. D.; SOUZA, H. A.; CAVALCANTE, A. C. R.; FONTINELE, R. G.; ROGÉRIO, M. C. P. Morphophysiology of tropical grasses under different water supply in two growing seasons: II. BRS Massai and BRS Tamani grasses. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 42, n. 1, p. 301-318, Jan.-Fev. 2021. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1133206/1/CNPC-2021-Art-13.pdf>. Acesso em: 20 set. 2021.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: **Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas**. Campina Grande – PB: Instituto Nacional do Semiárido – INSA, 2011.

MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic Change**, [S.l.], v. 129, p. 103-115, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-014-1310-1> Acesso em: 27 abr. 2023.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil - past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, [S.l.], v. 129, p. 1189-1200, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-016-1840-8>. Acesso em: 14 mai. 2022.

MARINHO, F. J. L. FERREIRA NETO, M.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; VIANA, S. B. A. Uso de água salina na irrigação do coqueiro (*Cocus nucifera* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, suplemento, p. 359-364, Dez. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/B458zrL3HNsQ7D3N4jKBHLC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 23 abr. 2023.

MARINHO, F. J. L.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D. Germinação e formação de mudas de coqueiro irrigadas com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 334-340, Set. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/wptg8RsfHq9kfGxHL7p5T5G/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 set. 2022.

MARTINS, R. A. **Aplicação do geoprocessamento no estudo integrado das áreas de preservação permanentes nos municípios de Morrinhos e Caldas Novas (GO)**. . Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2010.

MARTINS, G. L. A.; COSTA, A. S. V.; BARROS, A. R.; RAMALHO, F. M. G. Qualidade da água do rio Setúbal em Jenipapo de Minas - MG após construção de barragem. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 12, n. 6, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/TL9QkcKP7CcHrmhRLfWTMcv/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 16 jan. 2022.

MARTINS, S. S.; PEREIRA, M. C.; LIMA, M. A. G.; QUEIROZ, A. A.; SILVA, S. A. B.; MISTURA, C.; RODRIGUES, J. D.; ORIKA ONO, E. Morfofisiologia da cunhã cultivada sob estresse salino. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 13, n. 1, p. 13-24, Jan.-Mar. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbspa/a/M5spRHFktM537s4gWSJgDbc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 26 jul. 2022.

MASTERS, D. G.; BENES, S. E.; NORMAN, C. Biosaline agriculture for forage and livestock production. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S.l.], v. 119, Issues 3-4, p. 234 - 248, Mar. 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880906002994>. Acesso em: 16 fev. 2023.

MATEOS, L.; ALMEIDA, A. C. S.; FRIZZONE, J. A.; LIMA, S. C. R. V. Performance assessment of smallholder irrigation based on an energy-water-yield nexus approach. **Agricultural Water Management**, [S.l.], v. 206, p. 176-186, Jul. 2018. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377418306322>. Acesso em: 22 ago. 2022.

MELATI, M. D.; FLEISCHMANN, A. S.; VENTILADOR, F. M.; PAIVA, R. C. D.; ATHAYDE, G. B. Estimates of groundwater depletion under extreme drought in the Brazilian semi-arid region using GRACE satellite data: application for a small-scale aquifer. **Hydrogeology Journal**, [S.l.], v. 27, p. 2789-2802, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10040-019-02065-1>. Acesso em: 28 dez. 2022.

MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; CARMO, G. A. Riscos e medidas mitigadoras para a salinidade em áreas irrigadas. In: PAZ, V. P. S., OLIVEIRA, A. S., PEREIRA, F. A. C., GHEYI, H. R. (Org). **Manejo e sustentabilidade da irrigação em regiões áridas e semi-áridas**. Cruz das Almas: UFRB, 2009. p.187–219.

MEDEIROS, W. J. F.; OLIVEIRA, F. Í. F.; LACERDA, C. F.; SOUSA, C. H. C.; CAVALCANTE, L. F.; SILVA, A. R. A.; FERREIRA, J. F. S. Isolated and combined effects of soil salinity and waterlogging in seedlings of ‘Green Dwarf’ coconut. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, p. 1459–1468, 2018. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/4457/445759824007/445759824007.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2022.

MEYER, U.; EVERINGHOFF, M.; GÄDEKEN, D.; FLACHOWSKY, G. Investigations on the water intake of lactating dairy cows. **Livestock Production Science**, [S.l.], v. 90, p. 117–121, Nov. 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030162260400065X>. Acesso em: 10 nov. 2022.

MIRANDA, F. R.; ROCHA, A. B. S.; GUIMARÃES, V. B.; SILVA, E. S.; LIMA, G. C. M.; SANTOS, E. M. S. Eficiência do uso da água na irrigação do coqueiro anão. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 109-124, Jan.-Mar. 2019. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3567/2475>. Acesso em: 26 jun. 2022.

MOTTA, José Luis Gaffrée; WATZLAWICK, Luciano Farinha. **A importância do Geoprocessamento no Planejamento Rural**. MundoGEO, Paraná. 2000. Disponível em: <https://mundogeo.com/2000/02/02/a-importancia-do-geoprocessamento-no-planejamentorural>. Acesso em: 1 abr. 2021

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell & Environment**, [S.l.], v. 25, p. 239-250, Fev. 2002. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x>. Acesso em: 26 set. 2022.

MURALIKRISHNAN, L.; PADARIA, R. N.; CHOUDHARY, A. K.; DASS, A.; SHOKRALLA, S.; EL-ABEDIN, T. K. Z.; ABDELMOHSEN, S. A. M.; MAHMOUD, E. A.; ELANSARY, H. O. Climate change-induced drought impacts, adaptation and mitigation measures in Semi-Arid pastoral and agricultural watersheds. **Sustainability**, [S.l.], v. 14, 6, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/1/6>. Acesso em: 16 out. 2022.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production**. St. Joseph: ASAE, 1986. 383p.

NANGIA, V.; OWEIS, T.; KEMEZE, F. H.; SCHNETZER, J. **Supplemental Irrigation: A Promising Climate-Smart Practice for Dryland Agriculture**. Wageningen. CGIAR/CCAFS. 2018.

NASCIMENTO, E. D.; MAIA, C. M. M.; ARAÚJO, M. F. F. Contaminação da água de reservatórios do semiárido potiguar por bactérias de importância médica. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 414-427, Jun. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/b3wBtpVTnqstHywRn75Q3hm/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 7 jul. 2022.

NAVARRO, F. E. C.; SANTOS JUNIOR, J. A.; MARTINS, J. B.; CRUZ, R. I. F.; SILVA, M. M.; MEDEIROS, S.S. Physiological aspects and production of coriander using nutrient solutions prepared in different brackish waters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 26, p. 831–839, Nov. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/ZYyjJCgg75BRgq6nhPyw5Lc/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 22 fev. 2022.

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F. DE; GUIMARÃES, F. V. A.; GOMES FILHO, E. & FEITOSA, D. R. C. Trocas gasosas e teores de minerais no feijão-de-corda irrigado com água salina em diferentes estádios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, suppl, p.873-881, Dez. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/sdSCsSjxwbnP4Lw8WsmBPrj/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 11 abr. 2022.

NEVES, A. L. R.; ALVES, M. P.; LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R. Aspectos socioambientais e qualidade da água de dessalinizadores nas comunidades rurais de Pentecoste – CE. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 124-135, Fev. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/dWDsZRCXtKq3WXWDPDP84RF/?lang=pt>. Acesso em: 19 jul. 2022.

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F.; SOUSA, C. H. C.; FERNANDES, F. I. O.; RIBEIRO, M. S. S. Quantitative and qualitative responses of *Catharanthus roseus* to salinity and biofertilizer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n.1, p. 22-26, Jan. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/hHdg35tjtT7s5ctYHYrXsCr/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 23 mar. 2023.

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F.; SOUSA, C. H. C.; SILVA, F. L. B.; GHEYI, H. R.; FERREIRA, F. J.; ANDRADE FILHO, F. L. Growth and yield of cowpea/sunflower crop rotation under different irrigation management strategies with saline water. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 5, p. 814-820, Maio 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/KJfC6w3MmV5btqZGyGBs3Zf/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 14 mar. 2022.

NIKALJE, G. C.; SRIVASTAVA, A. K.; PANDEY, G. K.; SUPRASANA, P. Halophytes in biosaline agriculture: Mechanism, utilization, and value addition. **Land Degradation &**

Development, [S.l.], v. 29, p. 1081–1095, 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ldr.2819>. Acesso em: 17 jan. 2022.

NOGUEIRA, L. C.; NOGUEIRA, L. R. Q.; MIRANDA, F. R. de. Irrigação do coqueiro. In: Ferreira, M. S.; Warwick, D. R. N.; Siqueira, L. A. (ed). **A cultura do coqueiro no Brasil**. Brasília: Embrapa/ SPI, Aracaju: EMBRAPA/CPATC, 1997. cap 7. p.159-187.

NUNES, K. G. **Recursos hídricos subterrâneos e estratégias de produção agropecuária no Semiárido brasileiro**. 135f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/60189>. Acesso em: 26 abr. 2023.

NUNES, K. G.; COSTA, R. N. T.; CAVALCANTE, I. N.; GONDIM, R. S.; LIMA, S. C. R. V; MATEOS, L. Recursos hídricos subterrâneos para fins agrícolas no semi-árido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 26, n. 12, p. 915-923, Dez. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/FKmb6dx5HDs69WpdGgPShMQ/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 5 jun. 2023.

OHLER, J. G. **Modern coconut management: palm cultivations and products**. London: FAO, 458 p. 1999.

OLIVEIRA, E. V.; DE LACERDA, C. F.; NEVES, A. L. R.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, D. R.; DE OLIVEIRA, F. Í. F.; DE ARAÚJO VIANA, T. V. A new method to evaluate salt tolerance of ornamental plants. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, [S.l.], v. 30, p. 173–180, Ago. 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40626-018-0112-7>. Acesso em: 4 abr. 2022.

OLIVEIRA, F. A.; PINTO, K. S. O.; BEZERRA, F. M. S.; LIMA, L. A.; CAVANCANTE, A. L. G.; OLIVEIRA, M. K. T.; MEDEIROS, J. F. Tolerância do maxixeiro, cultivado em vasos, à salinidade da água de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 1, p. 147-154, Fev. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/QxmWYX7Sj8SBTTMD6HZv7YB/?lang=pt>. Acesso em: 16 fev. 2023.

OLIVEIRA, H. A.; BEZERRA, H. N.; ARAÚJO, M. S.; TAVARES, L. A. F. Qualidade de águas de poços dos assentamentos da chapada do Apodi-RN para o uso na agricultura. **Holos**, Natal, v. 1, n. 29, p. 64-72, 2013. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/853/639>. Acesso em: 25 abr. 2023.

OLIVEIRA, J. P. C. A.; GONÇALVES, L.C.; JAYME, D. G.; DINIZ, T. H. F.; PIRES, F. P. A. A.; CÔRTEZ, I. H. G.; CRUZ, D. S. G.; SANTOS, D.; MOURA, A. M. Considerações sobre o consumo de água por bovinos. **Revista Eletrônica Nutritime**, [S.l.], v. 13, n. 1, p. 4524-4528, Jna-Fev. 2016. Disponível em: <https://www.nutritime.com.br/artigos/artigo-357-consideracoes-sobre-o-consumo-de-agua-por-bovinos/>. Acesso em: 24 nov. 2022.

OLIVEIRA, P. T. S.; AYRES, F. M.; PEIXOTO FILHO, G. E. C.; MARTINS, I. P.; MACHADO, N.M. Geoprocessamento como ferramenta no licenciamento ambiental de postos de combustíveis. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 20, n. 1, p. 87-99, Jun. 2008.

Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/9370/5736>. Acesso em: 22 ago. 2022.

OLIVEIRA, V. H. **Cultivo do cajueiro anão precoce**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. Sistemas de Produção, n.1, 44p, 2002. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/421404/1/Sp012aed.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2022.

OLIVO, A. M.; ISHIKI, H. M. Brasil frente à escassez de água. **Colloquium Humanarum**, Presidente Prudente, v. 11, n. 3, p. 41-48, Set.-Dez. 2014. Disponível em: <https://journal.unoeste.br/index.php/ch/article/view/1206/1279>. Acesso em: 15 set. 2023.

ORESCA, D.; OLIVEIRA, A. C.; SILVA, T. G. F.; PESSOA, L. G. M.; SOUZA, J. C. G.; MACIEL, L. H. Agronomic performance of forage sorghum and Millet grown under irrigation with saline water and nitrogen doses in the Brazilian semi-arid. **Research, Society and Development**, Itajubá, v.10, n.10, e359101018976, Ago. 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/18976/16916>. Acesso em: 3 set. 2022.

OWEIS, T.; HACHUM, A. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa. **Agricultural Water Management**, [S.l.], v. 80, p. 57–73, Fev, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377405002891>. Acesso em: 5 jun. 2023.

OWEIS, T.; HACHUM, A. **Supplemental Irrigation: A Highly Efficient Water-Use Practice**; International Centre for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA): Aleppo, Syria, 16p, 2012.

PALHARES, J. C. P. **Quantidade e Qualidade da Água na Produção de Suínos**. In: Simpósio Produção Animal e Recursos Hídricos. Concórdia – SC, Brasil. 2010.

PALHARES, J. C. P. **Consumo de água na produção animal**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2013.

PANTA, S.; FLOWERS, T.; LANE, P.; DOYLE, R.; HAROS, G.; SHABALA, S. Halophyte agriculture: Success stories. **Environmental and Experimental Botany**, [S.l.], v.107, p. 71–83, Nov. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098847214001221>. Acesso em: 7 jul. 2022.

PETER, S. J.; DE ARAÚJO, J. C.; ARAÚJO, N. A. M.; HERRMANN, H. J. Flood avalanches in a semiarid basin with a dense reservoir network. **Journal of Hydrology**, [S.l.], v. 512, p. 408–420, Maio 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169414001735>. Acesso em: 16 jan. 2022.

PEREIRA, M. O. **Desempenho agrônômico da palma forrageira sob lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água**. 91f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020. Disponível em: [http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/12665/MARIANA%20DE%](http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/12665/MARIANA%20DE%20)

200LIVEIRA%20PEREIRA%20-%20TESE%20%28PPGEA%29%202020.pdf?sequence=3 &isAllowed=y. Acesso em: 20 set. 2021.

PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J.; SILVA, I. J. O.; MATARAZZO, S. V. Influência do ambiente na ingestão de água por vacas leiteiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 289-294, Jun. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/dMZW4ygRMJgKZKxjQkvCkbz/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 15 abr. 2023.

PESSOA, L. G. M.; FREIRE, M. B. G. S.; SANTOS, R. L.; FREIRE, F. J.; MIRANDA, M. F. A.; SANTOS, P. R. Saline water irrigation in semiarid region: I – effects on soil chemical properties. **Australian Journal of Crop Science**, Brisbane, v. 13, n. 7, p. 1169-1176, 2019a. Disponível em: https://www.cropj.com/pessoa1686_13_7_2019_1169_1176.pdf. Acesso em: 7 jul. 2022.

PESSOA, L. G. M.; FREIRE, M. B. G. S.; SANTOS, R. L.; FREIRE, F. J.; SANTOS, P. R.; MIRANDA, M. F. A. Saline water irrigation in semiarid region: II – effects on growth and nutritional status of onions. **Australian Journal of Crop Science**, Brisbane, v. 13, n. 7, p. 1177-1182, 2019b. Disponível em: https://www.cropj.com/pessoa1687_13_7_2019_1177_1182.pdf. Acesso em: 19 dez. 2021.

PICCOLI, A. S.; KLIGERMAN, D. C.; COHEN, S. C.; ASSUMPÇÃO, R. F. A Educação Ambiental como estratégia de mobilização social para o enfrentamento da escassez de água. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 3, p. 797-808, Mar. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/VFpXnmJGV9Wb5rWmRRLKcyK/>. Acesso em: 26 abr. 2022.

PINHEIRO, J. C. V.; CALLADO, S. M. G. Avaliação de desempenho dos dessalinizadores no Ceará. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 36, n. 1, p. 43-59, Jan.-Mar. 2005. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/index.php/ren/article/viewFile/698/537>. Acesso em: 3 dez. 2022.

PINHO, L. L.; LACERDA, C. F.; SOUSA, J. A.; SANTOS, A. M.; BEZERRA, A. M. E.; CAVALCANTE, E. S.; SALES, J. R. S. Effects of artificial shading and irrigation with brackish water on the initial development of *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan plants. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 46, e4607, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/jzP3kBKkZfRXXBLwbXYWYXB/>. Acesso em: 17 jun. 2022.

PINTO, M. C. K.; CRUZ, R. L.; FRIGO, E. P.; FRIGO, M. S. HERMES, E. Contaminação das águas subterrâneas por nitrogênio devido à irrigação com efluente do tratamento de esgoto. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n.2, p.270-281, Abr.-Jun. 2013. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/430/366>. Acesso em: 23 mar. 2022.

PORTO, E. R.; AMORIM, M. C. C.; DUTRA, M. T.; PAULINO, R. V.; BRITO, L. T.L.; MATOS, A. N. B. Rendimento da *Atriplex 135actos135ia* irrigada com efluentes da criação de tilápia em rejeito da dessalinização da água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 97-100, Mar 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/KpvS4f4FMxpptCHhgYDMDmG/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 14 mai. 2022.

PRATT, P. F. **Quality criteria for trace elements in irrigation waters**. California: California Agricultural Experiment Station, 1972. 46p.

PRAXEDES, S. S. C.; SILVA JÚNIOR, M. J.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, J. L. A.; SILVA, F. V.; TARGINO, A. J. O. Desempenho do capim Tanzânia irrigado com água salobra aplicada via aspersão e gotejamento. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 2, p. 236-253, Abr.-Jun. 2019. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2697/2502>. Acesso em: 7 jul. 2022.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Girona: Open Source Geospatial Foundation, 2018.

RAINERI, C.; NUNES, B. C. P.; GAMEIRO, A. H. Technological characterization of sheep production systems in Brazil. **Animal Science Journal**, [S.l.], v. 86, p. 476-485, Abr. 2015. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/asj.12313>. Acesso em: 10 set. 2022.

RAVARI, F. N.; TAHMASBI, R.; DAYANI, O.; KHEZRI, A. Cactus-alfalfa blend silage as an alternative feedstuff for Saanen dairy goats: Effect on feed intake, milk yield and components, blood and rumen parameters. **Small Ruminant Research**, [S.l.], v. 216, 106811, 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921448822002000?casa_token=zrl-s6v5qMAAAAAA:MO3GgGw9URN5d35y4SFCrhVE8cbmMiaFDM0m064VcKuLj7JFI1Pf aNT1R5UoIWOZUYfKzhE1_0g. Acesso em: 2 dez. 2021.

RENGASAMY, P.; LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R. **Salinity, Sodicity and Alkalinity. In Subsoil Constraints for Crop Production**; OLIVEIRA, T. S., BELL, R. W., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2022; pp. 83–107.

RESENDE, Á. V. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002, 29p.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: USDA. United States Salinity Laboratory, Agriculture Handbook, 60, 1954.

ROCHA FILHO, R. R.; SANTOS, D. C.; VÉRAS, A. S. C.; SIQUEIRA, M. C. B.; NOVAES, L. P.; MORA-LUNA, R.; MONTEIRO, C. C. F.; FERREIRA, M. A. Can spineless forage cactus be the queen of forage crops in dryland areas? **Journal of Arid Environments**, [S.l.], v. 186, 104426, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140196320303256?via%3Dihub>. Acesso em: 26 jul. 2022.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 16, p. 81-90, 2005. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288/51024>. Acesso em: 30 out. 22.

SÁ, F. V. S.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; PAIVA, E. P.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L.; FERNANDES, P. D.; DIAS, A. S. Ecophysiology of West Indian cherry irrigated with saline water under phosphorus and nitrogen doses. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 35, n. 1, p. 211-221, Jan-Fev. 2019. Disponível em:

<https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/41742/25452>. Acesso em: 17 mar. 2023.

SALES, M. A. L.; MOREIRA, F. J. C.; ELOI, W. M.; RIBEIRO, A. A. Desenvolvimento da vinagreira (*Hibiscus sabdariffa* Linn.) em função de seis níveis de salinidade da água de irrigação. **Holos**, Natal, v. 2, e1602, Jun. 2019. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1602/pdf>. Acesso em: 28 ago. 2022.

SANTACRUZ-DE LEÓN, G.; MORAN-RAMÍREZ, J.; RAMOS-LEAL, J. A. Impact of drought and groundwater quality on agriculture in a semi-arid zone of Mexico. **Agriculture**, [S.l.], v. 12, 1379, Set. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/9/1379>. Acesso em: 20 dez. 2021.

SANTOS, A.; MATOS, E. S.; FREDDI, O. S.; GALBIERI, R.; LAL, R. Cotton production systems in the Brazilian Cerrado: The impact of soil attributes on field-scale yield. **European Journal of Agronomy**, [S.l.], v. 118, 126090, Ago. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1161030120300976>. Acesso em: 7 jul. 2022.

SANTOS, A. C. Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. 3 Ed. ver. e ampl. – Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. Cap.5.1, p.325-357.

SANTOS, A. R. D. **ArcGis 9.1 Total**. Vitória-ES: Fundagres, 2007. 226 p.

SANTOS, N. A.; SOARES, T. M.; SILVA, Ê. F. F.; SILVA, D. J. R.; MONTENEGRO, A. A. A. Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 961-969, Set. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/K7YNTshtJZbztfb6wvjK7mt/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 24 mar. 2023.

SANTOS, N. M. S. S.; QUEIROZ, M. A. Á.; ARAÚJO, G. G. L.; COSTA, S. A. P.; ALBUQUERQUE, Í. R. R.; MOURA, J. H. A.; GARRIDO, M. S.; MARENA, D. B. Salinidade na água de beber de ovinos e uso dos dejetos em cultivo de plântulas de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 3, p. 531-537, Mar. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/NKfnY5B8HW9VRDDbSB6KdNL/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 17 mar. 2023.

SANTOS, N. S.; SILVA, J. C. S.; PEREIRA, W. S.; MELO, J. L. R.; LIMA, K. V.; LIMA, D. O.; LIMA, K. F.; ALMEIDA, R. S. Crescimento da palma forrageira sob estresse salino e diferentes lâminas de irrigação. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, Alagoas, v. 5, n. 1, e9452, Abr. 2020. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/era/article/view/9452/7115>. Acesso em: 11 abr. 2022.

SANTOS JÚNIOR, J. A.; GHEYI, H. R.; CAVALCANTE, A. R.; FRANCILINO, A. H.; PEREZ-MARIN, A. M. Crescimento de girassóis ornamentais sob estresse salino em hidroponia de baixo custo. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 3, p. 591-604, Jul-Set. 2016. Disponível

em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2106/1616>. Acesso em: 10 set. 2022.

SCANLON, B. R.; KEESE, K. E.; FLINT, A. L.; FLINT, L. E.; GAYE C. B.; EDMUNDS W. M.; SIMMERS, I. Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions. **Hydrological Processes**, [S.l.], v. 20, p. 3335–3370, Set. 2006. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/hyp.6335>. Acesso em: 20 set. 2021.

SILVA BRITO, G. S. M.; SANTOS, E. M.; DE ARAÚJO, G. G. L.; DE OLIVEIRA, J. S.; ZANINE, A. DE M.; PERAZZO, A. F.; CAMPOS, F. S.; LIMA, A. G. V. DE O.; CAVALCANTI, H. S. Mixed silages of 138actos pear and gliricidia: Chemical composition, fermentation characteristics, microbial population and aerobic stability. **Scientific Reports**, [S.l.], v. 10, 6834, Abr. 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-63905-9>. Acesso em: 27 jul. 2022.

SILVA, C. R. de R. Cultura da banana: tecnologia de produção. In: **Fruticultura tropical**. Lavras: [s.n], 1997, p.1-151.

SILVA, F. G. Cajucultura e problemas socioambientais na cidade de Severiano Melo –RN. In: **Encontro Regional de Sustentabilidade e Políticas Públicas**, 1., 2017, Pau dos Ferros. Anais ERESPP Semiárido. Campina Grande: Editora Realize, 2017. P. 1 –10.

SILVA, F. J. A.; ARAÚJO, A. L.; SOUZA, R. O. Águas subterrâneas no Ceará – poços instalados e salinidade. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 28, n. 2, p. 136-159, Dez. 2007. Disponível em: <https://ojs.unifor.br/tec/article/view/52/4461>. Acesso em: 23 mar. 2023.

SILVA, J. E. S. B.; MATIAS, J. R.; GUIRRA, K. S.; ARAGÃO, C. A.; ARAÚJO, G. G. L.; DANTAS, B. F. Development of seedlings of watermelon cv. Crimson Sweet irrigated with biosaline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 9, p. 835-840, Set. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Wxf3fH3vFtQZt7RYrDLsNPs/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 5 nov. 2021.

SILVA, J. L. A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, S. S. V.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA JUNIOR, M. J.; NASCIMENTO, I. B. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, suplemento, p. S66-S72, Maio 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/fZtQjr5hSXbDb5tsgbq8Cnq/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 19 jul. 2022.

SILVA, M. G.; OLIVEIRA, I. S.; SOARES, T. M.; GHEYI, H. R.; SANTANA, G. O.; PINHO, J. S. Growth, production and water consumption of coriander in hydroponic system using brackish Waters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 8, p. 547-552, Ago. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/gjygrBP3FC56pcmmWthpNL/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 23 mar. 2022.

SILVA, M. J. G.; HERNANDEZ, F. F. F.; COSTA, R. N. T.; LACERDA, C. F.; CRISÓSTOMO, L. A. Qualidade de água e níveis de irrigação sobre o desenvolvimento da bananeira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9,

suplemento, p. 76-80, Dez. 2005. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/H8bQhtPYXLZFDn7Y5S8nTTK/?format=pdf&lang=pt>.
 Acesso em: 27 mar. 2022.

SILVA, P. C. G.; MOURA, M. S. B.; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. L.; PEREIRA, L. A.; as, I. B.; CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. C.; CUNHA, T. J. F.; GUIMARÃES FILHO, C. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Ed.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010, cap. 1, p. 18-48.

SILVA, P. H. P.; RIBEIRO, M. M. R.; MIRANHA, L. I. B. Uso de cadeia causal na análise institucional da gestão de recursos hídricos em reservatório no semiárido da Paraíba. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 4, p. 637-646, Jul.-Ago. 2017. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/esa/a/XLb7YwnxSHmBctFbr6WXY5k/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 mai. 2023.

SILVA JÚNIOR, L. G. A.; GHEYI, R. H.; MEDEIROS, J. F. Composição química de águas do cristalino do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n.1, p. 11-17, Jan-Abr. 1999. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/6Z33C5v9pKmBXMbDRFCTXwL/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 24 nov. 2022.

SIMEONOV, V.; EINAX, J. W.; STANIMIROVA, I.; KRAFT, J. Environmetric modeling and interpretation of river water monitoring data. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, [S.l.], v. 374, p. 898–905, Nov. 2002. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00216-002-1559-5>. Acesso em: 17 fev. 2023.

SINGHA, S.; PASUPULETI, S.; SINGHA, S. S.; SINGH, R.; KUMAAR, S. Prediction of groundwater quality using efficient machine learning technique. **Chemosphere**, [S.l.], v. 276, 130265, Ago. 2021. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521007347>. Acesso em: 15 jan. 2022.

SOARES, H. M. E.; SILVA, Ê, F. F.; SILVA, G. F.; LIRA, R. M.; BEZERRA, R. R. Mineral nutrition of crisphead lettuce grown in a hydroponic system with brackish water. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 3, p. 656–664, jul./set. 2016. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rcaat/a/g496VzTTQ3xTs54wTNwvT8J/?lang=en>. Acesso em: 23 nov. 2022.

SOARES, H. R.; SILVA, Ê. F. F.; SILVA, G. F.; CRUZ, A. F. S.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; ROLIM, M. M. Salinity and flow rates of nutrients solution on cauliflower biometrics in NFT hydroponic system. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.24, n.4, p.258-265, Abr. 2020a. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/jvj6GjHCXg3v9bGmLkrmFHN/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 5 jan. 2023.

SOARES, L. A. A.; FERNANDES, P. D.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SÁ, F. V. S.; MOREIRA, R. C. L. Saline water irrigation strategies in two production cycles of naturally colored cotton. **Irrigation Science**, [S.l.], v. 38, p. 401-413, Jun. 2020b. Disponível

em: <https://ccta.ufcg.edu.br/ppgsa/images/Documentos/2021/publicacao/Saline14.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2022.

SOARES, L. F.; RIBEIRO, A. M. L.; PENZ JÚNIOR, A. M.; GHIOTTI, A. Influência da restrição de água e ração durante a fase pré-inicial no desempenho de frangos de corte até os 42 dias de idade. **Revista Brasileira de zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1579-1589, Out. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/rJ9Z3K87pGYrY7FKgjLmBBN/?lang=pt>. Acesso em: 8 mar. 2023.

SOARES, T. M.; DUARTE, S. N.; SILVA, Ê. F. F.; PAZ, V. P. S.; OLIVEIRA, J. L. B. Uso de águas salobras em sistemas hidropônicos de cultivo. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, É. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, v. 2, cap. 23, p. 373-393, 2016.

SOUSA, A. B. O.; BEZERRA, M. A.; FARIAS, F. C. Germinação e desenvolvimento inicial de clones de cajueiro comum sob irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 390-394, Abr. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/JDLVJ7QrYMy9tJ3Ztwfxbmy/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 5 nov. 2021.

SOUSA, G. G. DE; SOUSA, H. C.; SANTOS, M. F. DOS; LESSA, C. I. N.; GOMES, S. P. Saline water and nitrogen fertilization on leaf composition and yield of corn. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 35, n. 1, p. 191-198, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/mQHL98Cmz6ktqh4MhS5VQQP/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 17 jan. 2022.

SOUSA NETO, O. N.; DIAS, N. S.; FERREIRA NETO, M.; LIRA, R. B.; REBOUÇAS, J. R. L. Utilização do rejeito da dessalinização da água na produção de mudas de espécies da Caatinga. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 123-129, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/1809/pdf>. Acesso em: 17 jan. 2022.

SOUZA, A. C. M.; DIAS, N. S.; ARRUDA, M. V. M.; FERNANDES, C. S.; ALVES, H. R.; NOBRE, G. T. N.; PEIXOTO, M. L. L. F.; SOUSA NETO, O. N.; SILVA, M. R. F.; SILVA, F. V.; SÁ, F. V. S. Economic and analysis and development of the Nile tilapia cultivated in the nursery using reject brine as water support. **Water, Air & Soil Pollution**, [S.l.], v. 233, n. 8, p. 1-9, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-021-05481-w>. Acesso em: 4 jul. 2023.

SOUZA, M. D. S.; SILVA, T. G. F.; SOUZA, L. S. B.; ALVES, H. K. M. N.; LEITE, R. M. C.; SOUZA, C. A. A.; ARAÚJO, G. G. L. D.; CAMPOS, F. S.; SILVA, M. J. D.; SOUZA, P. J. D. O. P. Growth, phenology and harvesting time of cactus-millet intercropping system under biotic mulching. **Archives of Agronomy and Soil Science**, [S.l.], v. 68, p. 764-778, 2022. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03650340.2020.1852553>. Acesso em: 27 jul. 2022.

SUASSUNA, J. **A salinidade das águas do nordeste Semiárido**. FUNDAJ, Recife, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v3n1p11-17>. Disponível em:

<https://www.fundaj.gov.br/index.php/artigos-joao-suassuna/9241-asalinidade-de-aguas-do-nordeste-semi-arido>. Acesso: 10 set. 2022.

SUDDARTH, S. R. P.; FERREIRA, J. F. S.; CAVALCANTE, L. F.; FRAGA, V. S.; ANDERSON, R. G.; ANDERSON, J. J. H.; BEZERRA, F. T. C.; MEDEIROS, S. A. S.; COSTA, C. R. G.; DIAS, N. S. Can humic substances improve soil fertility under salt stress and drought conditions? **Journal of Environmental Quality**, [S.l.], v. 48, p.1605-1613, 2019. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2134/jeq2019.02.0071>. Acesso em: 20 dez. 2021.

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Delimitação do semiárido**. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/assuntos/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em: 15 abr. 2023.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **Annals of Botany**, Londres, v. 91, n. 3, p. 503-527, Abr. 2003. Disponível em: <https://academic.oup.com/aob/article/91/5/503/157102>. Acesso em: 25 nov. 2023.

TORRES, E. C. M.; FREIRE, J. L. O.; OLIVEIRA, J. L.; BANDEIRA, L. B.; MELO, D. A.; SILVA, A. L. Biometria de mudas de cajueiro anão irrigadas com águas salinas e uso de atenuadores do estresse salino. **Nativa**, Sinop, v. 2, n. 2, p. 71-78, Abr-Jun, 2014. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/1400/pdf>. Acesso em: 26 mar. 2022.

TORRES MENDONÇA, A. J.; SILVA, A. A. R. DE; LIMA, G. S. D.; SOARES, L. A. DE A.; NUNES OLIVEIRA, V. K.; GHEYI, R. H.; LACERDA, C. F. DE; AZEVEDO, C. A. V. DE; LIMA, V. L. A. DE; FERNANDES, P. D. Salicylic Acid Modulates Okra Tolerance to Salt Stress in Hydroponic System. **Agriculture**, [S.l.], v. 12, 1687, Out. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/10/1687>. Acesso em: 16 jan. 2022.

TOSTO, S. G.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. **Geotecnologias e Geoinformação: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

TOVIGNAN, T. K.; BASHA, Y.; WINDPASSINGER, S.; AUGUSTINE, S. M.; SNOWDON, R.; VUKASOVIC, S. Precision Phenotyping of Agro-Physiological Responses and Water Use of Sorghum under Different Drought Scenarios. **Agronomy**, [S.l.], v. 13, 722, Fev. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/3/722>. Acesso em: 6 fev. 2022.

TUNDISI, J. G. **Recursos Hídricos**. Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, 2003.

VALE, M. B.; AZEVEDO, P. V. Avaliação da produtividade e qualidade do capim elefante e do sorgo irrigados com água do lençol freático e do rejeito do dessalinizador. **Holos**, Natal, v. 3, p. 181-195, Ago. 2013. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1383/688>. Acesso em: 2 ago. 2022.

VAN ASTEN, P. J. A.; FERMONT, A. M.; TAULYA, G. Drought is a major yield loss factor for rainfed East African highland banana. **Agricultural Water Manager**, [S.l.], v. 98, p.541–552, Fev. 2011. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377410003264>. Acesso em: 14 nov. 2022.

VIEIRA, M. R.; LACERDA, C. F.; CÂNDIDO, M. J. D.; CARVALHO, P. L.; COSTA, R. N. T.; TABOSA, J. N. Produtividade e qualidade da forragem de sorgo irrigadas com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, suplemento, p. 42-46, Dez. 2005. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/ff8dB8CDvy5jtkV3Cp8Kz8p/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 8 jan. 2022.

VIEIRA, R. M. S. P.; TOMASELLA, J.; ALVALA, R. C. S.; SESTINI, M. F.; AFFONSO, A. G.; RODRIGUEZ, D. A.; BARBOSA, A. A.; CUNHA, A. P. M. A.; VALLES, G. F.; CREPANI, E.; OLIVEIRA, S. B. P. de; SOUZA, M. S. B. de; CALIL, P. M.; CARVALHO, M. A. de; VALERIANO, D. M.; CAMPELLO, F. C. B.; SANTANA, M. O. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. **Solid Earth**, [S.l.], v. 6, p. 347-360, Mar. 2015. Disponível em: <https://se.copernicus.org/articles/6/347/2015/>. Acesso em: 5 abr. 2023.

VILLANUEVA, T. C. B.; LEAL, L. R. B.; ZUCCHI, M. R.; AZEVEDO, E. G.; VILLANUEVA, P. R. Diagnóstico da qualidade das águas subterrneas e elaboração do mapa de uso e ocupação dos solos na região de irecê-ba. **Águas subterrâneas**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 30-41, Mar. 2015. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27932/18354>. Acesso em: 19 mar. 2023.

VON SPERLING, M. Comparison among the most frequently used systems for wastewater treatment in developing countries. **Water Science and Technology**, [S.l.], v. 33, p. 59-72, 1996. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0273122396003010>. Acesso em: 9 abr. 2022.

WATKINS, S. E.; FRITTS, C. A.; YAN, F.; WILSON, M. L.; WALDROUP, P. W. The interaction of sodium chloride levels in poultry drinking water and the diet of broiler chickens. **Journal Applied Poultry Research**, [S.l.], v. 14, p. 55-59, Mar. 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S105661711931774X>. Acesso em: 15 jun. 2023.

YARON, B. Water suitability for irrigation. In: YARON, E.; DANFORS, E.; VAADID, Y. (Eds.) **Arid zone irrigation**, Berlin: Springer-Verlag. Cap. 4, p.71-85. Ecological Studies, 5. 1973.

ZAHEDI S. Modification of expected conflicts between Drinking Water Quality Index and Irrigation Water Quality Index in water quality ranking of shared extraction wells using Multi Criteria Decision Making techniques. **Ecological Indicators**, [S.l.], v. 83, p. 368-379, Dez. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X17304946>. Acesso em: 3 dez. 2022.

ZAIDAN, R.T. Geoprocessamento Conceitos e Definições. 2017.

ZANATA, J. M.; PIROLI, E. L.; DELATORRE, C. C. M.; GIMENES, G. R. Análise do uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente da microbacia ribeirão bonito, apoiada em técnicas de geoprocessamento. **Revista Geonorte**, Amazonas, v. 2. n. 4, p. 1262-1272, Nov. 2012. Disponível em: <https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2185/2055>. Acesso em: 23 mar. 2022.

ZEGBE, J. A.; SERVÍN-PALESTINA, M. Supplemental irrigation to save water while growing cactus pear in semi-arid regions. **Irrigation and Drainage**, [S.l.], v. 70, p. 269–280, Abr. 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ird.2542>. Acesso em: 5 nov. 2021.

ZHANG, B.; SONG, X.; ZHANG, Y.; HAN, D.; TANG, C.; YU, Y.; MA, Y. Hydrochemical characteristics and water quality assessment of surface water and groundwater in Songnen plain, Northeast China. **Water Research**, [S.l.], v. 46, p. 2737–2748, Maio. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135412001364>. Acesso em: 5 jan. 2023.

ZONTA, J. H.; BEZERRA, J. R. C.; PEREIRA, J. R.; SOFIATTI, V. **Manejo da Irrigação do Algodoeiro**. Embrapa, Circular Técnico 139, p.1-8, 2016.

ZÖRB, C.; GEILFUS, C. M.; DIETZ, K. J. Salinity and crop yield. **Plant biology**, [S.l.], v. 21, p. 31-38, Set. 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/plb.12884>. Acesso em: 4 jun. 2022.

ZUBLENA J. P.; COOK M. G.; ST. CLAIR M. B. (Eds.) **Pollutants in groundwater: health effects**. Soil facts (North Carolina Extension Service Publication No. AG-439-14). 2001. Acesso em: 27 mar. 2022.