



Paulo Roberto Megna Francisco
George do Nascimento Ribeiro
José Hugo Simplicio de Sousa
José Nilton Silva
Luciano Fallé Saboya
Franciele Simões do Nascimento
Fernanda Pessoa de Sousa
Walter Belarmino da Silva Filho
Mikarla Baia de Sousa

Risco de Salinidade das Terras de parte de Região Continental Brasileira



***Risco de Salinidade
das Terras de Parte
de Região Continental
Brasileira***



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

R492 Risco de Salinidade das Terras de Parte de Região Continental Brasileira/Francisco et al.
— Campina Grande: EPTEC, 2024.

88 f.: il. color.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-01-17518-8

1. Condutividade elétrica. 2. Razão de adsorção de sódio. 3. B-spline multinível. 4. Modelagem. 5. Geoestatística. I. Francisco, Paulo Roberto Megna. II. Ribeiro, George do Nascimento. III. Sousa, José Hugo Simplicio de. IV. Silva, José Nilton. V. Saboya, Luciano Fallé. VI. Nascimento, Franciele Simões do. VII. Sousa, Fernanda Pessoa de. VIII. Silva Filho, Walter Belarmino da. IX. Sousa, Mikarla Baia de. X. Título.

CDU 630

Os capítulos ou materiais publicados são de inteira responsabilidade de seus autores.
As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista do Editor responsável.
Sua reprodução parcial está autorizada desde que cite a fonte.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons.
Atribuição-Não-Comercial-Não Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

2024 by Eptec

Copyright © Eptec

Copyright do texto © 2024 Os autores

Copyright da edição © 2024 Eptec

Direitos para esta edição cedidos à Eptec pelos autores.

Open access publication by Eptec

Créditos das Imagens da capa

Pixabay/Freepick

Editoração, Revisão e Arte da Capa

Paulo Roberto Megna Francisco

Conselho Editorial

Alcione Gomes Moraes (UEPB)

Claudiomir Silva Santos (IFSULMINAS)

Djail Santos (CCA-UFPB)

Dermeval Araújo Furtado (CTRN-UFCG)

Flávio Pereira de Oliveira (CCA-UFPB)

George do Nascimento Ribeiro (CDSA-UFCG)

Gypson Dutra Junqueira Ayres (CTRN-UFCG)

João Miguel de Moraes Neto (CTRN-UFCG)

José Nilton Silva (CTRN-UFCG)

José Wallace Barbosa do Nascimento (CTRN-UFCG)

Lúcia Helena Garófalo Chaves (CTRN-UFCG)

Luciano Marcelo Fallé Saboya (CTRN-UFCG)

Newton Carlos Santos (UFRN)

Paulo da Costa Medeiros (CDSA-UFCG)

Paulo Roberto Megna Francisco (CTRN-UFCG)

Raimundo Calixto Martins Rodrigues (DEAG-UEMA)

Soahd Arruda Rached Farias (CTRN-UFCG)

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva (CTRN-UFCG)

Viviane Farias Silva (CSTR-UFCG)

Risco de Salinidade das Terras de Parte de Região Continental Brasileira

Paulo Roberto Megna Francisco
George do Nascimento Ribeiro
José Hugo Simplicio de Sousa
José Nilton Silva
Luciano Fallé Saboya
Franciele Simões do Nascimento
Fernanda Pessoa de Sousa
Walter Belarmino da Silva Filho
Mikarla Baia de Sousa

Risco de Salinidade das Terras de Parte de Região Continental Brasileira



1.a Edição
Campina Grande-PB
2024

REALIZAÇÃO



APOIO



COLABORADORES

Fábio Andrey Pimentel São Mateus
José Ivaldo de Moraes
Júlio César de Medeiros Nascimento
Luciana Leal de Alencar
Manoel Domiciano Dantas Filho
Maria do Socorro Lima Dantas
Pedro Thiago Nunes Bezerra
Renan Nicolau Ribeiro da Rocha
Vanessa Fernandes de Oliveira
Victor Santos Gonçalves

SUMÁRIO

Introdução.....	6
<i>Salinidade das águas subterrâneas.....</i>	<i>7</i>
<i>Salinidade das águas superficiais</i>	<i>8</i>
<i>Agricultura irrigada.....</i>	<i>8</i>
<i>Qualidade das águas e seus parâmetros.....</i>	<i>9</i>
<i>Salinidade dos Solos</i>	<i>10</i>
<i>Qualidade das águas para irrigação.....</i>	<i>10</i>
<i>Estudo Espacial.....</i>	<i>11</i>
<i>Variabilidade geoestatística</i>	<i>12</i>
<i>B-spline multinível (MBS)</i>	<i>12</i>
<i>Pesquisas Atuais.....</i>	<i>13</i>
Objetivos da Pesquisa	14
Caracterização da área de estudo.....	15
Material e Métodos.....	18
<i>Águas subterrâneas.....</i>	<i>18</i>
<i>Águas superficiais</i>	<i>21</i>
<i>Salinidade dos Solos</i>	<i>23</i>
Resultados e Discussão.....	26
<i>Salinidade das águas subterrâneas.....</i>	<i>26</i>
<i>Salinidade das águas superficiais</i>	<i>36</i>
<i>Risco a Salinidade das Terras à Irrigação</i>	<i>45</i>
Conclusão.....	51
Referências Bibliográficas.....	53
Anexos.....	79
<i>Classificação das águas subterrâneas para fins de irrigação.....</i>	<i>79</i>
<i>Classificação das águas superficiais para fins de irrigação.....</i>	<i>81</i>
Curriculum dos Autores.....	83
Curriculum dos Colaboradores	86



INTRODUÇÃO

A crescente demanda por água está fazendo com que os países maximizem o uso de suas reservas de água. Neste contexto, alternativas têm sido usadas para aumentar a disponibilidade de água, principalmente para a procura rural difusa existente nas zonas áridas e semiáridas (LIMA et al., 2013).

A água dentre os recursos naturais é o mais importante, pois ela é um bem essencial para a sobrevivência de todas as espécies do planeta, sendo também o recurso natural que mais enfrenta problemas em termos de qualidade e quantidade (BATISTA et al., 2014). Das águas superficiais disponíveis no mundo, o Brasil é privilegiado por deter aproximadamente 12% desse recurso, os quais estão distribuídos de maneira irregular entre as regiões (TOLEDO, 2004).

Todos os mananciais de água de irrigação possuem sais minerais dissolvidos. Sua composição e concentração, entretanto, são variáveis conforme a fonte de água, sendo que muitos desses sais são benéficos às culturas. No entanto, a alta concentração desses elementos

pode restringir ou mesmo inviabilizar o cultivo de lavouras, além de apresentar íons em concentrações tóxicas (SILVA, 2004).

No Nordeste brasileiro, a qualidade das águas que podem ser utilizadas em irrigação é muito variável, tanto em termos geográficos como ao longo do ano, principalmente em pequenos açudes. Com a utilização de águas com níveis mais altos de condutividade elétrica, comumente encontrados no final do período de estiagem, há sérios riscos de salinização dos solos a serem irrigados, com prejuízos, também, para as culturas (COSTA & GHEYI, 1984; LARAQUE, 1989; AUDRY & SUASSUNA, 1990).

A avaliação da qualidade da água de irrigação, relativa à salinidade, é ferramenta necessária ao planejamento da exploração desse recurso e ao manejo empregado, caso esta água se destine à irrigação (ANDRADE JÚNIOR et al., 2006; ZAMBERLAN et al., 2013).

SALINIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O uso atual das águas subterrâneas no Brasil é feito por 2,5 milhões de poços tubulares que extraem apenas 2% da recarga efetiva, demonstrando seu grande potencial para atender às demandas futuras no campo e nas cidades (HIRATA & SUHOGUSOF, 2019). As águas subterrâneas constituem uma reserva estratégica. Hoje, representa um fator competitivo no mercado global (ANDRADE et al., 2009).

As águas subterrâneas ocorrem preenchendo as zonas de fraqueza das rochas (fendas e fraturas) formando um aquífero fissural que, embora seja em geral referido como de baixo potencial hidrogeológico e com problemas de salinização, tem um papel muito importante no suprimento de população rural e uso na pecuária, notadamente naqueles setores fora da área de influência de reservatórios superficiais ou barragens (COSTA, 2002). Nas regiões interioranas, especialmente nas regiões áridas/semiáridas, as águas subterrâneas constituem a maior fonte disponível de água doce (DEHBANDI et al., 2019; MORRIS et al., 2003; VAN LOON & DUFFY, 2011) e está ganhando cada vez mais importância como fonte de abastecimento de água para usos domésticos, industriais e agrícolas (BOVOLO et al., 2009; GLEICK, 2009; KAREN et al., 2017).

Considerando as características geológicas da região semiárida brasileira, os aquíferos aluviais são essenciais para a agricultura e a economia doméstica (ANDRADE et al., 2014; FONTES JÚNIOR & MONTENEGRO, 2017; MONTENEGRO et al., 2010). No Nordeste brasileiro existem milhares de poços e açudes cujas águas são utilizadas para irrigação, representando

um importante insumo na cadeia produtiva; no entanto, sua qualidade varia no tempo e no espaço. O uso de água de má qualidade pode trazer danos ao meio ambiente, com sérios reflexos socioeconômicos (SILVA JR. et al., 1999). De acordo com Andrade et al. (2012), o conhecimento da qualidade da água subterrânea relativo à concentração salina e de como ela está espacialmente distribuída, é necessário ao planejamento da exploração e ao manejo das águas do aquífero, a fim de garantir sua sustentabilidade e prevenir a degradação dos recursos hídricos.

SALINIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

O conhecimento da composição iônica da água é primordial quando se deseja avaliar sua qualidade para fins agronômicos e, mais especificamente, para uso na irrigação (MAIA et al., 2001; ANDRADE et al., 2006; MEIRELES, 2007). Ayers e Westcot (1999), afirmam que um dos principais problemas de qualidade de água para irrigação é a salinidade, pois o excesso de sais no solo reduz a disponibilidade da água para as plantas, e que as águas salinas utilizadas na irrigação podem representar risco para produção agrícola das culturas. Vysotskaya et al. (2010) afirmam que a salinidade é considerada fator ambiental que pode inibir severamente o crescimento das plantas e produtividade agrícola.

AGRICULTURA IRRIGADA

Para fins de uso na agricultura irrigada, os parâmetros físico-químicos e a salinidade são muito importantes na avaliação da qualidade da água (HOLANDA et al., 2016; SOUZA & RIBEIRO, 2019). A qualidade da água para fins agrícolas é um termo que se utiliza para indicar a conveniência ou limitação de seu uso para fins de irrigação onde, faz-se necessário à sua avaliação para posterior planejamento e manejo da irrigação (CARNEIRO et al., 2012). Além de água em quantidade, a qualidade é outro aspecto muito importante a se considerar na irrigação, pois a adequação da água não depende unicamente do teor total, mas, também, de seus tipos (AYERS & WESCOTT, 1999).

A RAS determina a sodicidade da água de irrigação, considerando a proporção de sódio em relação ao cálcio e magnésio. Este sódio presente na água de irrigação tende a elevar a porcentagem de sódio trocável no solo (PST), afetando a capacidade de infiltração deixando os

solos com certa dificuldade de ser manejado, pois suas características físicas (porosidade, permeabilidade entre outras) são afetadas diretamente (CAVALCANTE, 2012).

Thorne e Rickeenback (1972), relatam que a condutividade elétrica (CE), que representa uma medida indireta da concentração total de sais solúveis, e a relação de adsorção de sódio (RAS), constituem os principais parâmetros de classificação e qualidade das águas para irrigação (NUNES FILHO et al., 2000). Ribeiro et al. (2005) afirmam que, a condutividade elétrica é a variável mais empregada para se avaliar o nível de salinidade, ou a concentração de sais solúveis na água de irrigação e no solo.

QUALIDADE DAS ÁGUAS E SEUS PARÂMETROS

A qualidade das águas subterrâneas pode variar no tempo e no espaço, e se sabe que na época de estiagem seus níveis de sais são mais elevados, quando também são mais altas as temperaturas e a evapotranspiração, com as culturas exigindo maior suprimento de água (MEDEIROS, 1992; SILVA JÚNIOR et al., 1999). De acordo com Souza et al. (2008) e Cichota et al. (2003), trabalhos que enfocam a variabilidade espacial de propriedades físicas, químicas e hidráulicas de solos têm grande relevância na literatura, principalmente como subsídio para o manejo racional de água e solo em perímetros irrigados.

Para irrigação, conforme Ayers e Wescott (1999), a adequação da água não depende unicamente do teor total, mas, também, de seus tipos. A classificação proposta pelos técnicos do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos é baseada na condutividade elétrica (CE) como indicadora do risco de salinização do solo e na RAS como indicadora do perigo de sodicidade do solo (BERNARDO, 1995). Nunes Filho et al. (2000) relatam que, a condutividade elétrica (CE), que representa uma medida indireta da concentração total de sais solúveis, e a relação de adsorção de sódio (RAS), constituem os principais parâmetros de classificação e qualidade das águas para irrigação. Ribeiro et al. (2005) afirmam que, a condutividade elétrica é a variável mais empregada para se avaliar o nível de salinidade, ou a concentração de sais solúveis na água de irrigação e no solo.

SALINIDADE DOS SOLOS

O crescimento em larga escala da agricultura irrigada nas regiões secas do globo, nas últimas décadas, vem promovendo a substituição de baixas taxas de evapotranspiração, por altas taxas; em uma superfície de aproximadamente 110 milhões de hectares (WICHELNS et al., 2002). A salinização tem sido identificada como o principal processo de degradação dos solos em áreas agrícolas (FAO, 2015). Este problema é mais eminente na região Nordeste, a qual possui uma área de 155 milhões de hectares, sendo que 52% dessa superfície está no semiárido (ANDRADE, 2009; OLIVEIRA et al., 2010). Solos de regiões áridas e semiáridas podem apresentar acúmulo de sais prejudicial ao crescimento das plantas, decorrente de processos naturais de salinização ou da contribuição humana, pelo manejo inadequado da irrigação (SILVEIRA et al., 2001). Apesar dos avanços tecnológicos, milhões de hectares continuam sendo salinizados contribuindo severamente para a redução da produção agrícola mundial (KHAN & ABDULLAH, 2003).

O problema da salinidade em áreas irrigadas é de grande importância ambiental e econômica, pois pode causar a redução da produtividade do solo em um primeiro momento, e a total perda de produtividade com o passar dos anos. Os efeitos adversos da salinidade sobre as plantas constituem um dos fatores limitantes da produção agrícola, devido principalmente, ao aumento do potencial osmótico do solo e toxidez resultante da concentração salina e dos íons específicos (CORDEIRO, 1988).

A qualidade da água utilizada na irrigação depende da região, zona climática, percurso anterior da água, fonte de água, da geologia e do desenvolvimento da irrigação (SHALHEVETE & KAMBUROV, 1976; ARAÚJO NETO et al., 2016).

QUALIDADE DAS ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO

A avaliação da água para irrigação fundamenta-se na identificação de suas características químicas e de possíveis problemas relativos ao risco de salinização dos solos, de infiltração e de toxicidade de íons, indicando se a água pode ou não ser utilizada para irrigação (SANTOS, 2000).

Diversos métodos para a avaliação da qualidade de águas para uso agrícola mediante suas características hidroquímicas foram propostos, com enfoque na influência do sódio na salinização das águas (RICHARDS 1954; WILCOX, 1955; KELLEY 1963; DONEEN, 1964;

PALIWAL, 1972). Um dos efeitos de altas concentrações de sódio em águas que servem a irrigação é o acúmulo desse íon no solo após processos de precipitação desencadeada pela evaporação da água. Esse fenômeno e suas consequências são abordados por vários autores, os quais evidenciam como a degradação dos solos por processos de sodificação e salinização acaba alterando propriedades como a permeabilidade, além de prejudicar a estrutura física do solo (ISLAM et al., 2017; BATARSEH, 2017; BORTOLINI et al., 2018; TOMAZ et al., 2020; SINGH et al., 2020; CARVALHO, 2021).

Oliveira e Maia (1998), ressaltam que o potencial risco de salinização do solo pode ser definido segundo a determinação da condutividade elétrica da água e do pH. Da mesma forma, a razão de adsorção de sódio (RAS) (RICHARDS, 1954). Para Sposito e Mattigod (1977), a RAS é a primeira característica a ser considerada para avaliar o possível risco de sodicidade da água de irrigação aplicada ao solo.

ESTUDO ESPACIAL

O estudo espacial é uma poderosa ferramenta que tem contribuído cada vez mais para as pesquisas. Uma de suas aplicações é a elaboração de mapas temáticos que permitam analisar a variável em estudo e o seu comportamento no espaço. Esse artifício é cada vez mais utilizado para definir zoneamentos e, assim, identificar subáreas para traçar estratégias de manejo inovador dos recursos naturais (FERREIRA et al., 2015), servindo de instrumento eficiente para todas as áreas do conhecimento que fazem uso de mapas, possibilitando integrar em uma única base de dados, informação representando vários aspectos do estudo de uma região (ROSA & BRITO 1996; LOPES et al., 2008). De acordo com Lopes et al. (2008), o uso do SIG objetiva servir de instrumento eficiente para todas as áreas do conhecimento possibilitando integrar em uma única base de dados, informação representando vários aspectos do estudo de uma região.

Pesquisas que enfocam a variabilidade espacial de propriedades físicas, químicas e hidráulicas de solos têm grande relevância na literatura, principalmente como subsídio para o manejo racional de água e solo em perímetros irrigados (CICHOTA et al., 2003). Uma ferramenta para auxílio ao processo decisório em políticas de gestão de recursos hídricos são os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (CÂMARA & QUEIROZ, 2008).

VARIABILIDADE GEOESTATÍSTICA

Os fenômenos naturais apresentam frequentemente uma certa estruturação nas variações entre vizinhos, e também uma observação realizada em um determinado tempo guarda semelhança com realizações observadas em tempos futuros. Desta forma, pode-se dizer que as variações não são aleatórias e, portanto, apresentam algum grau de dependência espacial e/ou temporal (SILVA et al., 2007).

Montenegro et al. (2001) afirmam que, a análise da variabilidade espacial é possível através de metodologia geoestatística, baseada na estrutura de correlação espacial da variável em estudo. Vários autores (VIEIRA et al., 1981; VIEIRA et al., 1983; TRANGMAR et al., 1985; SOUZA et al., 1998; SALVIANO et al., 1998; OLIVEIRA et al., 1999; BERG & OLIVEIRA, 2000) têm mostrado, através das técnicas geoestatísticas, que a variabilidade não é puramente aleatória, apresentando correlação ou dependência espacial. De acordo com Pessoa (2006), a utilização de ferramentas geoestatísticas, além de identificar a possível existência de dependência espacial entre as observações, pode ser aplicada em mapeamento, orientação de futuras amostragens e modelagem.

B-SPLINE MULTINÍVEL (MBS)

Dentre os procedimentos geoestatísticos, se destaca como a técnica do algoritmo B-spline multinível (MBS) para interpolação espacial de dados dispersos. O algoritmo faz uso de uma hierarquia grosseira à fina de redes de controle para gerar uma sequência de funções B-spline bicúbicas, cuja soma se aproxima da função de interpolação desejada em que, grandes ganhos de desempenho são obtidos usando o refinamento do B-spline para reduzir a soma dessas funções em uma função B-spline equivalente (LEE et al., 1997).

De acordo com Kelton et al. (2007), a simulação é uma ampla coleção de métodos e aplicações que pode ser utilizada para imitar o comportamento de sistemas reais. É utilizada em diversas áreas para analisar sistemas que são complicados de serem estudados via métodos analíticos, tais como cálculo, probabilidade e estatística, ou teoria das filas (GOLDSMAN, 2007).

PESQUISAS ATUAIS

Diversos autores têm realizado estudos sobre a qualidade das águas subterrâneas para irrigação no Brasil, como por Silva et al. (2003) e Andrade Júnior et al. (2006) no Piauí; Costa et al. (2006), Lima et al. (2019), no Rio Grande do Norte; em Pernambuco Montenegro et al. (2001), Souza et al. (2006), Fernandes et al. (2009), Andrade et al. (2012), Cary et al. (2013; 2015), Fontes Júnior e Montenegro (2017) e Almeida et al. (2024); na Paraíba por Albuquerque (1986), Lima et al. (2004), Ceballos et al. (2006), Azevedo et al. (2012) e Francisco et al. (2024); no Ceará por Andrade et al. (2008; 2010), Kreis et al. (2024).

Quanto a salinidade das águas superficiais para irrigação, diversos autores desenvolveram pesquisas como por Silva Júnior et al. (2000) e Nunes Filho et al. (2000) para Pernambuco, Barroso et al. (2011), Araújo Neto et al. (2014) e Costa et al. (2017) para o Estado do Ceará, Brito et al. (2003) para o Estado da Bahia, Tavares (2018) para o Rio Grande do Norte, Oliveira et al. (2005), Dantas Neto et al. (2009), Ferreira et al. (2014), Chaves et al. (2015), Mendes et al. (2018) e Francisco et al. (2024) para a Paraíba.

Em diversos países foram avaliados o risco de salinização utilizando diversos modelos de simulação em combinação com sistemas de informação geográfica (SIG), como na Espanha por Paz et al. (2006); na China por Zhang et al. (2011), Wang et al. (2019; 2020), Lin et al. (2023); na Hungria por Bakacsi et al. (2019); na Tunísia por Bouksila et al. (2013) e Besser et al. (2017); na Itália por Zaccaria et al. (2016); em Portugal por Tomaz et al. (2020); na Índia por Singh (2022); no Canadá por Wiebe et al. (2007); na Suíça por Eriksson et al. (2018); por Tigrine et al. (2023) na Argélia; e no Uzbequistão por Kulmatov et al. (2020).

Trabalhos em diversas áreas utilizaram técnicas de modelagem como Lee et al. (2005a; 2005b), por Polizelli Júnior (2008), Osorio et al. (2011), Jiang e Zhang (2013), Fanti (2016), Moon e Ko (2018); Lyche et al. (2018), Sabino e Macedo (2019), Noël et al. (2020), Cano (2022), Kaya et al. (2021) e Francisco et al. (2023), em que obtiveram excelentes resultados.



OBJETIVOS DA PESQUISA

Portanto, este trabalho objetiva estimar e mapear a salinidade das águas subterrâneas e superficiais para fins de irrigação como também o risco de salinidade das terras de parte da região continental brasileira através de modelo paramétrico simplificado utilizando técnicas de modelagem e inferência.



CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a região Nordeste e os Estados de Minas Gerais, Maranhão e Amapá com diversidade de ambientes, biomas, vegetação, elevação (Figura 1a), solos, e tipos de clima (Figura 1b) e precipitação pluviométrica (Figura 1c). De acordo com Alvares et al. (2013), na área de estudo, o clima é formado pelos tipos Af, Aw, As, BSh, Cwa e Cwb.

O Brasil é um país megadiverso onde seu território abrange 6 biomas únicos denominados Amazônia, Cerrado, Caatinga, Pampa, Pantanal e Mata Atlântica, em que possuem características distintas em termos de estrutura e composição da vegetação, características físicas e químicas do solo, disponibilidade de água, biodiversidade com ecossistemas endêmicos, condições climáticas e atividades de uso da terra (SOUZA JR et al., 2020).

Os ambientes tropicais caracterizam-se pela elevada incidência de radiação solar, insolação e temperatura. Quanto mais próximo do Equador, mais crítica é a incidência, como é o caso das regiões Norte, Nordeste e Centro-oeste do Brasil (BAYER, 2004; BLEY JR., 1999). Quanto a precipitação, a América do Sul, como tem grande parte do seu território em área tropical, recebe anualmente volumes elevados de precipitação. Além disso, há grande variabilidade temporal e espacial da precipitação (REBOITA et al., 2010; MONTEIRO et al., 2021; REBOITA & AMBRIZZI, 2022).

Quanto a caracterização geológica (Figura 2a), a margem continental brasileira está dividida em três províncias fisiográficas distintas, a Plataforma continental Amazonas-Maranhão, incluindo a Cone Amazônico; a plataforma continental da costa norte-nordeste,

abrangendo Barreirinhas, Ceará, Potiguar, Recife-João Pessoa, Sergipe-Alagoas, ao Sul bacias da Bahia e Jequitinhonha; leste-sudeste plataforma continental costeira, na qual se situam as zonas costeiras e bacias marítimas de Cumuruxatiba, Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas. A seção estratigráfica brasileira conta com oito unidades principais, o Escudo Brasileiro Pré-cambriana, composto por rochas metamórficas dobradas e ígneas intrusivos; e cobertura de plataforma metassedimentar do Pré-cambriano ao Cambro-Ordoviciano, e seis sequências litoestratigráficas: duas paleozóicas, duas mesozóicas e duas cenozóicas em idade, delimitadas por discordâncias inter-regionais (CAMPOS et al., 1974). O território do Brasil coincide quase inteiramente com a Plataforma Sul-Americana, o núcleo cristalino do continente. Seu embasamento é composto por antigas rochas metamórficas e ígneas e não sofreu nenhuma regeneração tectônica desde o início do Fanerozóico. Rochas sedimentares com estratificação quase horizontal cobrem este embasamento cristalino (ALMEIDA et al., 1981).

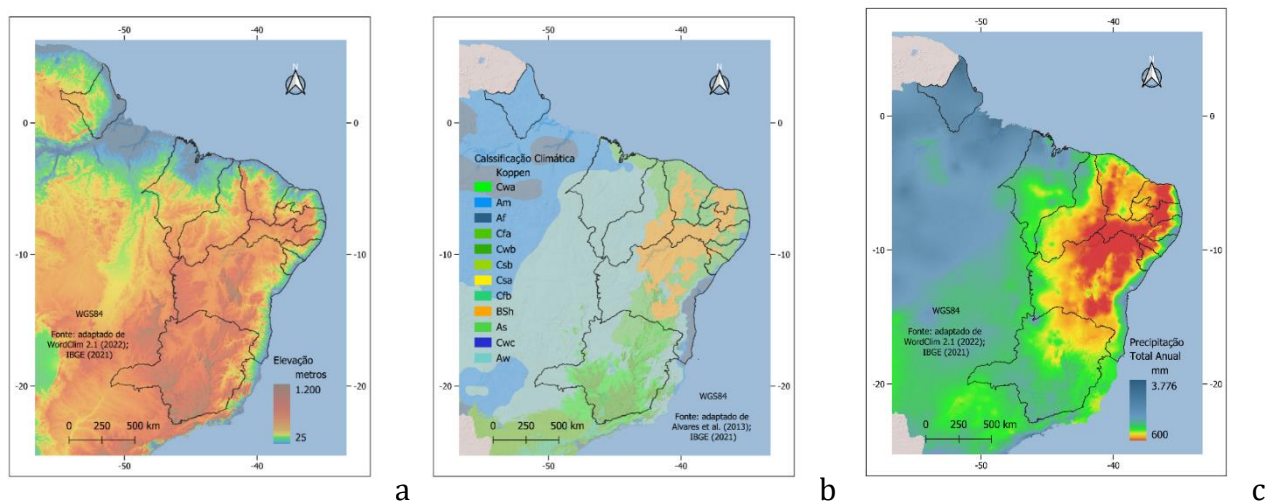


Figura 1. Elevação (a); Classificação climática de Köppen (b); Precipitação total (c).

Fonte: adaptado de WorldClim® 2.1 (2022); Alvares et al. (2013); IBGE (2021).

O Brasil possui uma grande diversidade de solos em sua extensão continental (Figura 2b), decorrente da ampla diversidade de pedoambientes e de fatores de formação do solo. Predominam os Latossolos, Argissolos e Neossolos, que no conjunto se distribuem em aproximadamente 70% do território nacional. As classes Latossolos e Argissolos ocupam aproximadamente 58% da área e são solos profundos, altamente intemperizados, ácidos, de baixa fertilidade natural e, em certos casos, com alta saturação por alumínio. Também ocorrem solos de média a alta fertilidade, em geral pouco profundos em decorrência de seu baixo grau de intemperismo. Estes se enquadram principalmente nas classes dos Neossolos, Luvisolos, Planossolos, Nitossolos, Chernossolos e Cambissolos (SANTOS, 2010).

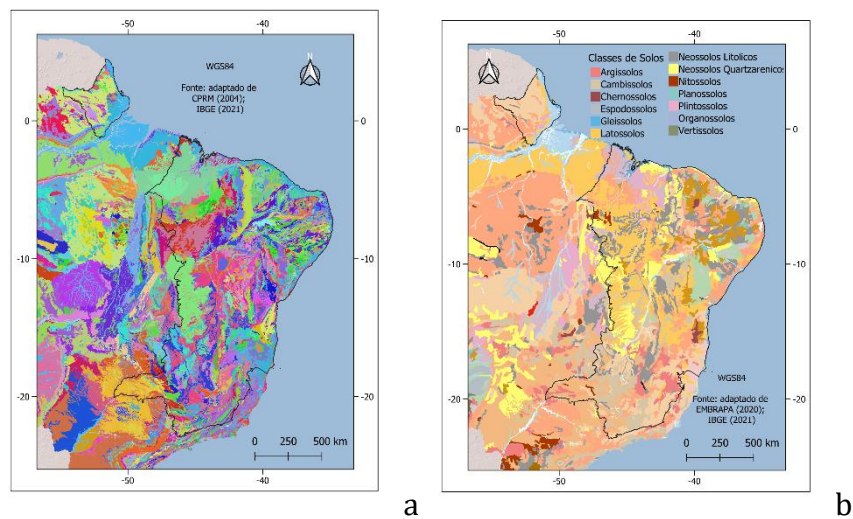


Figura 2. Geologia da área de estudo (a), Solos da área de estudo (b).

Fonte: adaptado de CPRM (2004); EMBRAPA (2020); IBGE (2021).



MATERIAL E MÉTODOS

ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Na metodologia deste trabalho foram utilizados dados obtidos no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS® do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM, 2024), entre 1962 a 2004 totalizando 12.129 poços distribuídos por 1.223 municípios da área de estudo, dados estes de Condutividade Elétrica (CE) em $\mu\text{mohs/cm}$, os parâmetros de Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Sódio (Na^{+}) em meqL^{-1} .

Utilizando planilha Excel® foram inseridos os dados obtidos e após, utilizando o QGIS® 3.36 foram importados e geoespacializados utilizando a interpolação B-Spline Multinível (MBS) através do plugin SAGA® gerando imagens no formato *raster* com células de 1 km^2 , com limiar de erro de 0,0001 e 11 como nível máximo. Método de interpolação em que, à medida que a hierarquia avança de nível, o controle de látex aplicado por cada multinível suaviza e interpola o conjunto de pontos que compõem a superfície, gerando uma representação aproximada da

realidade (LEE et al., 2005). Em seguida foram classificados de acordo com a Tabela 1, mapeados e recortados utilizando os limites da área de estudo (IBGE, 2021). Utilizando a calculadora *raster* do QGIS® foi determinado a Razão de Adsorção de Sódio (RAS), de acordo com a Equação 1.

$$RAS = Na^+ / [(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / 2]^{0,5} \text{ (Eq.1)}$$

Em seguida, com o objetivo de verificar o comportamento dos dados foi realizada a estatística descritiva dos dados obtidos utilizando o plugin SAGA®.

Após, utilizando o software QUALIGRAF® (MÖBÜS, 2003), desenvolvido e disponibilizado pela FUNCEME, foi realizada a classificação da água subterrânea para fins de irrigação utilizando-se a classificação proposta pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (USSL), que leva em consideração a CE e a RAS, para os riscos de salinização e/ou sodificação da água (RICHARDS, 1954) (Tabela 1). Para a Relação de Adsorção de Sódio (RAS) utiliza este parâmetro numa combinação de intervalos de valores de RAS com CE da água, sendo dado o grau de restrição de uso da água para irrigação, quanto ao risco de sodificação do solo (AYERS & WESTCOT, 1999). Quanto ao risco de salinidade, as águas são classificadas em C₁ - águas com baixa salinidade, C₂ - águas com salinidade média, C₃ - águas com salinidade alta e C₄ - águas com salinidade muito alta. Quanto ao risco de sodicidade as águas são divididas em quatro classes segundo a RAS: S₁ - águas com baixa concentração de sódio, S₂ - águas com concentração média de sódio, S₃ - águas com alta concentração de sódio e S₄ - águas com muito alta concentração de sódio (BERNARDO, 1995).

Os valores de classificação obtido para os pontos foram geoespacializados utilizando-se a interpolação B-Spline Multinível (MBS) através do plugin SAGA® do QGIS® 3.36. Em seguida as imagens *raster* foram transformados em formato vetorial, classificada e recortado em seus limites conforme Tabela 1. Após, com o objetivo de realizar o cálculo das áreas, foi utilizado o plugin *r.report* do GRASS®.

Tabela 1. Classificação do risco de salinização das águas para irrigação

Condutividade Elétrica CE (µmohs/cm)			Razão de Adsorção de Sódio RAS			Risco de Sódio	Risco de Salinização (mg/L)	
Class e	Tipo de Água com Salinidade	Valor	Classe	Concentração de Sódio	Valor	Classe	Classe	Valor
							Nulo	0-64
C1	Baixa	100-250	S1	Baixa	0-10	Baixo	Baixo	64-160
			S2	Média	10-18	Médio		
			S3	Alta	18-26	Forte		
			S4	Muito Alta	> 26	Muito Forte		
C2	Média	250-750	S1	Baixa	0-8	Baixo	Médio	160-480
			S2	Média	8-15	Médio		
			S3	Alta	15-22	Forte		
			S4	Muito Alta	> 22	Muito Forte		
C3	Alta	750-2.250	S1	Baixa	0-7	Baixo	Alto	480-1.440
			S2	Média	7-13	Médio		
			S3	Alta	13-19	Forte		
			S4	Muito Alta	> 19	Muito Forte		
C4	Muito Alta	2.250-5.000	S1	Baixa	0-5	Baixo	Muito Alto	1.440-3.400
			S2	Média	5-10	Médio		
			S3	Alta	10-15	Forte		
			S4	Muito Alta	> 15	Muito Forte		
C5	Excepcional-mente Alta	5.000-20.000	S1	Baixa	0-3	Baixo	Excepcionalm-ente Alto	3.400-12.800
			S2	Média	3-8	Médio		
			S3	Alta	8-12	Forte		
			S4	Muito Alta	> 12	Muito Forte		

Fonte: adaptado de Ayers e Westcot (1999).

No tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados e o teste de normalidade utilizando o software RStudio® v.2022 Para avaliação dos dados das amostras de água foi utilizado a regressão clássica, conforme o modelo de regressão (Equação 2).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon_i \text{ (Eq.2)}$$

Onde: Y_i é uma observação da variável dependente; $X_1, X_2, \dots, X_n$ são as variáveis independentes; $\beta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ são referidos como coeficientes de regressão correspondentes, e ε_i é o erro associado às observações da variável dependente.

Para verificar se as amostras procediam de uma determinada distribuição de probabilidade, foram usados os testes de hipóteses não paramétricos Anderson-Darling (1954), Lilliefors (1967), Jarque-Bera (1987). Na elaboração de correlação paramétrica foi utilizado a metodologia de correlação de Spearman (1904). Buscou-se identificar uma correlação entre o RAS e o CE utilizando o método de Pearson (1895).

ÁGUAS SUPERFICIAIS

Na metodologia deste trabalho foram utilizados dados obtidos em diversas pesquisas entre 1991 a 2024 totalizando 1.290 amostras de análises de águas superficiais de açudes e rios distribuídos por toda área de estudo, dados estes de Condutividade Elétrica (CE) em $\mu\text{mohs/cm}$, e os parâmetros de Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Sódio (Na^+) em meqL^{-1} .

Utilizando planilha Excel® foram inseridos os dados obtidos e após, utilizando o QGIS® 3.38 foram importados e geoespacializados utilizando a interpolação B-Spline Multinível (MBS) através do plugin SAGA® gerando imagens no formato *raster* com células de 1 km^2 , com limiar de erro de 0,0001 e 11 como nível máximo. Este é um método de interpolação em que, à medida que a hierarquia avança de nível, o controle de látex aplicado por cada multinível suaviza e interpola o conjunto de pontos que compõem a superfície, gerando uma representação aproximada da realidade (LEE et al., 2005). Em seguida foram classificados de acordo com a Tabela 2, mapeados e recortados utilizando os limites da área de estudo (IBGE, 2021).

Utilizando a calculadora *raster* do QGIS® foi determinado a Razão de Adsorção de Sódio (RAS), de acordo com a Equação 3.

$$\text{RAS} = \text{Na}^+ / [(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / 2]^{0,5} \text{ (Eq.3)}$$

Em seguida, com o objetivo de verificar o comportamento dos dados foi realizada a estatística descritiva dos dados obtidos utilizando o plugin SAGA®.

Após, utilizando o software QUALIGRAF® (MÖBÜS, 2003), desenvolvido e disponibilizado pela FUNCEME, foi realizada a classificação da água subterrânea para fins de irrigação utilizando-se a classificação proposta pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (USSSL), que leva em consideração a CE e a RAS, para os riscos de salinização e/ou sodificação da água (RICHARDS, 1954) (Tabela 2). Para a Relação de Adsorção de Sódio (RAS) utiliza este parâmetro numa combinação de intervalos de valores de RAS com CE da água, sendo dado o grau de restrição de uso da água para irrigação, quanto ao risco de sodificação do solo (AYERS & WESTCOT, 1999). Quanto ao risco de salinidade, as águas são classificadas em C_1 - águas com baixa salinidade, C_2 - águas com salinidade média, C_3 - águas com salinidade alta e C_4 - águas com salinidade muito alta. Quanto ao risco de sodicidade as águas são divididas em quatro classes segundo a RAS: S_1 - águas com baixa concentração de sódio, S_2 - águas com concentração média de sódio, S_3 - águas com alta concentração de sódio e S_4 - águas com muito alta concentração de sódio (BERNARDO, 1995).

Os valores de classificação obtido para os pontos foram geoespacializados utilizando-se a interpolação B-Spline Multinível (MBS) através do plugin SAGA® do QGIS® 3.36. Em seguida as imagens *raster* foram transformados em formato vetorial, classificada e recortado em seus limites conforme Tabela 2. Após, com o objetivo de realizar o cálculo das áreas, foi utilizado o plugin *r.report* do GRASS®.

Tabela 2. Classificação do risco de salinização das águas para irrigação

Condutividade Elétrica CE (µmohs/cm)			Razão de Adsorção de Sódio RAS			Risco de Sódio	Risco de Salinização (mg/L)	
Class e	Tipo de Água com Salinidade	Valor	Classe	Concentração de Sódio	Valor	Classe	Classe	Valor
							Nulo	0-64
C1	Baixa	100-250	S1	Baixa	0-10	Baixo	Baixo	64-160
			S2	Média	10-18	Médio		
			S3	Alta	18-26	Forte		
			S4	Muito Alta	> 26	Muito Forte		
C2	Média	250-750	S1	Baixa	0-8	Baixo	Médio	160-480
			S2	Média	8-15	Médio		
			S3	Alta	15-22	Forte		
			S4	Muito Alta	> 22	Muito Forte		
C3	Alta	750-2.250	S1	Baixa	0-7	Baixo	Alto	480-1.440
			S2	Média	7-13	Médio		
			S3	Alta	13-19	Forte		
			S4	Muito Alta	> 19	Muito Forte		
C4	Muito Alta	2.250-5.000	S1	Baixa	0-5	Baixo	Muito Alto	1.440-3.400
			S2	Média	5-10	Médio		
			S3	Alta	10-15	Forte		
			S4	Muito Alta	> 15	Muito Forte		
C5	Excepcionalm ente Alta	5.000-20.000	S1	Baixa	0-3	Baixo	Excepcionalm ente Alto	3.400-12.800
			S2	Média	3-8	Médio		
			S3	Alta	8-12	Forte		
			S4	Muito Alta	> 12	Muito Forte		

Fonte: adaptado de Ayers e Westcot (1999).

No tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados e o teste de normalidade utilizando o software RStudio® v.2022 Para avaliação dos dados das amostras de água foi utilizado a regressão clássica, conforme o modelo de regressão (Equação 4).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon_i \text{ (Eq.4)}$$

Onde: Y_i é uma observação da variável dependente; $X_1, X_2, \dots, X_n$ são as variáveis independentes; $\beta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ são referidos como coeficientes de regressão correspondentes, e ε_i é o erro associado às observações da variável dependente.

Para verificar se as amostras procediam de uma determinada distribuição de probabilidade, foram usados os testes de hipóteses não paramétricos Shapiro-Wilk (1965),

Anderson-Darling (1954), Lilliefors (1967), Jarque-Bera (1987) e Mann-Kendall (1967; 1945). Na elaboração de correlação paramétrica foi utilizado a metodologia de correlação de Spearman (1904). Buscou-se identificar uma correlação entre o RAS e o CE utilizando o método de Pearson (1895).

SALINIDADE DOS SOLOS

Foram utilizados dados geoespacializados de Vasques et al. (2020), da salinidade dos solos do Brasil referentes a camada superficial até 30 cm de profundidade (Figura 3a). Foram utilizados dados geoespacializados por Francisco et al. (2024a; 2024b), de salinidade superficial e subterrânea de parte continental brasileira (Figuras 3b e 3c), dados estes de Condutividade Elétrica de Cálcio, Magnésio e Sódio. Estes foram classificados de acordo com Richards (1954), sendo dado o grau de restrição de uso da água para irrigação, quanto ao risco de sodificação do solo de acordo com Ayers e Westcot (1999), e classificadas conforme Bernardo (1995) em C₁ - águas com baixa salinidade, C₂ - águas com salinidade média, C₃ - águas com salinidade alta e C₄ - águas com salinidade muito alta. Quanto ao risco de sodicidade as águas são divididas em quatro classes segundo a RAS: S₁ - águas com baixa concentração de sódio, S₂ - águas com concentração média de sódio, S₃ - águas com alta concentração de sódio e S₄ - águas com muito alta concentração de sódio.

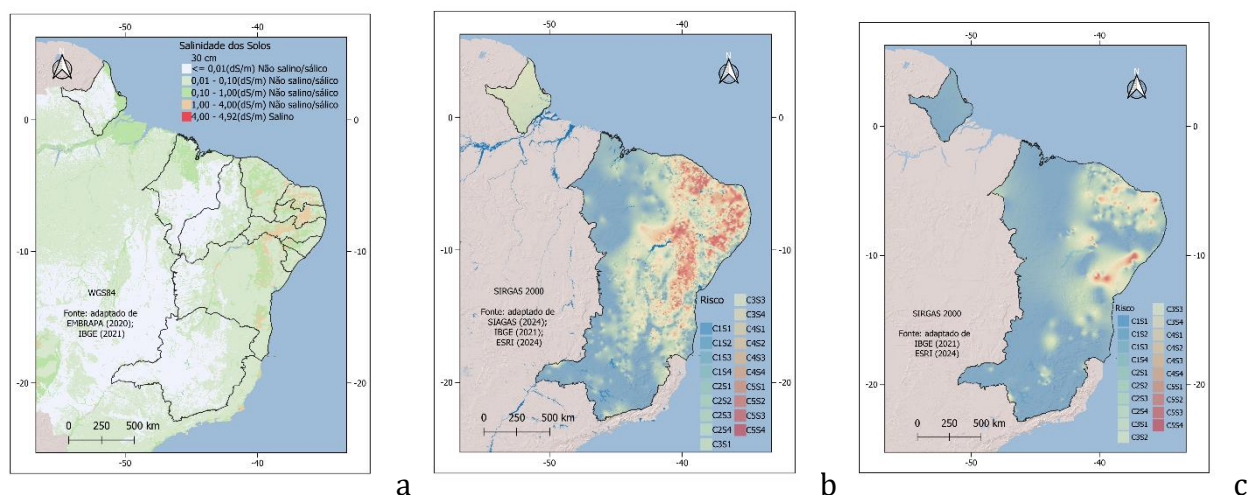


Figura 3. Salinidade dos solos (a), Salinidade das águas subterrâneas (b), Salinidade das águas superficiais (c). Fonte: adaptado de Vasques et al. (2020); Francisco et al. (2024a; 2024b).

Utilizando-se o software QGIS® 3.36 foram importadas as imagens em formato *raster* da salinidade dos solos e das águas superficiais e subterrâneas. A classificação do risco a salinidade foi inferida por modelo paramétrico simplificado denominado Índice de Risco a Salinidade das Terras à Irrigação, utilizando linguagem algébrica através da calculadora *raster* do QGIS® (Equação 5).

$$IRSTI = (SS + SA_{Sub} + SA_{Sup})/3 \text{ (Eq.5)}$$

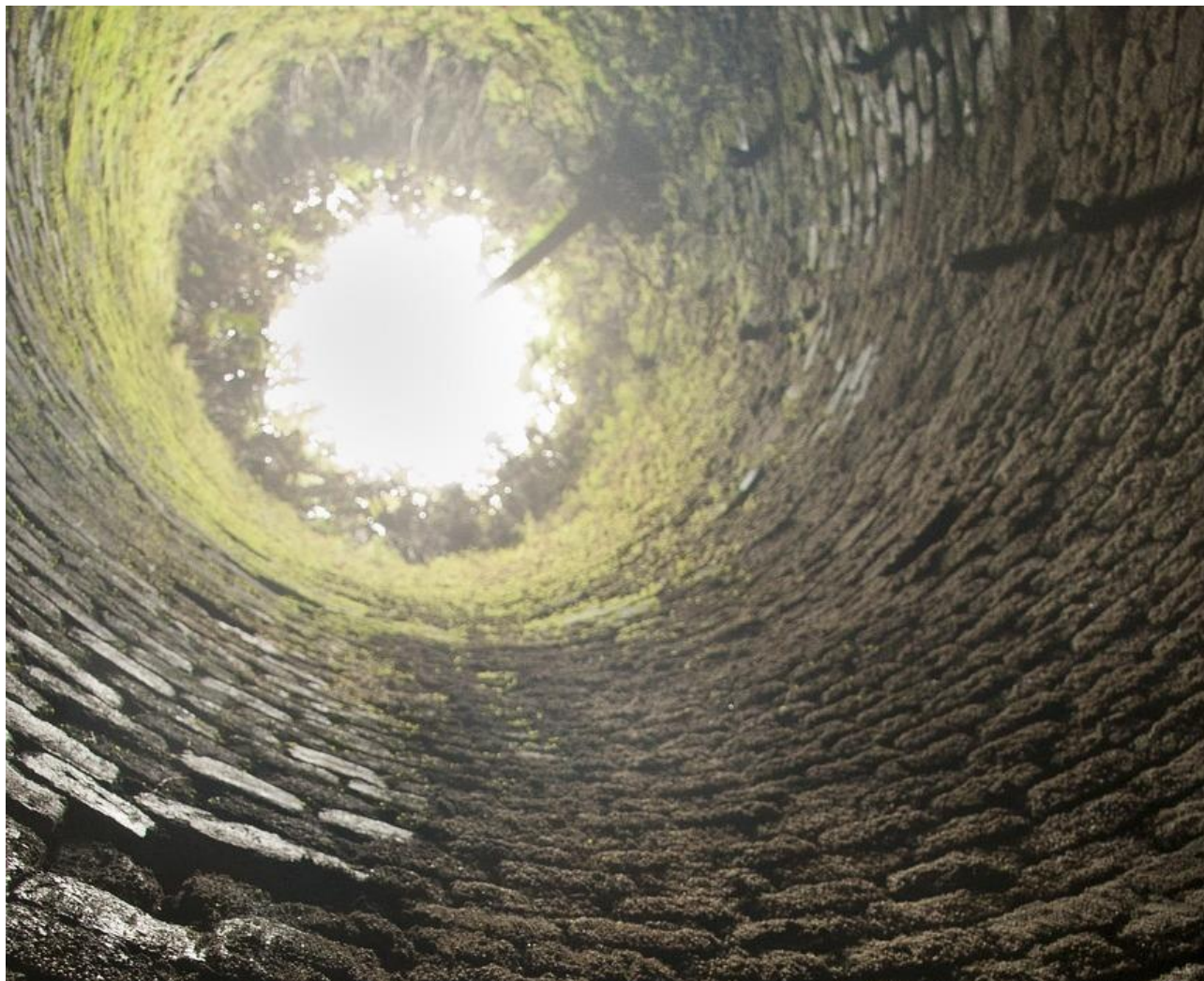
Onde: $IRSTI$ = Índice de Risco a Salinidade das Terras à Irrigação; SS = Salinidade dos Solos; SA_{Sub} = Salinidade das águas subterrâneas; SA_{Sup} = Salinidade das águas superficiais.

Este modelo considera que variáveis/atributos têm como pesos os valores de 0 a 14 e a resultante classe 1 indica risco Baixo (0-3), classe 2 indica risco Médio (3-6), classe 3 infere classe de risco Alto (6-9), classe 4 infere classe de risco Muito Alto (9-12), e a classe 5 denota risco Extremamente Alto (12-14). Para os cálculos de áreas foi utilizada a calculadora *raster* e o plugin GRASS® *r.report*.

No tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados e o teste de normalidade utilizando plugins do software R® Core Team (2024) do QGIS®.

Para verificar se as amostras procediam de uma determinada distribuição de probabilidade, foi usado plugin do R® Core Team (2024) do QGIS® do teste de hipóteses não paramétricos de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 95% adaptado por Lilliefors (1967).

Após, utilizando o plugin *r.covar* do GRASS® foi realizado a covariância entre as variáveis para se obter a matriz de correlação com o objetivo de medir as relações entre elas.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

SALINIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Na Figura 4 pode-se observar a distribuição espacial dos 12.129 pontos de dados obtidos com menor concentração de poços com dados nos Estados do Piauí e Maranhão e nenhum dado no Estado do Amapá, talvez devido a maior disponibilidade hídrica promovida pela pluviosidade regional, neste caso sendo desconsiderado qualquer valor no Amapá. O Estado da Bahia apresenta o maior número de dados devido sua maior extensão territorial, seguido do Ceará (Tabela 3).

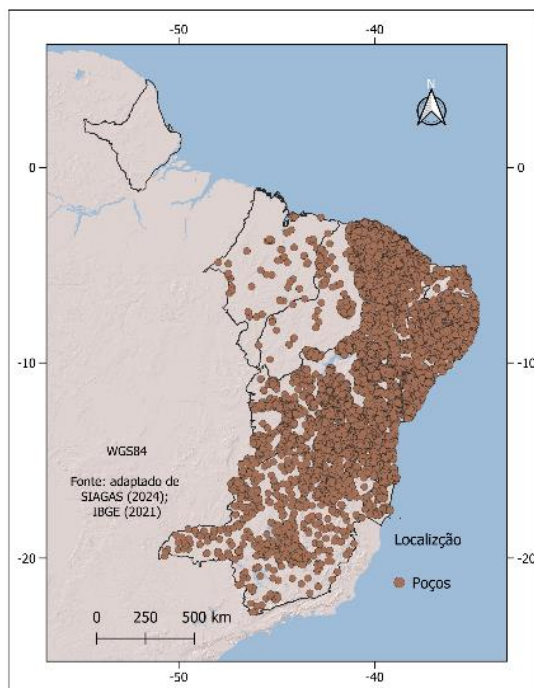


Figura 4. Distribuição espacial dos poços. Fonte: adaptado de SIAGAS (2024); IBGE (2021).

Tabela 3. Dados obtidos

Estado	Dados	Municípios
AL	250	61
BA	6.800	244
CE	2.086	184
MA	71	45
PB	460	115
PE	1.011	136
PI	110	43
RN	115	43
SE	112	45
MG	1.114	307
AP	0	0
Total	12.129	1.223

No mapa da geoespacialização do Na⁺ (Figura 5a), observa-se que os maiores valores se distribuem na região setentrional de toda a região semiárida até os limites dos Estados do Piauí localizados em sua maioria sob o Planalto da Borborema em diversas unidades estratigráficas e litológicas. O Planalto da Borborema é uma das principais faixas de dobramento do Brasil, marcando as rochas com diferentes graus de metamorfismo (NEVES, 2003).

Na Figura 5b, referente ao Ca²⁺, pode-se verificar que os maiores valores se encontram distribuídos por toda a região central do Estado da Bahia, região do Sertão em Sergipe, Alagoas e Pernambuco, na Paraíba e Rio Grande do Norte sob o Planalto da Borborema, e por todo o

Estado do Ceará, adentrando ao sul do Piauí. Os menores valores localizam-se em todo litoral em sua maioria sob solos Sedimentares. De acordo com Lima et al. (2009), os aquíferos sedimentares, por apresentarem melhor poro-permeabilidade, oferecem melhores condições de infiltração e circulação de suas águas subterrâneas, o que influencia de modo decisivo a salinidade. Fernandes et al. (2009), quanto ao Ca^{2+} , obtiveram valores entre 0,9 a 7,2 $\text{mmol}_c\text{L}^{-1}$ em Pernambuco no semiárido.

Quanto ao Mg^{2+} (Figura 5c), apresenta pouca influência em toda a área de estudo com os maiores valores distribuídos na região central da Bahia, Pernambuco e Paraíba, com menor ocorrência nos demais Estados. Na bacia sedimentar do Rio do Peixe, Sertão da Paraíba, Ceballos et al. (2006) observaram valores médios de 17,85 (mg L^{-1}). De acordo com Yaron (1973), a composição de determinada água está de acordo com o tipo de rocha e do solo sobre o qual ela flui e da composição iônica da rocha matriz onde ela é armazenada. Leprun (1983) destaca que, águas oriundas de regiões sedimentares, de baixa salinidade, são principalmente bicarbonatadas, sulfatadas ou mistas, enquanto nas fissuras das rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino, com tendência a águas mais salinas, há predominância unicamente de águas cloretadas de sódio ou magnésio. Silva Jr. et al. (1999), quanto ao teor de magnésio, observaram variação de valores para alguns Estados do Nordeste, para o Rio Grande do Norte entre 1,08 a 1,68; Paraíba entre 2,38 a 5,20 e Ceará entre 1,33 a 5,23 ($\text{mmol}_c\text{L}^{-1}$).

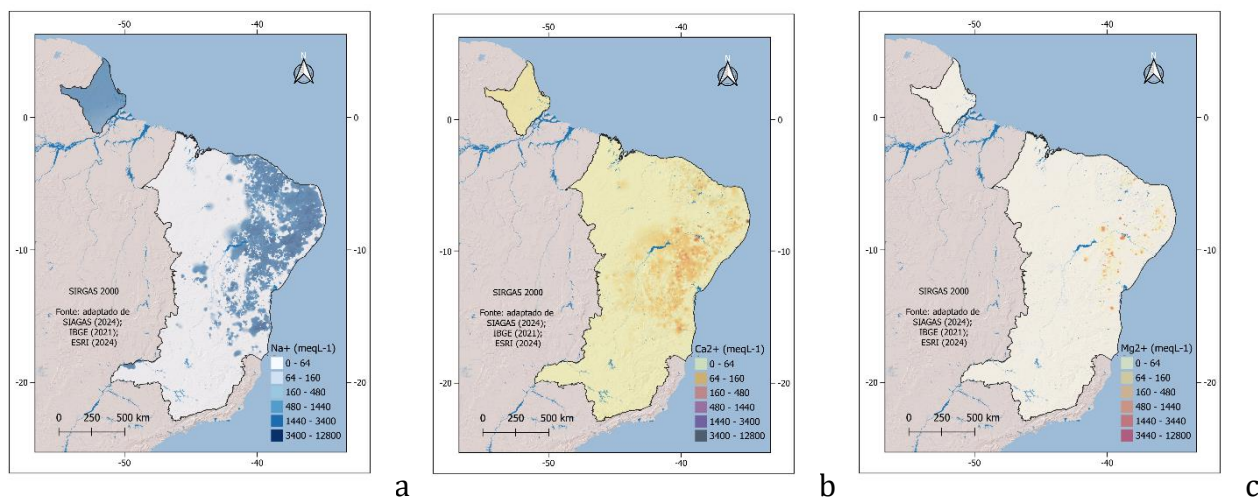


Figura 5. Distribuição espacial, a) Na^+ , b) Ca^{2+} , c) Mg^{2+} (meqL^{-1}).

Fonte: adaptado de SIAGAS (2024); IBGE (2021); ESRI (2024).

Pela Figura 6a, quanto ao CE, pode-se verificar que os maiores valores se distribuem na região setentrional de toda a região semiárida, isto devido as características geológicas da região, com menores valores na região do litorânea, excluindo em sua maioria as áreas dos Estados do Maranhão, Minas Gerais e Piauí. No Estado do Piauí, Andrade Jr. et al. (2006),

obtiveram maiores valores de condutividade elétrica $1,20 \text{ dS m}^{-1}$, presentes ao leste divisa com o Ceará, condizente com a formação geológica da região, representados no afloramento do cristalino, mostrando forte interferência da geologia sobre a qualidade da água subterrânea (SHALHEVET & KAMBUROV, 1976). Em vários estudos como por Leprun (1983), Laraque (1989), Leite (1991), Martins (1993); e Audry e Suassuna (1995), têm-se observado a existência de correlações altamente significativas entre condutividade elétrica e diferentes características químicas das águas utilizadas para irrigação no Nordeste do Brasil. Fernandes et al. (2009), obtiveram valores de CE entre 500 a 4.580 Scm^{-1} , em Pernambuco no semiárido.

Quanto ao RAS (Figura 6b), apresenta-se maior concentração de valores em pequenas áreas esparsas, a oeste de Minas Gerais divisa com Goiás, próximo ao litoral sul da Bahia e divisa com o Piauí, e grande influência na região do Sertão Alagoano, divisa com Pernambuco sob rochas metamórficas. Em Pernambuco no município de Serra Talhada, Fernandes et al. (2009) obtiveram valores de RAS entre $2,12$ a $24,2$. No Agreste da Paraíba, Melo et al. (2016) observaram valores de $0,46$ a $1,4$ em 3 poços.

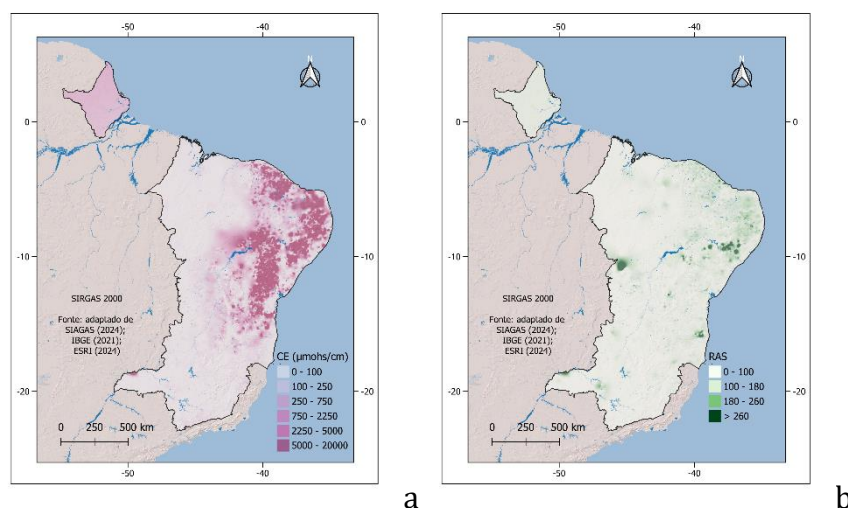


Figura 6. Distribuição espacial, a) CE ($\mu\text{mhos/cm}$), b) RAS (adimensional).

Fonte: adaptado de SIAGAS (2024); IBGE (2021); ESRI (2024).

Na Figura 7, mapa de distribuição espacial do risco de salinidade das águas subterrâneas para fins de irrigação, verifica-se que os maiores valores entre as classes C_4S_1 e C_5S_4 , de muito alto a excepcionalmente alto risco de salinidade, estão localizados na região central semiárida sob o Planalto da Borborema com características geológicas similares e em diversas unidades estratigráficas e litológicas com maior predominância na região central da Bahia, Sertão de Alagoas e Pernambuco, Agreste de Pernambuco e Paraíba, no Rio Grande do Norte na região do Sertão excluindo o Litoral, e no Ceará distribuído pela área central até próximo a região litorânea do Estado.

As classes C_2S_1 a C_3S_4 , de Médio a Alto risco de salinidade, apresentam-se distribuídas espacialmente ao entorno das classes de maiores valores e entre as classes C_1S_1 e C_1S_4 , de Baixo risco, distribuídas por toda a borda da área de estudo, em regiões interioranas do Continente de menor influência da semiaridez do clima. Conforme Lima et al. (2009), a salinidade das águas cresce, de uma maneira geral, do litoral em direção ao interior, na razão inversa dos índices pluviométricos.

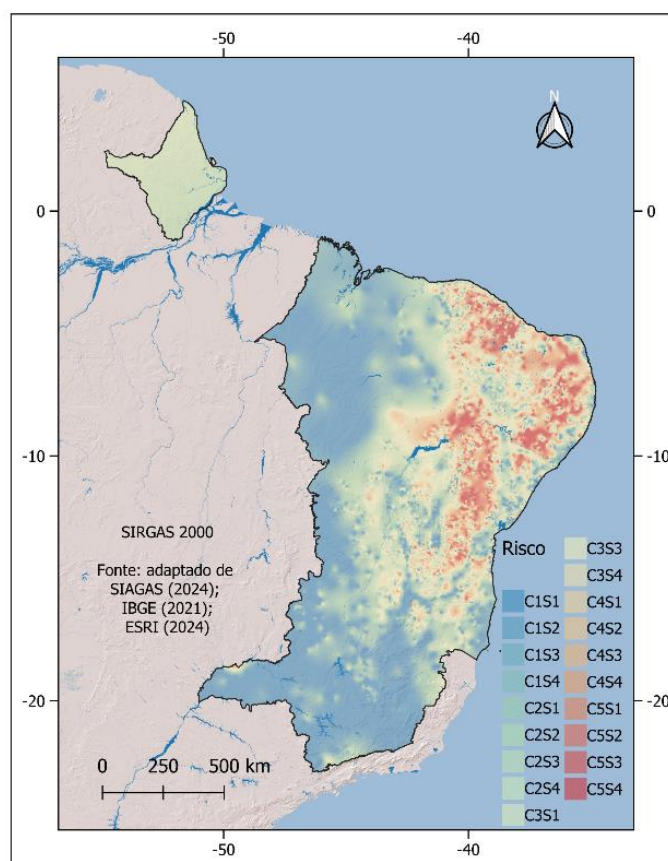


Figura 7. Distribuição espacial do risco de salinidade das águas subterrâneas para fins de irrigação. Fonte: adaptado de SIAGAS (2024); IBGE (2021); ESRI (2024).

Leprun (1983) analisando 33 amostras de água de poços do Nordeste obteve as classes C_1S_1 a C_3S_1 de risco baixo a alto, resultado similar a este trabalho. Quanto aos resultados deste trabalho apresentam-se similar aos resultados obtidos no Atlas Nacional do Brasil (IBGE, 2010) no mapa de Classificação das águas subterrâneas para fins de irrigação da Região Nordeste de área de atuação da SUDENE.

No Piauí, Andrade Jr. et al. (2006), observaram a excelente qualidade de água, extraída por poços que atingem a Formação Serra Grande, em que permite o uso da água subterrânea para irrigação, resultado similar a este trabalho. Em Pernambuco no município de Serra

Talhada, Fernandes et al. (2009) obtiveram a classificação das águas superficiais para irrigação entre C₃S₁ a C₄S₃ neste caso, com risco de salinização e sodificação.

No histograma do mapa de risco de salinidade a irrigação por águas subterrâneas (Figura 8a) observa-se que, a maior frequência apresenta-se na Classe C₁S₁ a C₁S₄ com Baixo risco, concordando com os dados descritivos da Tabela 3 distribuídos em 49,20% da área de estudo.

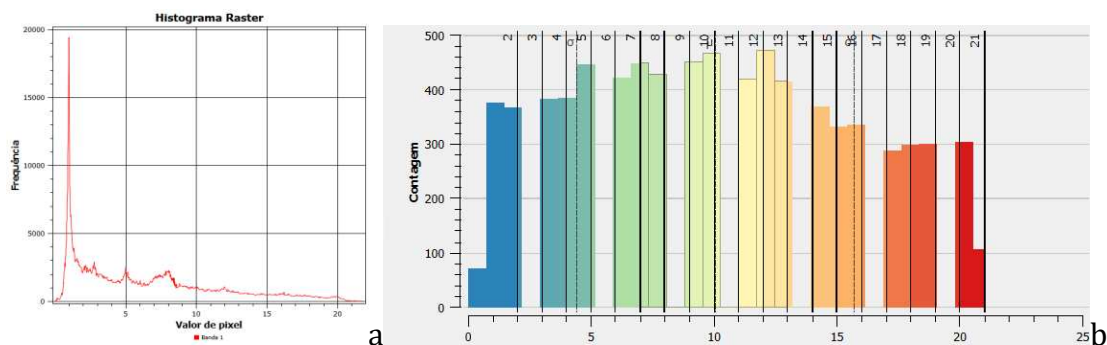


Figura 8. a) Histograma de frequência, b) Distribuição das classes de risco a salinidade.

Pela Tabela 4, observa-se a distribuição do risco de salinidade das águas subterrâneas, onde a classe de médio de risco está localizada em 24,71% da área, seguida da classe alto (C₃S₁ a C₃S₄) está representada em 13,44%, a classe muito alta de risco (C₄S₁ a C₄S₄) em 8,19%, e em somente 4,46% está representado pela classe excepcionalmente alto de risco a salinidade (C₅S₁ a C₅S₄).

Tabela 4. Distribuição espacial das classes de risco de salinidade das águas subterrâneas

Risco Salinidade								
Classe	Área (km²)	%	Classe	Área (km²)	%	Classe	Área (km²)	%
C ₁ S ₁	620.101	27,18	C ₃ S ₁	90.817	3,98	C ₅ S ₁	34.006	1,49
C ₁ S ₂	218.988	9,60	C ₃ S ₂	74.635	3,27	C ₅ S ₂	29.381	1,29
C ₁ S ₃	146.784	6,43	C ₃ S ₃	79.157	3,47	C ₅ S ₃	26.608	1,17
C ₁ S ₄	136.377	5,98	C ₃ S ₄	61.877	2,71	C ₅ S ₄	11.846	0,52
Subtotal	1.122.250	49,20	Subtotal	306.486	13,44	Subtotal	101.841	4,46
C ₂ S ₁	141.934	6,22	C ₄ S ₁	54.749	2,40			
C ₂ S ₂	117.825	5,17	C ₄ S ₂	44.468	1,95			
C ₂ S ₃	185.618	8,14	C ₄ S ₃	45.001	1,97			
C ₂ S ₄	118.314	5,19	C ₄ S ₄	42.676	1,87			
Subtotal	563.691	24,71	Subtotal	186.894	8,19	Total	2.281.162	100,00

Pela Figura 9 da classificação das águas subterrâneas para fins de irrigação, observa-se que, a maioria dos valores das amostras se distribuem em todas as classes, em que a classe de risco baixo se apresenta a maioria das amostras, seguida classe média de risco, as classes forte

e muito forte representam a minoria, mas demonstra o maior risco a salinização dos solos pela água subterrânea dos poços amostrados.

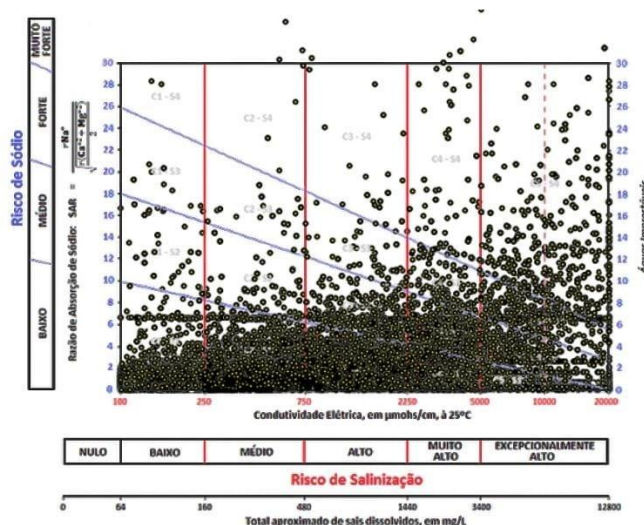


Figura 9. Classificação das águas subterrâneas para fins de irrigação.

De acordo com Almeida (2010), águas com esse tipo de classificação (C₃, C₄ e C₅) não são apropriadas para irrigação sob condições ordinárias, apenas em circunstâncias muito especiais. Já para o risco de sódio, o uso dessas águas na agricultura pode trazer sérios riscos ao solo, podendo torná-lo infértil em pouco tempo, sendo necessárias práticas de manejo especiais, como boa drenagem, fácil lixiviação e aporte de matéria orgânica.

Nos dados estatísticos das variáveis apresentados na Tabela 5, pode-se observar que, entre as variáveis Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, a maior média apresenta-se no Ca²⁺, seguido pelo maior desvio padrão no Na⁺. A variável CE apresenta alta variabilidade. A variável RAS por ser adimensional apresenta um desvio padrão de 65,29 com média de 19,99.

Tabela 5. Dados estatísticos das variáveis

Atributo/Variável	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desv. Pad.	Alcance	Curtose	1.o Quart	3.o Quart
Na ⁺	242,17	47,95	0	49.479	892,75	49.479	1.375,46	17,70	200
Ca ²⁺	266,81	83,13	0	32.464	589,17	32.464	866,27	20,91	329
Mg ²⁺	127,94	32,85	0	45.526	608,75	45.526	3.388,52	7,90	104
CE	2.478,20	960,50	0	19.999	3.838,14	19.999	7,52	317,00	2.703
RAS	19,99	8,75	0	4.380	65,29	4.380	2.003,34	2,78	20

Leprun (1983) obteve valores máximos de CE de 9.990 para 504 amostras da região Nordeste e valores médios de 918 quanto a condutividade elétrica da água subterrânea. No Maranhão, Almeida et al. (2012) obtiveram valores de condutividade elétrica (CE) em 26 amostras amostradas entre 200 e 4.000 (µmols/cm).

Com relação à variabilidade entre as observadas por meio das caixas interquartílicas do gráfico boxplot para cada atributo, observa-se que na variável CE apresenta maior variabilidade (Figura 10d).

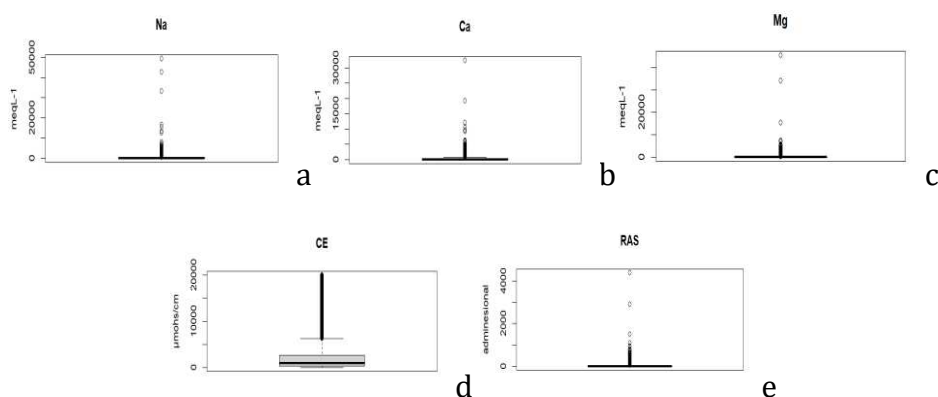


Figura 10. Boxplot das variáveis das amostras. a) Na^+ , b) Ca^{2+} , c) Mg^{2+} , d) CE, e) RAS.

Quanto ao quantis, observa-se que a distribuição apresenta irregularidades em todas as variáveis. Observa-se que a maior irregularidade apresenta na variável CE (Figura 11d).

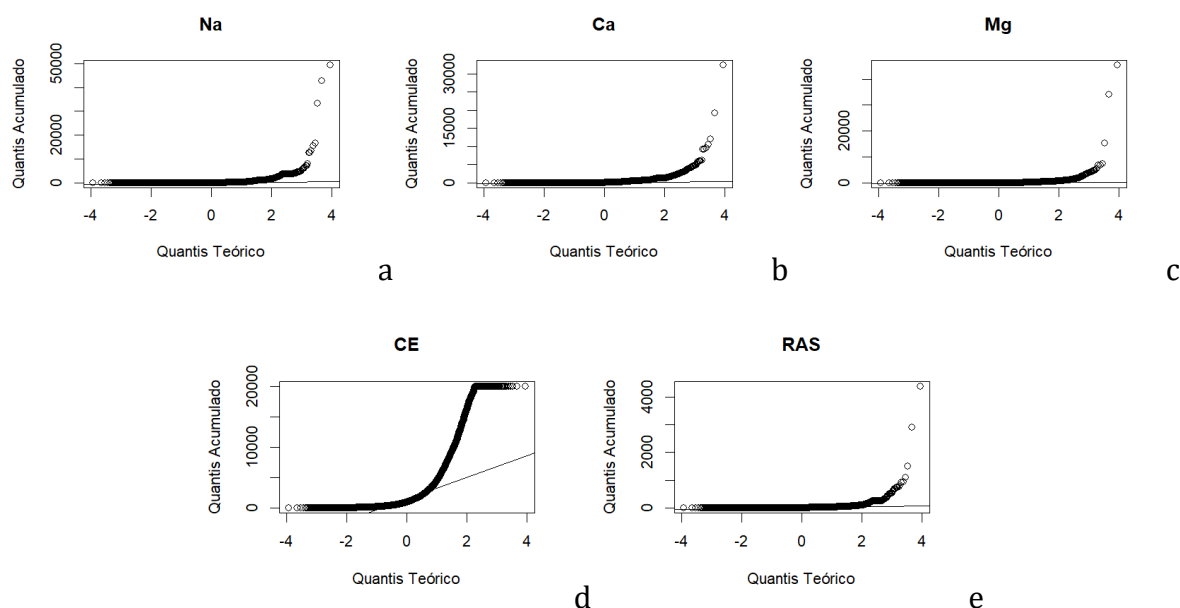


Figura 11. Quantis das variáveis das amostras. a) Na^+ , b) Ca^{2+} , c) Mg^{2+} , d) CE, e) RAS.

No teste de normalidade (Tabela 6) pode-se verificar que os resultados dos testes de Anderson-Darling, Lilliefors e Jarque-Bera apresentam-se semelhantes entre si para todas as variáveis com $p\text{-valor} < 2,2e^{-16}$, o que leva a aceitar a hipótese de normalidade nos dados.

Tabela 6. Testes de normalidade

Variável\Teste	Anderson-Darling		Lilliefors		Jarque-Bera	
	A	p-valor	D	p-valor	X ²	p-valor
Na ⁺	2669,9	<2,2e ⁻¹⁶	0,39309	<2,2e ⁻¹⁶	9,6e ⁺⁰⁸	<2,2e ⁻¹⁶
Ca ²⁺	1645,5	<2,2e ⁻¹⁶	0,32533	<2,2e ⁻¹⁶	3,8e ⁺⁰⁸	<2,2e ⁻¹⁶
Mg ²⁺	2888,3	<2,2e ⁻¹⁶	0,41677	<2,2e ⁻¹⁶	6e ⁺⁰⁹	<2,2e ⁻¹⁶
CE	1489,9	<2,2e ⁻¹⁶	0,25925	<2,2e ⁻¹⁶	4,31e ⁺⁰⁴	<2,2e ⁻¹⁶
RAS	2521,5	<2,2e ⁻¹⁶	0,37972	<2,2e ⁻¹⁶	2e ⁺⁰⁹	<2,2e ⁻¹⁶

Pode-se verificar na Figura 12 que, entre as variáveis deste trabalho o CE e o RAS, apresenta uma correlação de 0,154, o maior valor de correlação compreende-se entre o RAS e o Na (0,544), e a menor correlação entre o RAS e o Ca (0,016).

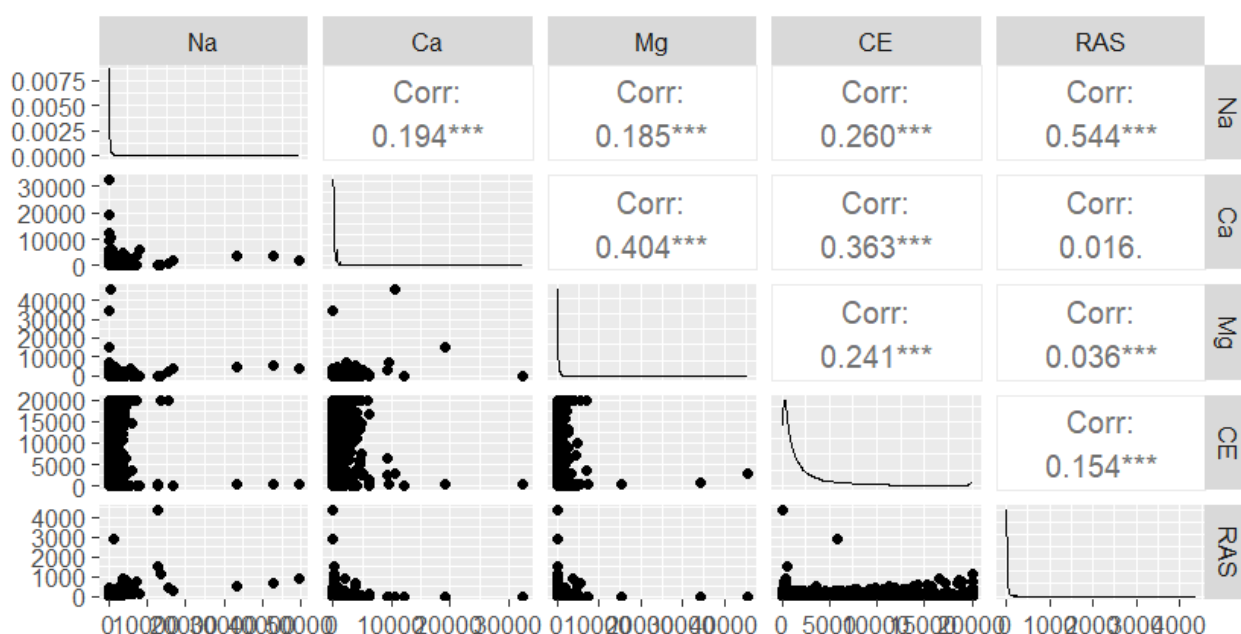


Figura 12. Correlação entre as variáveis.

Para o Rio Grande do Norte em região sedimentar, Oliveira e Maia (1998) obtiveram valores de classificação entre C₁S₁ e C₂S₂.

Estudos realizados por Costa e Gheyi (1984), com o intuito de caracterizar as águas usadas para irrigação na região de Catolé do Rocha, Sertão da Paraíba, utilizando águas de diversas fontes (poços amazonas e açudes, principalmente) e coletadas no período seco e chuvoso, mostram que, de modo geral, o Na⁺ predomina sobre o Ca²⁺ e Mg²⁺.

No interior do Ceará, Veríssimo e Feitosa (2001), identificaram águas subterrâneas classificadas entre C₄S₂ a C₅S₃ não indicadas para a irrigação comum podendo causar danos aos solos. Na região semiárida do Ceará, as águas subterrâneas dos aquíferos cristalinos do Pré-Cambriano são salobras ou salinas, com principalmente fácies tipo cloreto e condutividade

elétrica (CE) atingindo até 20.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (KREIS, 2021; KREIS et al., 2023). A alta variabilidade espacial dos níveis de CE das águas subterrâneas e da composição geoquímica dos aquíferos reflete a forte compartimentação lateral dos aquíferos (ARAÚJO, 2017; KREIS et al., 2020).



SALINIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

Pelos resultados obtidos, observa-se na Tabela 7, um total de 1.290 amostras de água superficial, com maior número no Estado de Minas Gerais e no Ceará, podendo ser visualizada sua distribuição espacial pela Figura 13.

Tabela 7. Distribuição das amostras

Estado	N.o de Amostras
Alagoas	103
Bahia	64
Ceará	206
Maranhão	14
Paraíba	85
Pernambuco	173
Piauí	67
Rio Grande do Norte	61
Sergipe	51
Minas Gerais	449
Amapá	17
Total	1.290

Na Tabela 8 verifica-se alguns dos dados obtidos, como também sua respectiva classificação quanto ao risco de salinidade das águas superficiais de rios, riachos e açudes.

Tabela 8. Dados de algumas amostras de água superficial e sua classificação

Estado	Município	Na (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	RAS	Classificação
AL	Canapi	14,8	2,0	3,8	2,4	8,6	C ₁ S ₁
AL	Delmiro Gouveia	14,7	16,2	4,8	192,0	4,5	C ₁ S ₁
AL	Maceió	35,0	75,0	15	300,0	5,2	C ₂ S ₁
BA	Vitoria da Conquista	2,2	0,25	0,2	0,3	4,4	C ₁ S ₁
BA	Feira de Santana	51,0	4,8	3,4	367,0	25,1	C ₂ S ₄
BA	Ilhéus	6,9	0,6	1,1	55,9	7,2	C ₁ S ₁
CE	Crato	14,9	22,4	12,3	280,0	3,5	C ₂ S ₁
CE	Fortaleza	129,9	21,4	22,3	910,0	27,7	C ₃ S ₄
CE	Sobral	102,1	27,6	16,9	790,0	21,6	C ₃ S ₄
MA	Imperatriz	9,4	58,2	6,1	397,0	1,6	C ₂ S ₁
MA	São Luís	8,7	2,5	0,6	56,0	6,9	C ₁ S ₁
MA	Vila Nova dos Martírios	8,6	61,2	8,3	525,0	1,4	C ₂ S ₁
MG	Brumadinho	1,9	3,2	1,3	39,3	1,3	C ₁ S ₁
MG	Governador Valadares	5,2	4,8	1,7	64,8	2,9	C ₁ S ₁
MG	Juiz de Fora	2,6	4,5	2,4	49,6	1,4	C ₁ S ₁
PB	Areia	106,2	7,7	30,5	15,0	24,2	C ₁ S ₃
PB	Campina Grande	3,3	1,3	1,2	610,0	2,9	C ₂ S ₁
PB	Pombal	1,3	58,4	61,5	473,0	0,1	C ₂ S ₁
PE	Caruaru	93,1	70,4	235,5	1,3	7,5	C ₁ S ₁
PE	Jaboatão dos Guararapes	15,5	4,0	2,6	124,0	8,5	C ₁ S ₁
PE	Petrolina	48,8	171,9	80,7	1.906,0	4,3	C ₃ S ₁
PI	Brejo do Piauí	3,7	5,6	6,7	118,0	1,4	C ₁ S ₁
PI	Pedro Laurentino	3,4	1,6	2,4	86,0	2,4	C ₁ S ₁
PI	Teresina	1,1	0,7	1,08	0,2	1,2	C ₁ S ₁
RN	Angicos	32,0	46,9	30,1	330,0	5,1	C ₂ S ₁
RN	Mossoró	8,1	11,9	6,2	2,6	2,7	C ₁ S ₁
RN	Pau dos Ferros	64,8	53,3	27,2	530,0	10,2	C ₂ S ₂
SE	Itabaiana	57,3	14,0	17,1	452,3	14,5	C ₂ S ₂
SE	São Cristóvão	10,4	14,0	2,5	155,5	3,6	C ₁ S ₁
SE	Campo Brito	56,6	13,7	16,8	493,1	14,4	C ₂ S ₂
AP	Pedra Branca do Amapari	0,3	0,1	0,1	43,3	0,9	C ₁ S ₁
AP	Serra do Navio	2,1	0,1	0,2	34,4	5,4	C ₁ S ₁

Fonte: adaptado de Albuquerque et al. (2005); Alencar (2020); Almeida (2013); Almeida (2023); Alves (2023); Amorim (2007); Amorim (2002); Dantas (2011); COGERH (2018); Aquino et al. (2003); Araújo Neto et al. (2014); Araújo (2020); Barroso et al. (2011); Barista et al. (2020); Boareto et al. (2014); Braga et al. (2002); Brito et al. (2006); Buarque et al. (2013); Cabaleiro (2010); Caminha (2022); Campos e Cavalcante (2009); Carvalho et al. (2022); Cavalcante et al. (2019); Cavalcanti (1994); Correia Filho et al. (2008); Costa et al. (2018); Damasceno et al. (2010); Damasceno (2018); Farias et al. (2003); Fernandes (2008); Fernandes et al. (2009); Figueiredo Júnior et al. (2013); Fontes (2008); Frota Júnior (2006); Gastaldini (1998); Guedes et al. (2016); Leite (1991); Lima (2020); Lobato et al. (2008); IGAM (2010); Magalhães et al. (2022); Mancini (2002); Matta et al. (2010); Medeiros et al. (2008); Medeiros (1992); Melo (2007); Moreira et al. (2016); Nascimento et al. (2024); Neves et al. (2016); Nobre et al. (2018); Nunes Filho et al. (2000); Oliveira Filho (2016); Oliveira (2018); Palacio et al. (2009); Pereira et al. (2003); Piscoya et al. (2012); Ribeiro et al. (2000); Santos (2016); Santos et al. (2000); Silva Filho (2016); Silva Jr. et al. (1999); Silva et al. (2011); Silva e Araújo Neto (2016); Silva (2020); Silva et al. (1999); Silva (2015); Silva (2016); Silva et al. (2016); Silva (2021); Silva (2016); Silveira (2014); Sousa Júnior et al. (2022); Sousa et al. (2018); Sousa et al. (2002); Souza et al. (2022); Souza (2019); Tartari (2021); Vieira et al. (2011).

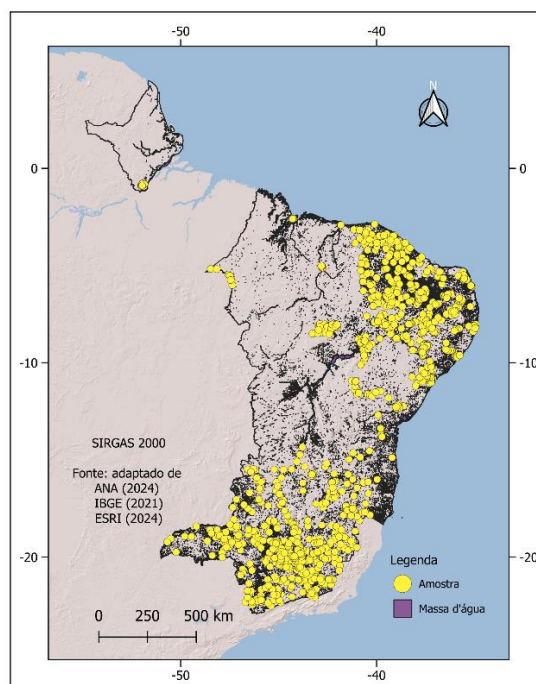


Figura 13. Distribuição das amostras.

Fonte: adaptado de ANA (2024); IBGE (2021); ESRI (2024).

Na Figura 14a referente a espacialização do Na^+ de origem superficial verifica-se que maiores valores acima de 160 meqL^{-1} se localizam na região nordeste do Estado da Bahia adentrando nos Estados de Sergipe e Alagoas e com áreas em Pernambuco, Rio Grande do Norte, Ceará e a sudeste do Piauí.

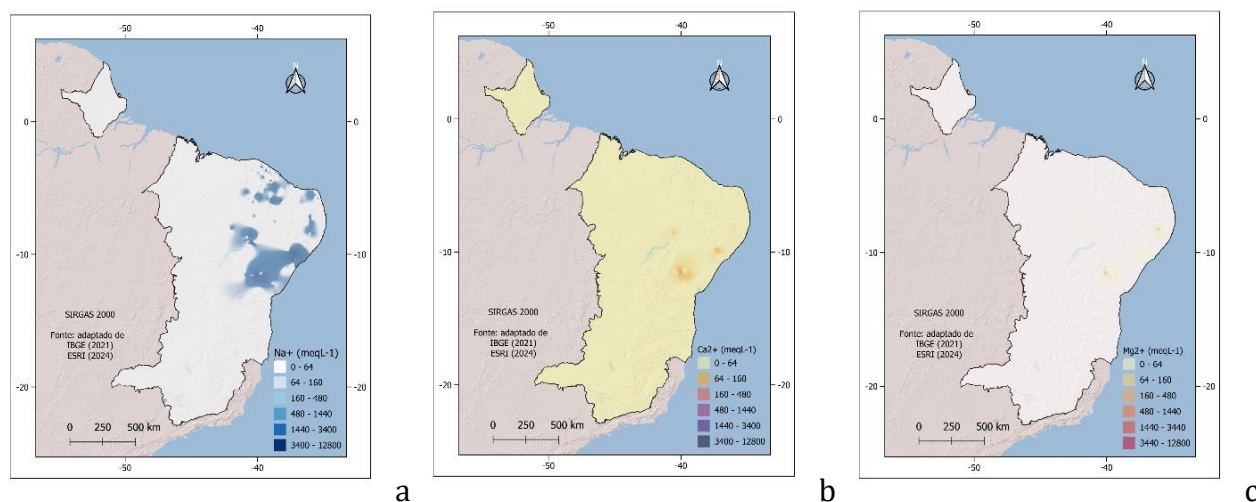


Figura 14. Distribuição espacial. a) Na^+ , b) Ca^{2+} , c) Mg^{2+} (meqL^{-1}).

Fonte: adaptado de IBGE (2021); ESRI (2024).

Quanto ao Ca^{2+} (Figura 14b) observa-se que valores acima de 64 meqL^{-1} apresentam maior influência no nordeste da Bahia. Em relação ao Mg^{2+} (Figura 14c), este ocorre abaixo de 64 meqL^{-1} por toda área de estudo.

Quanto ao Na^+ , Damasceno (2018) para a bacia do Rio Doce que engloba o município de Taipú-RN obtiveram os teores mais altos neste estudo em $5.333,33 \text{ (meqL}^{-1}\text{)}$, seguido por Alves (2023) em Porto da Folha-SE com $3.464 \text{ (meqL}^{-1}\text{)}$, por Fontes (2008) em Várzea da Roça-BA com $2.100 \text{ (meqL}^{-1}\text{)}$, e pela COGERH (2018) em Jaguaribe-CE com $855 \text{ (meqL}^{-1}\text{)}$.

Os maiores teores de Ca^{2+} utilizados neste trabalho foram os obtidos por Fontes (2008), na Bahia em Várzea da Folha de $1.978 \text{ (meqL}^{-1}\text{)}$, de $1.836 \text{ (meqL}^{-1}\text{)}$ em São Cristóvão-SE por Almeida (2023), e por Silva (2016) em Petrolina-PE de $706,3 \text{ (meqL}^{-1}\text{)}$.

Teores de Mg^{2+} acima de $1.000 \text{ (meqL}^{-1}\text{)}$ localizam-se em Pernambuco, seguido por Bahia, Rio Grande do Norte e Sergipe obtidos respectivamente por Araújo (2020), Fontes (2008), Damasceno (2018) e Almeida (2023).

Na Figura 15a pode-se verificar a ocorrência do CE em que estes ocorrem nas mesmas regiões de maiores valores de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} . Estes teores estão acima de $10.000 \text{ } \mu\text{mohs/cm}$ obtidos para o Estado de Sergipe por Alencar (2020), Alves (2023) e Silva (2023), para a Bahia por Fontes (2008), Pernambuco por Silva (2016) e para o Rio Grande do Norte por Damasceno (2018).

Em relação ao RAS (Figura 15b), os maiores tores são entre 100 e 200 localizados no Estado de Sergipe, Rio Grande do Norte e Ceará, obtidos respectivamente por Damasceno (2018), Silveira (2014) e Alves (2023).

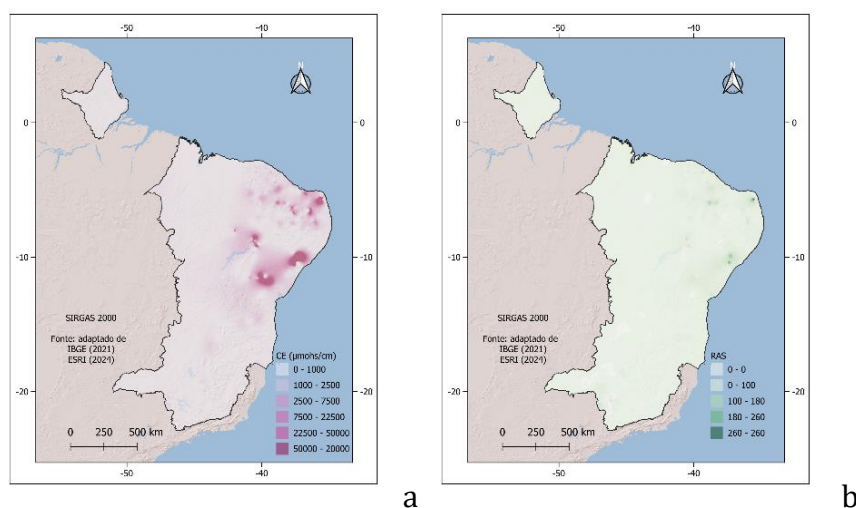


Figura 15. Distribuição espacial. a) CE ($\mu\text{mohs/cm}$), b) RAS (adimensional).

Fonte: adaptado de IBGE (2021); ESRI (2024).

Na Figura 16, do risco de salinidade das águas superficiais para fins de irrigação, observa-se que valores mais elevados estão localizados ao nordeste da Bahia, no sertão de Sergipe, ao oeste de Pernambuco, na divisa entre Paraíba e Rio Grande do Norte e na região próxima a capital Natal, como também no centro leste do Ceará, estes entre as classes C₄S₁ a C₅S₄ (muito alto a excepcionalmente alto).

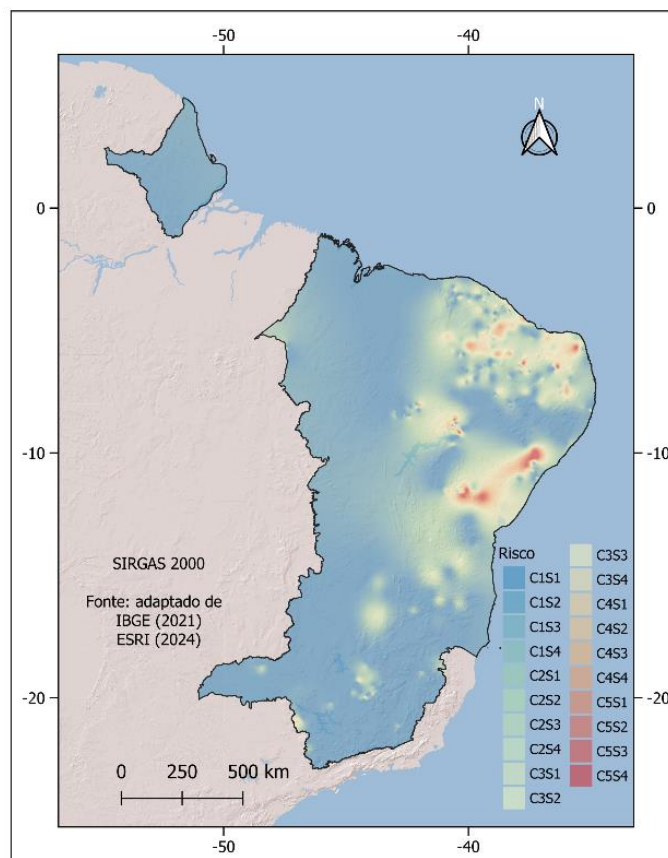


Figura 16. Distribuição espacial do risco de salinidade das águas superficiais para fins de irrigação. Fonte: adaptado de IBGE (2021); ESRI (2024).

Da classe C₅S₄ (excepcionalmente alto), esta foram obtidas por Silva (2016) em Petrolina-PE, por Fontes (2008) em Mairi-BA, por Alencar (2020) em N. Sra. da Glória-SE, e por Damasceno (2018) em Taipú-RN.

A classe de risco médio (C₂S₁ a C₂S₄) ocorrem em regiões dispersas próximas a classe de risco alto e muito alto. O risco baixo de salinidade das águas superficiais (C₁S₁ a C₁S₄), apresenta maior ocorrência dispersa por toda a área de estudo.

Na Figura 17a e 17b do histograma da imagem *raster* do mapa de risco de salinidade a irrigação, observa-se a ocorrência de maior frequência da Classe C₁S₁ a C₁S₄ com risco baixo, concordando com os dados descritivos da Tabela 4.

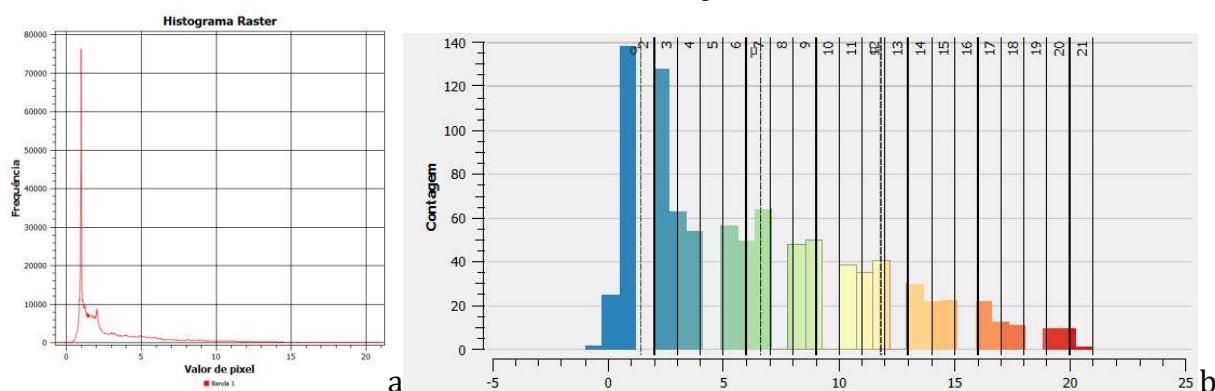


Figura 17. a) Histograma de frequência, b) Distribuição das classes de risco a salinidade.

Na Tabela 9, verifica-se a distribuição espacial do risco de salinidade das águas superficiais, onde a classe de baixo risco de salinidade (C_{1S_1} a C_{1S_4}) apresenta área equivalente a 75,06% do total da área de estudo. A classe de médio risco (C_{2S_1} a C_{2S_4}) ocorre em 18,95% da área. A classe de alto de risco a salinidade (C_{3S_1} a C_{3S_4}), muito alto (C_{4S_1} a C_{4S_4}) e a excepcionalmente alto (C_{5S_1} a C_{5S_4}) totalizam 5,99% do total.

Tabela 9. Distribuição espacial das classes de risco de salinidade das águas superficiais para fins de irrigação

Classe	Área (km ²)	%	Classe	Área (km ²)	%	Classe	Área (km ²)	%
C_{1S_1}	643.907	28,23	C_{3S_1}	37.507	1,64	C_{5S_1}	2.432	0,11
C_{1S_2}	677.308	29,69	C_{3S_2}	30.500	1,34	C_{5S_2}	2.111	0,09
C_{1S_3}	255.280	11,19	C_{3S_3}	21.374	0,94	C_{5S_3}	1.742	0,08
C_{1S_4}	135.774	5,95	C_{3S_4}	16.526	0,72	C_{5S_4}	919	0,04
Subtotal	1.712.269	75,06	Subtotal	105.907	4,64	Subtotal	7.204	0,32
C_{2S_1}	143.128	6,27	C_{4S_1}	8.609	0,38			
C_{2S_2}	119.801	5,25	C_{4S_2}	6.593	0,29			
C_{2S_3}	67.829	2,97	C_{4S_3}	4.815	0,21			
C_{2S_4}	101.530	4,45	C_{4S_4}	3.477	0,15			
Subtotal	432.288	18,95	Subtotal	23.494	1,03	Total	2.281.162	100,00

Chaves et al. (2010) mapeando a distribuição espacial da qualidade da água superficial para irrigação do Estado do Ceará em 48 pontos, em que 36 (75%) apresentaram-se na classe C_{2S_1} , 9 (18%) na classe C_{1S_1} , 2 (4%) reservatórios em C_{3S_1} , e 1 classificado como C_{3S_2} . Resultado similar e este trabalho quanto a esta região.

Francisco et al. (2024), mapeando o Estado da Paraíba quanto a salinidade das águas superficiais, observaram que a classe de baixo risco de salinidade (C_{1S_1} a C_{1S_4}) apresentou área de 22,09%, a classe de médio de risco (C_{2S_1} a C_{2S_4}) em 59,87%, a classe de alto de risco a

salinidade (C_3S_1 a C_3S_4) em 13,32%, e a classe muito alto de risco (C_4S_1 a C_4S_4) e a excepcionalmente alto (C_5S_1 a C_5S_4) totalizaram 4,7%. Resultado similar a este trabalho quanto a esta região de estudo.

Pela Tabela 10, observa-se que o atributo Na^+ apresenta os maiores valores médios, máximos e desvio padrão seguido do Ca^{2+} e Mg^{2+} . O CE apresenta os maiores valores no risco de salinidade. O RAS por ser adimensional, apresenta os menores valores.

Tabela 10. Dados estatísticos das variáveis

Atributo/Variável	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desv. Pad.	Curtose	1st Quart	3rd Quart
Na^+	63,11	6,08	0	5.333,33	287,47	172,18	2,28	3,38
Ca^{2+}	25,95	6,30	0	1.978,00	98,96	223,75	2,40	18,85
Mg^{2+}	23,59	3,20	0	1.410,56	93,71	97,13	1,40	13,33
CE	558,05	88,95	0	20.000,00	1.691,37	63,80	10,97	400,00
RAS	8,53	3,10	0	200,45	16,36	51,92	1,53	8,98

Na Figura 18, nas caixas dos quantis dos resultados do teste, verifica-se que a distribuição apresenta regularidades em todas as variáveis.

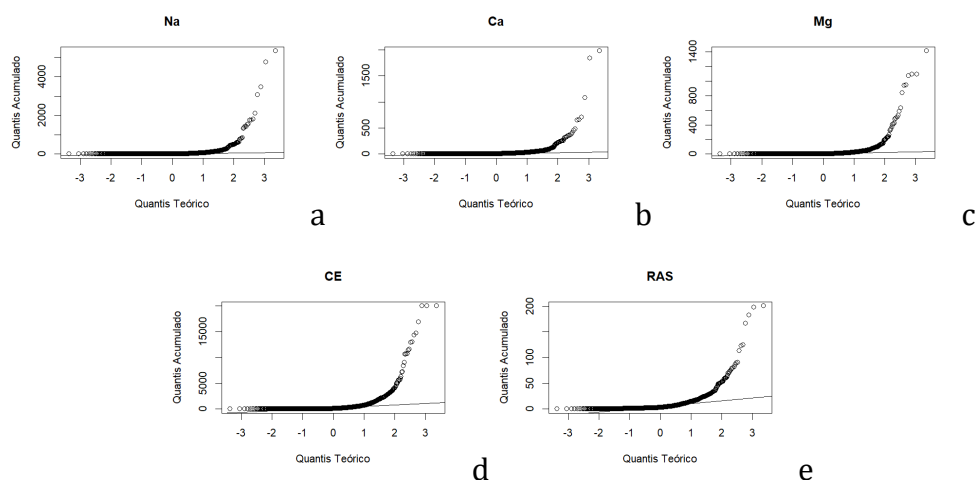


Figura 18. Quantis das variáveis das amostras. a) Na^+ , b) Ca^{2+} , c) Mg^{2+} , d) CE, e) RAS.

Pela Tabela 6 pode-se verificar que os resultados dos testes de normalidade de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling e Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) se apresentam semelhantes entre si para todas as variáveis com $p\text{-valor} < 2,2e^{-16}$, o que leva a aceitar a hipótese de normalidade nos dados.

Tabela 11. Testes de normalidade

Variável\Teste	Shapiro-Wilk		Anderson-Darling		Lilliefors	
	<i>W</i>	<i>p</i> -valor	<i>A</i>	<i>p</i> -valor	<i>D</i>	<i>p</i> -valor
Na ⁺	0,18761	<2,2e ⁻¹⁶	346,37	<2,2e ⁻¹⁶	0,41311	<2,2e ⁻¹⁶
Ca ²⁺	0,20576	<2,2e ⁻¹⁶	307,24	<2,2e ⁻¹⁶	0,39658	<2,2e ⁻¹⁶
Mg ²⁺	0,22299	<2,2e ⁻¹⁶	334,76	<2,2e ⁻¹⁶	0,40061	<2,2e ⁻¹⁶
CE	0,31905	<2,2e ⁻¹⁶	274,65	<2,2e ⁻¹⁶	0,37073	<2,2e ⁻¹⁶
RAS	0,45974	<2,2e ⁻¹⁶	189,95	<2,2e ⁻¹⁶	0,30100	<2,2e ⁻¹⁶

Na Figura 19, observa-se a correlação de Pearson entre as variáveis em estudo onde entre o RAS e o CE apresenta um coeficiente linear de R=0,669 e maior valor entre o CE e o Na⁺ e o CE e o Ca²⁺ de 0,815 e 0,816, respectivamente, comprovante neste caso a maior influência nos resultados.

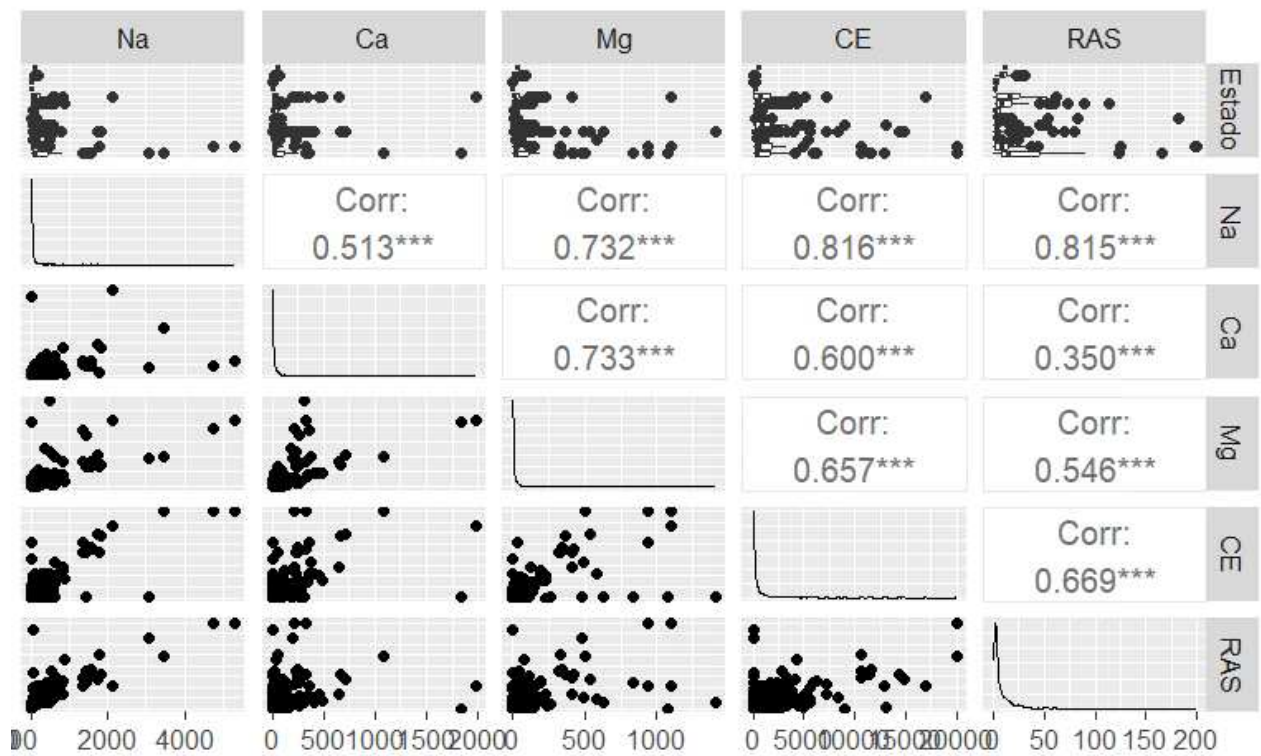


Figura 19. Correlação entre as variáveis.

Na classificação das águas superficiais para fins de irrigação (Figura 20) observa-se que, a maior parte das amostras estão classificadas até o risco alto de salinização devido a condutividade elétrica e no risco baixo devido ao sódio. Estas se distribuem entre as classes C1S1, C2S1 e C3S1.

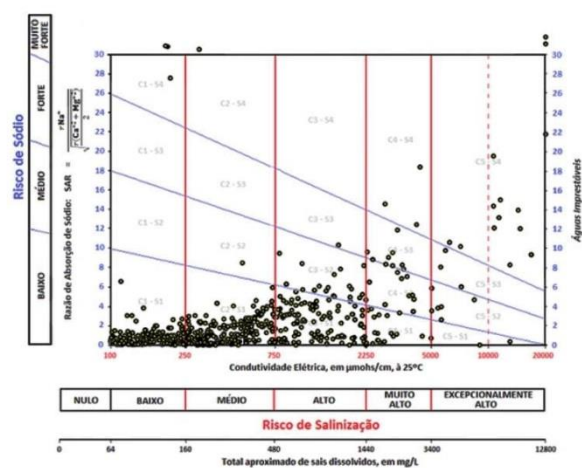


Figura 20. Classificação das águas superficiais para fins de irrigação.



RISCO A SALINIDADE DAS TERRAS À IRRIGAÇÃO

Na Figura 21, no mapa de risco de salinização das terras à irrigação, pode-se verificar a distribuição espacial do índice inferido pelo modelo paramétrico simplificado. Verifica-se que a classe de risco baixo apresenta área mapeada de 57,41% do total (Tabela 12), demonstrando o potencial de uso das terras para a produção agrícola da área de estudo, mesmo estando parte localizada na região semiárida com diversidade geológica e de solos. A maioria das áreas se localizam na região à Oeste e ao Sul, com maior pluviosidade anual e com solos de menor risco de salinidade.

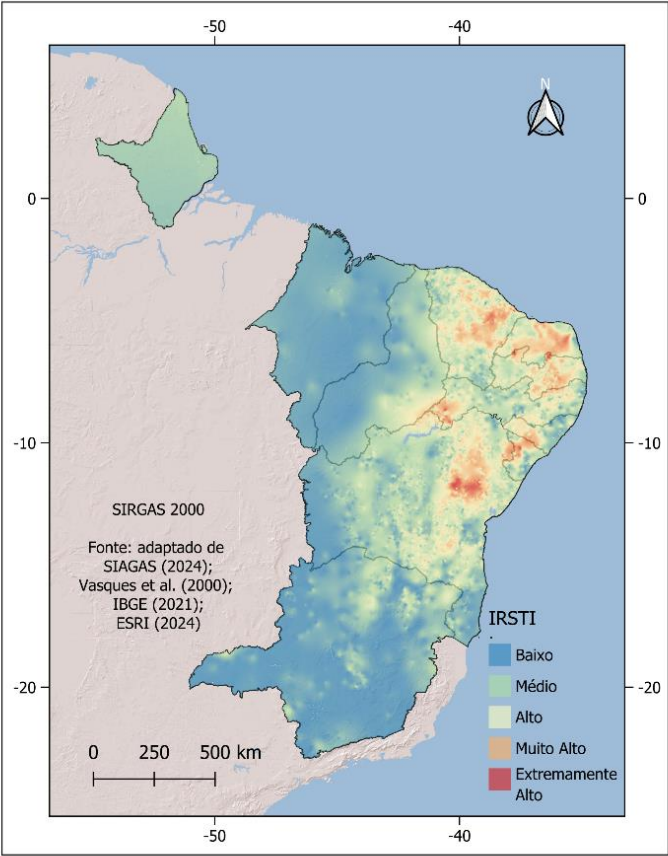


Figura 21. Risco de salinização das terras à irrigação. Fonte: adaptado de Vasques et al. (2020); Francisco et al. (2024a; 2024b); IBGE (2021); ESRI (2024)

Tabela 12. Distribuição espacial do índice de risco a salinidade das terras por irrigação

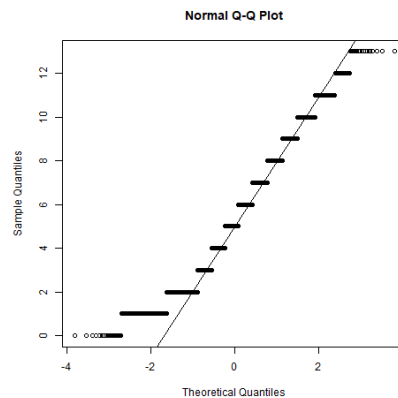
Classe de risco	Área (km²)	%
Baixo	1.309.709	57,41
Médio	645.509	28,30
Alto	256.482	11,24
Muito Alto	65.954	2,89
Extremamente Alto	3.508	0,15
Total	2.281.162	100,00

A classe de risco médio de salinização das terras à irrigação está distribuída em 28,30% da área com maior ocorrência na região semiárida. As classes de risco alto, muito alto e extremamente alto representam 14,28% da área, em que se localizam na região semiárida devido a maior influência da salinidade das águas subterrâneas promovida pela formação geológica.

Nos resultados da estatística descritiva (Tabela 13), observa-se a variabilidade dos atributos, em que, o maior desvio padrão ocorre na salinidade da água subterrânea, isto devido a maior variação na área de estudo. A salinidade dos solos apresenta a menor média entre as demais. A maior média ocorre na variável salinidade da água subterrânea demonstrando a sua maior influência na modelagem. Nos *quantis* teórico e acumulado (Figura 22) verifica-se uma distribuição normal.

Tabela 13. Estatística descritiva

Atributo/Variável	Mín.	Máx.	Média	Mediana	Des. Pad.
Salinidade da água superficial	0	20,00	6,61	6,00	5,19
Salinidade da água subterrânea	0	20,00	10,07	10,00	5,65
Salinidade dos solos	0	6,00	0,98	1,00	0,71
Risco a Salinidade das Terras à Irrigação	0	13,00	5,30	5,00	2,66

Figura 22. Boxplot do *quantis* da distribuição do índice.

Na Tabela 14 nos resultados do teste de normalidade, verifica-se que, todas as variáveis apresentam resultados similares entre si, sem variação no *p-valor*, sendo aceito o resultado.

Tabela 14. Teste de normalidade

Atributo/Variável	Lilliefors	
	<i>D</i>	<i>p-valor</i>
Salinidade da água superficial	0,13669	<2,2e ⁻¹⁶
Salinidade da água subterrânea	0,07511	<2,2e ⁻¹⁶
Salinidade dos solos	0,31097	<2,2e ⁻¹⁶
Risco a Salinidade das Terras à Irrigação	0,10042	<2,2e ⁻¹⁶

Na Tabela 15, observa-se que a salinidade da água superficial e a salinidade do solo apresentam a menor correlação entre as demais. Os maiores valores de correlação apresentam-se entre a salinidade da água subterrânea e a superficial.

Tabela 15. Matriz de correlação entre os parâmetros

Parâmetro	Salinidade do solo	Salinidade da água subterrânea	Salinidade da água superficial
Salinidade do solo	1	0,4061	0,2753
Salinidade de água subterrânea	0,4061	1	0,5638
Salinidade de água superficial	0,2753	0,5638	1

No histograma das classes de risco a salinidade das terras para irrigação (Figura 23), verifica-se que a distribuição média se apresenta ao nível de 5,30 (classe média) e o desvio padrão de 2,66.

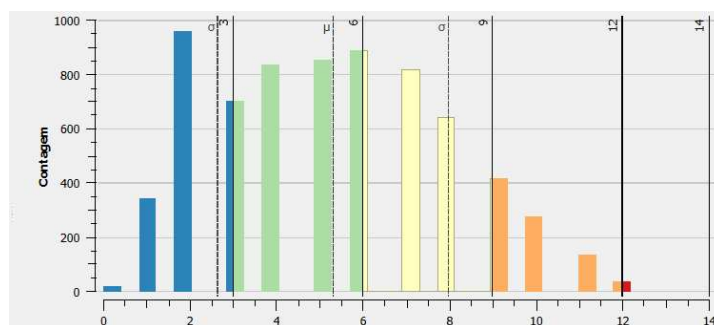


Figura 23. Histograma de distribuição das classes.

Chaves et al. (2010), realizando o mapeamento da distribuição espacial da qualidade da água superficial para irrigação no Estado do Ceará, observaram que, menos de 1% da área apresentou potencial para águas do tipo C₄S₂, classe de risco muito alto, resultado similar a este trabalho. Mota et al. (2012), avaliando o risco de salinização das terras do Baixo Acaraú, Estado do Ceará, observaram que o uso da avaliação multicritério em conjunto com o SIG mostrou-se eficiente.

Castro e Santos (2015; 2020), observaram o risco de salinização dos solos devido ao uso da água subterrânea na região de Petrolina, a oeste de Pernambuco, resultado similar a este trabalho quanto a variável água subterrânea. Pessoa et al. (2022), nesta mesma região, identificaram que o Na⁺ e Cl⁻ foram os principais contribuintes para a salinidade dos solos, devido os elevados níveis destes elementos, refletindo o risco potencial de degradação nestas áreas.

Figueirêdo e Calasans (2008), para uma bacia hidrográfica do rio Colônia na Bahia, elaboraram um mapeamento do risco de salinização dos solos pela água, utilizando Processo Analítico Hierárquico em SIG com as variáveis clima, solos, condutividade elétrica da água, malha hídrica, declividade, e cobertura vegetal obtendo alto risco de salinização em 39,86%. Resultados não condizentes a este trabalho, devido a diferenciação das variáveis utilizadas.

Araújo Filho et al. (2009), em Petrolândia, Estado de Pernambuco, avaliando os riscos de salinização nos solos, utilizando multicritério e as variáveis clima, infiltração da água no solo, condutividade elétrica, textura, material de origem, drenagem e percentagem de saturação por sódio, em que as classes de risco variaram de baixo a médio.

Valladares e Faria (2004), utilizando SIG na análise do risco de salinização na bacia do Rio Coruripe no Estado de Alagoas, utilizando as variáveis solos, geomorfologia e geologia, obtiveram 30,5% da área em risco moderado, e 36,8% em risco alto.

Araújo Neto et al. (2014), elaboraram uma proposta de índice da salinidade das águas superficiais de reservatórios do Estado do Ceará utilizando SIG para o mapeamento, em que classificaram as águas entre moderada a alta de restrição de uso. Para o sudeste Piauiense, Andrade Júnior et al. (2004), avaliando o risco de salinização e sodificação do solo mapearam utilizando a krigagem permitiu distinguir a heterogeneidade na qualidade da água subterrânea onde a porção leste restringem severamente ao uso.

De acordo com Gheyi et al. (1997), a salinização dos solos em áreas irrigadas ocorre principalmente, pelo uso de água de irrigação com alta concentração salina, elevação do lençol freático por causa do manejo inadequado de irrigação, ausência ou deficiência de drenagem, elevação do lençol freático em decorrência da perda de água por infiltração nos canais e reservatórios e/ou acumulação de água de irrigação nas partes mais baixas do terreno. Já para Holanda e Amorim (1997), Lima (1997), Silva Filho et al. (2000) e D'Almeida et al. (2005), o processo de salinização dos solos pode não estar ligado diretamente à qualidade da água utilizada na irrigação, dependendo também das características físico-químicas do solo em seu estado natural e do manejo aplicado ao mesmo.

Chaves et al. (2010), consideram que o monitoramento da qualidade da água de irrigação e um diagnóstico antecipado de ocorrência dessas águas, portanto tornam-se importantes ferramentas para prevenir a salinização de novas áreas.

Os resultados deste trabalho estão de acordo com as pesquisas mapeadas pelo IBGE (2003), quanto a hidroquímica dos mananciais de superfície da região Nordeste, pelo IBGE (2013), no mapa hidrogeológico da região nordeste, pela CPRM (2014), quanto ao mapa

hidrogeológico do Brasil, e pelo IBGE (2010) no Atlas Nacional do Brasil, quanto a classificação das águas superficiais e subterrâneas para fins de irrigação da Região Nordeste.

Recomenda-se que os resultados deste trabalho possam ser utilizados em tomadas de decisão quanto a indicação de áreas para irrigação, evitando a salinização dos solos quanto também nas aplicações de políticas públicas de âmbito agrícola.

É de suma importância a criação de programas de monitoramento da qualidade da água e dos solos das áreas de irrigação mais susceptíveis a salinização, para uma melhor compreensão dos processos de salinização do solo, como também para a calibração e validação de modelos a utilizar.



CONCLUSÃO

O uso das técnicas do geoprocessamento e da interpolação demonstraram serem uma ferramenta eficiente e rápida onde apresentou resultados satisfatórios no uso da modelagem por B-Spline multinível no mapeamento da salinidade das águas subterrâneas, superficiais e do risco de salinidade das terras.

O uso da geoestatística demonstrou a variabilidade da Condutividade Elétrica, da Razão de Adsorção e do Risco de Salinidade das águas subterrâneas da área de estudo.

Os testes de normalidade apresentaram-se semelhantes entre si e houve baixa correlação entre o RAS e o CE.

Os riscos Alto, Muito Alto e Excepcionalmente Alto totalizam 26,09% da área de estudo, devendo-se neste caso, adotar medidas de cautela quanto a irrigação utilizando águas subterrâneas nestas áreas.

As áreas com maiores riscos a salinidade pela água subterrânea estão localizadas sob o Planalto da Borborema com características geológicas similares sob diversas unidades

estratigráficas e litológicas na região semiárida e relacionadas a regiões de maiores altitudes e de menor pluviosidade.

A salinidade das águas subterrâneas para fins de irrigação, apresentaram variabilidade entre as classes de risco médio à excepcionalmente alto (C₂S₁ a C₅S₄).

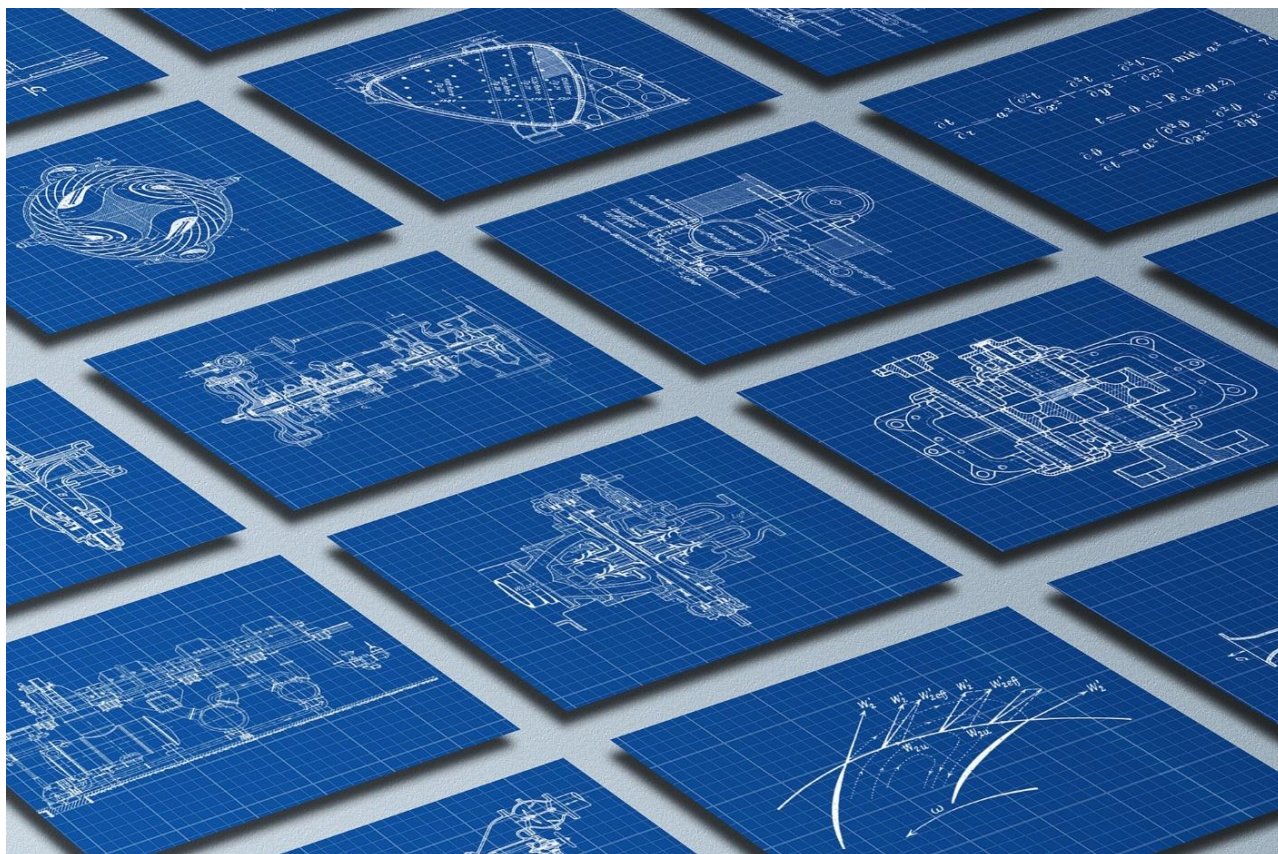
As classes de risco a salinidade superficial baixa a média (C₁S₁ a C₂S₄) ocorreram em 94% da área de estudo.

Os testes de normalidade apresentaram-se semelhantes entre si e a correlação entre o CE e as variáveis Na⁺ e o Ca²⁺ foram de 0,815 e 0,816, respectivamente. Os resultados estatísticos foram semelhantes entre si para todas as variáveis.

O modelo paramétrico simplificado do índice de risco de salinização das terras à irrigação permitiu classificar, mapear, identificar e estimar dados quantitativos do risco da área de estudo.

A classe de risco baixo ocorreu em 57,41% das terras, seguido do risco médio em 28,30%. As classes alta, muito alta e extremamente alta representaram 14,28% da área.

No teste de normalidade os resultados apresentaram-se semelhantes entre si. O maior desvio padrão ocorreu no parâmetro salinidade da água subterrânea. A maior correlação ocorreu entre os parâmetros salinidade de água subterrânea e superficial.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE NUNES, W. A. G.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; RUIZ, H. A.; FREITAS, G. A.; BEIRIGO, R. M. Qualidade da água de irrigação de poços tubulares e do rio Gorutuba na região de Janaúba-MG. Irriga, v.10, n.4, p.419-426, 2005.
- ALBUQUERQUE, J. DO P.T. O Sistema Aquífero Rio do Peixe. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 4, 1986, Brasília. Anais...Brasília, 1986.
- ALENCAR, N. R. O. Processos hidrogeoquímicos envolvidos na salinização dos reservatórios Algodoeiro e Três Barras situados na região do baixo São Francisco no estado de Sergipe. 119f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2020.
- ALMEIDA, F. F. M. DE; HASUI, Y.; NEVES, B. B. DE B.; FUCK, R. A. Brazilian structural provinces: An introduction. Earth-Science Reviews, v.17, n.1-2, p.1-29, 1981.
- ALMEIDA, J. B. A qualidade de águas superficiais e subterrâneas na Bacia do Rio da Prata/São Luís Maranhão sob efeito da ação antrópica. 121f. Tese (Doutorado em Física). Centro de Ciências. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2013.

- ALMEIDA, J. B.; BARROS, J. F.; SANTIAGO, M. M. F.; FRISCHKORN, H. Salinidade de águas subterrâneas na bacia do Rio da Prata em São Luís/MA. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 17 e Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 18, 2012, Bonito. Anais...Bonito, 2012.
- ALMEIDA, O. A. Qualidade da água de irrigação. EMBRAPA Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas. 2010. 234p.
- ALMEIDA, R. A. Estudo de caracterização comparativa de fontes de águas minerais nos aquíferos barreiras e são Sebastião nos estados de Sergipe e Bahia. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2023.
- ALMEIDA, T. A. B.; MONTENEGRO, A. A. DE A.; MACKAY, R.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; COELHO, V. H. R.; CARVALHO, A. A. DE; SILVA, T. G. F. DA. Hydrogeological trends in an alluvial valley in the Brazilian semiarid: Impacts of observed climate variables change and exploitation on groundwater availability and salinity. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v.53, e101784, 2024.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728, 2013.
- ALVES, J. P. H. Hidrogeoquímica dos Reservatórios de Sergipe. Aracaju-SE. Ed. Criação. 2023. 126p.
- AMORIM, D. M. B. Cultivo protegido de roseiras sob diferentes lâminas de irrigação no Agreste - PE, Brasil. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Departamento de Tecnologia Rural. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2007.
- AMORIM, J. R. D. A.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; AZEVEDO, N. C. D. Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção de alho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.2, p.167-176, 2002.
- ANA. Agência Nacional de Águas Saneamento Básico. Base de Dados Nacional de Referência de Massas de Água. Registros: 240.899. Disponível em: https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/4c606c38ee534b84bffe70ca6c8552c6_0/explore. Acesso em: 12 de julho de 2024.
- ANDERSON, T. W.; DARLING, D. A. A test of goodness of t. *Journal of American Statistical Association*, v.49, p.765-769, 1954.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. DE; SILVA, Ê. F. DE F. E; BASTOS, E. A.; LEAL, C. M.; FOLEGATTI, M. V. Uso da água subterrânea para irrigação no sudeste Piauiense e o risco de salinização e

sodificação do solo. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 7, 2004, São Luís. Anais...São Luís, 2004.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no Semi-Árido Piauiense. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.4, p.873-880, 2006.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, E. F. F.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B.; LEAL, C. M. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no semiárido piauiense. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.873-880, 2006.

ANDRADE, E. M. A irrigação e suas implicações sobre o capital natural em regiões áridas e semiáridas: Uma revisão. *Revista Ceres*, v.56, p.390-398, 2009.

ANDRADE, E. M. DE; LOPES, F. B.; PALÁCIO, H. A. Q.; AQUINO, D. DO N.; ALEXANDRE, D. M. B. Land use and groundwater quality: The case of Baixo Acaraú Irrigated Perimeter, Brazil. *Revista Ciência Agronômica*, v.41, n.2, p.208-215, 2010.

ANDRADE, E. M. DE; PALÁCIO, H. A. Q.; SOUZA, I. H.; LEÃO, R. A. DE O.; GUERREIRO, M. J. Land use effects in groundwater composition of an alluvial aquifer (Trussu River, Brazil) by multivariate techniques. *Environmental Research*, v.106, n.2, p.170-177, 2008.

ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N. DE; CRISÓSTOMO, L. DE A.; RODRIGUES, J. DE O.; LOPES, F. B. Impacto da lixiviação de nitrato e cloreto no lençol freático sob condições de cultivo irrigado. *Ciência Rural*, v.39, n.1, p.88-95, 2009.

ANDRADE, E. M.; BATISTA, T. M.; TEIXEIRA, A. S.; MEIRELES, M.; SOUSA, B. F. S. Mapa de vulnerabilidade da bacia do Acaraú, Ceará, à qualidade das águas de irrigação, pelo emprego do GIS. *Revista Ciência Agronômica*, 37, n.3, p.279-286, 2006.

ANDRADE, T. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; RODRIGUES, D. F. B. Estimation of alluvial recharge in the semiarid. *Revista Engenharia Agrícola*, v.34, n.2, p.211-221, 2014.

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*, v.16, n.5, p.496-504, 2012.

AQUINO, R. F.; NASCIMENTO, K. R. F.; RODRIGUES, Z. R. VIEIRA, C.; MAIA, P. H. P.; COSTA, A. B. Caracterização hidrogeoquímica e isotópica das águas superficiais e subterrâneas do oeste baiano – Bacia do rio das Fêmeas – Bahia. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 15, 2003, Curitiba. Anais...Curitiba, 2003.

ARAÚJO FILHO, J. C. DE; GUNKEL, G.; SOBRAL, M. DO C. M.; KAUPENJOHANN, M.; LOPES, H. L. Riscos de Salinização nos Solos do Entorno do Reservatório de Itaparica, Petrolândia,

Pernambuco. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 32, 2009, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2009.

ARAÚJO NETO, J. R. DE; ANDRADE, E. M. DE; MEIRELES, A. C. M.; GUERREIRO, M. J. S.; PALÁCIO, H. A. DE Q. Proposta de índice da salinidade das águas superficiais de reservatórios do Ceará, Brasil. *Revista Agro@mbiente On-line*, v.8, n.2, p.184-193, 2014.

ARAÚJO NETO, J. R. DE; GOMES, F. E. F.; PALÁCIO, H. A. DE Q.; SILVA, E. B. DA; BRASIL, P. P. Similaridades de solos quanto a salinidade no vale perenizado do rio Trussu, Ceará. *Revista Irriga*, v.21, n.2, p.327-341, 2016.

ARAÚJO NETO, J. R.; SALES, M. M.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; CHAVES, L. C. G. Modelagem da estrutura iônica das águas superficiais de reservatórios da bacia Metropolitana do Ceará, Brasil usando regressão linear múltipla. *Revista Agro@mbiente On-line*, v.8, n.1, p.29-38, 2014.

ARAÚJO, A. Mecanismos dominantes na salinização de água em rochas anisotrópicas com base em razões iônicas e número fuzzy, em área do sertão central no Ceará. 188f. Tese (Doutorado). Departamento de Geologia. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2017.

ARAÚJO, J. G. S. Atividades antrópicas e a qualidade das águas do rio Ipojuca no município de Caruaru-PE: documentário como proposta para o ensino das ciências ambientais. 112f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional para o Ensino das Ciências Ambientais). Centro de Biociências. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2020.

AUDRY, P.; SUASSUNA, J. A salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no sertão nordestino. Recife: ORSTOM/FUNDAJ, 1995. 128p.

AUDRY, P.; SUASSUNA, P. A qualidade da água na irrigação do trópico semi-árido. Um estudo de caso. In: Seminário Franco-Brasileiro de Pequena Irrigação, 1990, Recife. Anais...Recife, 1990.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura: estudos, irrigação e drenagem. Manual FAO 29. 2 ed. Campina Grande: UFPB. 1999. 153p.

AYERS, R.; WESTCOT, D. W. Water Quality for Agriculture. FAO. (Trad.) GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. DE. Campina Grande: UFPB, 1999. 217p.

AZEVEDO, C. A. V. DE; PORDEUS, R. V.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, M. R. Q. DE A.; LIMA, V. L. A. DE. Dependência espacial da qualidade da água subterrânea no perímetro irrigado de São Gonçalo, Paraíba. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.7, n.2, p.129-136, 2012.

BAKACSI, Z.; TÓTH, T.; MAKÓ, A.; BARNA, G.; LABORCZI, A.; SZABÓ, J.; SZATMÁRI, G.; PÁSZTOR, L. National level assessment of soil salinization and structural degradation risks under irrigation. *Hungarian Geographical Bulletin*, v.68, n.2, p.141-156, 2019.

BARROSO, A. DE A. F.; GOMES, G. E.; LIMA, A. E. DE O.; PALÁCIO, H. A. DE Q.; LIMA, C. A. DE. Avaliação da qualidade da água para irrigação na região Centro Sul no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.6, p.588-593, 2011.

BATARSEH, M. Sustainable management of calcareous saline-sodic soil in arid environments: the leaching process in the Jordan valley. *Applied and Environmental Soil Science*, v.2017, n.3, p.1-9, 2017.

BATISTA, A. C. D. O. N.; SOUZA, S. O.; CORREIA, V. M. S.; AQUINO, M. D.; LIMA NETO, I. E.; SILVA, F. J. A. Variabilidade hidroquímica em dois reservatórios no semiárido brasileiro. *Brazilian Journal of Development*, v.6, n.3, p.13698-13712, 2020.

BAYER, C. Manejando os solos agrícolas para alta qualidade em ambientes tropicais e subtropicais. In: FERTBIO, 26, 2004, Lages. *Anais...Lages*, 2004.

BERG, M. VAN DEN; OLIVEIRA, J. B. Variability of apparently homologeneous soils in São Paulo state, Brazil: I. Spatial analysis. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, n.2, p.377-391, 2000.

BERNARDO, S. Manual de Irrigação. 6.a ed. Viçosa: UFV, 1995.

BESSER, H.; MOKADEM, N.; REDHOUANIA, B.; RHIMI, N.; KHLIFI, F.; AYADI, Y.; OMAR, Z.; BOUAJILA, A.; HAMED, Y. GIS-based evaluation of groundwater quality and estimation of soil salinization and land degradation risks in an arid Mediterranean site (SW Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, v.10, e350, 2017.

BLEY JR., C. Erosão Solar: riscos para a agricultura nos trópicos. *Ciência Hoje*, v.25, n.148, p.24-29, 1999.

BOARETO, L. C.; CORDEIRO, H. V.; SANTOS, E. A.; SILVA, P. T. S.; ALBUQUERQUE JUNIOR, E. C. Qualidade da água do canal do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho em Petrolina (PE) para fins de irrigação: conhecimento importante para os produtores. In: Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, 34, 2014, Monterrey. *Anais...Monterey*, 2014.

BORTOLINI, L.; MAUCIERI, C.; BORIN, M. A tool for the evaluation of irrigation water quality in the arid and semi-arid regions. *Agronomy*, v.8, n.2, p.23, 2018.

BOUKSILA, F.; BAHRI, A.; BERNDTSSON, R.; PERSSON, M.; ROZEMA, J.; ZEE, S. E. A. T. M. VAN DER. Assessment of soil salinization risks under irrigation with brackish water in semiarid Tunisia. *Environmental and Experimental Botany*, v.92, p.176-185, 2013.

BRAGA, R. A.; CABRAL, J. J.; MONTENEGRO, S. M.; PERRIER JÚNIOR, G. S. Conservação dos recursos hídricos em brejos de altitude: o caso de Brejo dos Cavalos, Caruaru, PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.3, p.539-546, 2002.

BRITO, L. T. DE L.; SILVA, A. D. S.; SRINIVASAN, V. S.; GALVÃO, C. DE O.; GHEYI, H. R. Uso de análise multivariada na classificação das fontes hídricas subterrâneas da bacia hidrográfica do Salitre. *Engenharia Agrícola*, v.26, n.1, p.36-44, 2006.

BRITO, L. T. DE L.; SRINIVASAN, V. S.; SILVA, A. DE S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO C. DE O.; HERMES, L. C. Fatores relacionados a salinidade das águas da Bacia hidrográfica do Salitre. In: *Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva*, 4, 2003, Juazeiro. *Anais...Juazeiro*, 2003.

BUARQUE, N. M. S.; CARVALHO, S. M. C.; PEREIRA, M. O. Avaliação da qualidade da água do açude colina, Quiterianópolis, Ceará, Brasil após evento de floração de cianobactérias. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 2013, Bento Gonçalves. *Anais...Bento Gonçalves*, 2013.

BYERS, E.; GIDDEN, M.; LECLÈRE, D.; BALKOVIC, J.; BUREK, P.; EBI, K.; GREVE, P.; GREY, D.; HAVLIK, P.; HILLERS, A.; JOHNSON, N.; KAHIL, T.; KREY, V.; LANGAN, S.; NAKICENOVIC, N.; NOVAK, R.; OBERSTEINER, M.; PACHAURI, S.; PALAZZO, A.; PARKINSON, S.; RAO, N.D.; ROGELJ, J.; SATOH, Y.; WADA, Y.; WILLAARTS, B.; RIAHI, K. Global exposure and vulnerability to multi-sector development and climate change hotspots. *Environmental Research Letters*, v.13, n.5, e055012, 2018.

CABALEIRO, S. M. O. L. Investigação geoquímica como instrumento de gestão ambiental - sub-bacia do córrego Sarandi, Minas Gerais. 210f. Tese (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

CÂMARA, G.; QUEIROZ, G. R. Arquitetura de sistemas de informações geográficas. In: Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A.M.V. *Introdução à ciência da geoinformação*. São José dos Campos. 2001. 345p. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2024.

CAMINHA, M. P. Classificação de qualidade da água para irrigação em microbacia hidrográfica em condições semiáridas. 44f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental). Departamento de Engenharia e Ciências Ambientais. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2022.

CAMPOS, C. W. M.; PONTE, F. C.; MIURA, K. Geology of the Brazilian Continental Margin. In: BURK, C. A.; DRAKE, C. L. (eds). *The Geology of Continental Margins*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1974.

CAMPOS, V. B.; CAVALCANTE, L. F. Salinidade da água e biofertilizante bovino: efeito sobre a biometria do pimentão. *Holos*, v.2, n.1, p.10-20, 2009.

CANO, É. V. Métodos de interpolação da batimetria adquirida por veículo de superfície não tripulado. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais, Geoprocessamento Aplicado). Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2022.

CARNEIRO, M. D. F.; INGÁ, M. A. M.; SILVA FILHO, H. A.; SANTOS, E. V. M.; ROLIM, H. O.; CHAVES, J. R. Avaliação da Qualidade da Água para Irrigação no Perímetro Irrigado Jaguaribe Apodi no Município de Limoeiro do Norte-CE. In: CONNEPI, 7, 2012, Palmas. Anais...Palmas, 2012.

CARVALHO, A. K. N. DE. Hidroquímica de águas superficiais e subterrâneas em Carnaúba do Dantas/RN e aspectos associados ao uso humano e na irrigação. 160f. Dissertação (Mestrado). Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2021.

CARVALHO, A. K. N.; SOUZA, R. F.; OLIVEIRA, S. D. S. Qualidade de águas superficiais e subterrâneas para irrigação em um município do semiárido do estado do Rio Grande do Norte. Pesquisas em Geociências, v.49, n.2, e119720, 2022.

CARY, L.; PETELET-GIRAUD, E.; BERTRAND, G.; KLOPPMANN, W.; AQUILINA, L.; MARTINS, V.; HIRATA, R.; MONTENEGRO, S.; PAUWELS, H.; CHATTON, E.; FRANZEN, M.; AUROUET, A.; LASSEUR, E.; PICOT, G.; GUERROT, C.; FLÉHOC, C.; LABASQUE, T.; SANTOS, J. G.; PAIVA, A.; BRAIBANT, G.; PIERRE, D. Origins and processes of groundwater salinization in the urban coastal aquifers of Recife (Pernambuco, Brazil): A multi-isotope approach. Science of The Total Environment, v.530-531, p.411-429, 2015.

CARY, L.; PETELET-GIRAUD, E.; MONTENEGRO, S.; HIRATA, R.; MARTINS, V.; AUROUET, A.; PAUWELS, H.; KLOPPMANN, W.; AQUILINA, L. Groundwater salinization in a coastal multilayer aquifer: preliminary results on origins and mechanisms-example of Recife (Brazil). Procedia Earth and Planetary Science, v.7, p.118-122, 2013.

CASTRO, F. C.; SANTOS, A. M. DOS. Salinidade do solo e risco de desertificação na região semiárida. Mercator, v.19, e19002, 2020.

CASTRO, F. C.; SANTOS, A. M. DOS. Susceptibilidade ambiental a salinização das terras em municípios da microrregião de Petrolina - Pernambuco – Brasil. Caminhos de Geografia, v.16, n.56, p.160-172, 2015.

CAVALCANTE, L. F. et al. Água para agricultura: irrigação com água de boa qualidade e água salina. In: O maracujazeiro amarelo e a salinidade da água. João Pessoa: Sal da Terra, 2012. p.17-65.

CAVALCANTE, T. R. B.; ANJOS, D. C.; HERNANDEZ, F. F. F.; ARAÚJO, E. A.; DIAS, I. F. Qualidade de águas superficiais e subterrâneas do município de Jaguaruana–Ceará; In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 2017, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2017.

CAVALCANTI, B. F. Padrão Quali para Interpretação da qualidade de águas naturais para usos municipais e de irrigação. Revista Roteiro, v.1, n.3, 1994.

CEBALLOS, B. S. O.; ALBUQUERQUE, J. D. P. T.; MARACAJÁ, J. R. DE A.; PINHEIRO, K. M.; GALVÃO, M. J. DA T. G.; GUIMARÃES, A. O.; SRINIVASAN, V. S. Distribuição da qualidade da água subterrânea da bacia sedimentar do Rio do Peixe–PB. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 8, 2006, Gravatá. Anais...Gravatá, 2006.

CHAVES, A. D. C. G.; ALMEIDA, R. R. P. DE; CRISPIM, D. L.; SILVA, F. T. DA; FERREIRA, A. C. Monitoramento e qualidade das águas do Rio Piranhas. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v.10, n.1, p.160-164, 2015.

CHAVES, L. C. G.; ANDRADE, E. M.; FEITOZA, R. M.; RODRIGUES, J. O.; ALEXANDRE, D. M. B. Distribuição espacial da qualidade da água superficial para irrigação no Estado do Ceará. In: Simpósio Brasileiro de Salinidade, 2010, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2010.

CICHOTA, R.; VAN LIER, Q. J.; LEGUIZAMÓN ROJAS, C. A Variabilidade espacial da taxa de infiltração em Argissolo Vermelho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, n.5, p.789-798, 2003.

COGERH. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. 2018. Anuário do Monitoramento Qualitativo dos Principais Açudes do Estado do Ceará 2017. Fortaleza.

CORDEIRO, G. Aspectos gerais sobre a salinidade em áreas irrigadas: origem, diagnóstico e recuperação. In: Seminário de Irrigação e Drenagem, 3, 1988, Cruz das Almas. Anais...Cruz das Almas, 1988.

CORREIA FILHO, F. L.; ANDRADE, J. B. F.; MONTEIRO, A. B.; FONTES, S. L.; FEITOSA, E. C.; SOARES FILHO, A. R.; SOUSA, N. G.; BARRADAS, M. T. Hidroquímica do aquífero cabeças na borda sudeste da bacia sedimentar do Parnaíba-PI. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15, 2008, Natal. Anais...Natal: ABAS, 2008.

COSTA, A. M. B. Zoneamento hidroquímico do aquífero cristalino do Rio Grande do Norte. 169f. Dissertação (Mestrado Geociências). Departamento Geologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2002.

COSTA, A. M. DE B.; MELO, J. G. DE; SILVA, F. M. DA. Aspectos da salinização das águas do aquífero cristalino no Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. Águas Subterrâneas, v.20, n.1, p.67-82, 2006.

COSTA, G. B. R.; PALÁCIO, H. A. DE Q.; ARAÚJO NETO, J. R. DE; SANTOS, D. L. DOS; ARAÚJO, D. P. DE. Proposta de índice de salinidade dos reservatórios do alto Jaguaribe além da variabilidade temporal. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, 5, 2017, João Pessoa. Anais...João Pessoa, 2017.

COSTA, J. G.; MARTINS, J. S.; COSTA FILHO, W. S.; FRANCO, S. P. B.; SANTOS, A. F. Caracterização físico-química e microbiológica da água disponibilizada no canal do sertão alagoano. In: Congresso Nacional da Diversidade do Semiárido, 1, 2018, Natal. Anais...Natal, 2018.

COSTA, R. G.; GHEYI, H. R. Variação da qualidade de água de irrigação da microrregião de Catolé do Rocha, PB. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.19, n.8, p.1021-1025, 1984.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Diretoria de Geologia e Recursos Minerais. Geologia do Brasil. 2004. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/4de151f5-6d20-4e87-b49c-c9b0ea65440c>. Acesso em: 22 de maio de 2024.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2014. Mapa Hidrogeológico do Brasil. Escala: 1:5.000.000.

D'ALMEIDA, D. M. B. A.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M. Importância relativa dos íons na salinidade de um Cambissolo na Chapada do Apodi, Ceará. Engenharia Agrícola, v.25, n.3, p.615-21, 2005.

DAMASCENO, L. M. O.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. D.; DIAS, N. D. S.; FRANCO, J. L. D.; SILVA, Ê. F. D. F. Aspectos qualitativos da água do Rio Poty na região de Teresina, PI. Revista Ciência Agronômica, v.41, n.1, p.139-148, 2010.

DAMASCENO, M. B. Aspectos químicos de águas e sedimentos em corpos hídricos superficiais nos rios Guajiru e do Mudo, Bacia Hidrográfica do Rio Doce/RN. 132f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Centro de Biociências. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2018.

DANTAS NETO, J.; FALCÃO, J. B.; FARIAS, S. A. R.; CHAVES, L. H. G. Qualidade das águas da sub-bacia do Rio Taperoá, para fins de irrigação. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.9, n.2, p.138-144, 2009.

DANTAS, F. P. S. Avaliação da composição iônica e aplicação de um índice de qualidade ambiental para a água de irrigação no Rio Açu, RN. 67f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2011.

DEHBANDI, R.; ABBASNEJAD, A.; KARIMI, Z.; HERATH, I.; BUNDSCHUH, J. Hydrogeochemical controls on arsenic mobility in an arid inland basin, southeast of Iran: the role of alkaline conditions and salt water intrusion. Environment Pollut, v.249, p.910–922, 2019.

DONEEN, L. D. Notes on water quality in Agriculture. Water Science and Engineering Paper 4001. Department of Water Science and Engineering, University of California. 1964.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Mapa de solos do Brasil no primeiro nível categórico. Disponível em: <https://geoinfo.cnps.embrapa.br/documents/2489>. Acesso em: 22 de maio de 2024.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos-SiBCS. (org) SANTOS, H. G. DOS; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. A. DE; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. DE; ARAUJO FILHO, J. C. DE; OLIVEIRA, J. B. DE; CUNHA, T. J. F. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.

ENDO, T.; YAMAMOTO, S.; LARRINAGA, J.A.; FUJIYAMA, H.; HONNA, T. Status and Causes of Soil Salinization of Irrigated Agricultural Lands in Southern Baja California, Mexico. Applied and Environmental Soil Science, v.2011, n.1, p.1-12, 2011.

ERIKSSON, M.; EBERT, K.; JARSJÖ, J. Well Salinization Risk and Effects of Baltic Sea Level Rise on the Groundwater-Dependent Island of Öland, Sweden. Water, v.10, n.2, e141, 2018.

ESRI. 2024. Mapa Topográfico Mundial. Disponível em: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>. Acesso em: dezembro de 2024.

FANTI, C. E. Reconstrução de superfícies tridimensionais utilizando B-splines com peso associado à redução do número de pontos de controle. 125f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2016.

FAO. 2011. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/solaw/solaw-home/en/>>. Acesso em: 7 de junho de 2024.

FARIAS, C. H. D. A.; SOBRINHO, J. E.; MEDEIROS, J. F. D.; COSTA, M. D. C.; NASCIMENTO, I. B. D.; SILVA, M. C. D. C. Crescimento e desenvolvimento da cultura do melão sob diferentes lâminas de irrigação e salinidade da água. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.3, p.445-450, 2003.

FERNANDES, J. G. Caracterização de águas e solos do perímetro irrigado Cachoeira II, Serra Talhada-PE. 91f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Departamento de Agronomia. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

FERNANDES, J. G.; FREIRE, M. B. D. S.; CUNHA, J. C.; GALVÍNCIO, J. D.; CORREIA, M. M.; SANTOS, P. R. Qualidade físico-química das águas utilizadas no Perímetro Irrigado Cachoeira II, Serra Talhada, Pernambuco. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.4, n.1, p.27-34, 2009.

FERNANDES, J. G.; FREIRE, M. B. G. S.; CUNHA, J. C.; GALVÍNCIO, J. D.; CORREIA, M. M.; SANTOS, P. R. Qualidade físico-química das águas utilizadas no Perímetro Irrigado Cachoeira II, Serra Talhada, Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.4, p.27-34, 2009.

FERREIRA L. L. N.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. F.; ARRUDA, L. E. V.; VALE, C. N. C.; LEMOS FILHO, L. C. A. Dependência espacial da qualidade da água para irrigação em reservatório superficial do semiárido. In: INOVAGRI Internacional Meeting, 3, 2015, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2015.

FERREIRA, P. M. L.; QUEIROZ, M. M. F.; SOUSA, T. M. I.; GARRIDO, J. W. A.; COSTA, F. F. Qualidade físico-química da água para irrigação do Rio Piancó Piranhas Açu na cidade de Pombal–PB. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.9, n.4, p.78-83, 2014.

FIGUEIRÊDO, A. F. R.; CALASANS, N. A. Risco de salinização dos solos da bacia hidrográfica do rio colônia - sudeste da Bahia/Brasil. *Engevista*, v.10, n.1, p.15-26, 2008.

FIGUEREDO JUNIOR, L. G. M.; FERREIRA, J. R.; FERNANDES, C. N. V.; ANDRADE, A. C.; AZEVEDO, B. M.; SARAIVA, K. R. Avaliação da qualidade da água do distrito de irrigação Tabuleiros Litorâneos do Piauí-Ditalpi. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.7, n.3, p.213-223, 2013.

FONTES JÚNIOR, R. V. P.; MONTENEGRO, A. A. A. Temporal dependence of potentiometric levels and groundwater salinity in alluvial aquifer upon rainfall and evapotranspiration. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.22, e54, 2017.

FONTES, A. S. Vulnerabilidade à salinização das águas superficiais da bacia do rio Jacuípe por meio de traçadores ambientais. 32f. Tese (Doutorado em Geofísica). Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2008.

FRANCISCO, P. R. M.; SOUSA, J. H. S. DE; RIBEIRO, G. DO N.; RODRIGUES, R. C. M. Potencial de captação e armazenamento de água de chuva para residências do Estado da Paraíba utilizando modelagem por Interpolação B-Spline Multinível. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, v.13, n.3, p.361-374, 2023.

FRANCISCO, P. R. M.; SOUSA, J. H. S. DE; RIBEIRO, G. DO N.; SILVA, J. N.; SABOYA, L. F.; NASCIMENTO, F. S. DO. Estimation of the salinity of groundwater in the state of Paraíba using interpolation and modeling. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, v.13, n.3, p.361-374, 2024.

FRANCISCO, P. R. M.; SOUSA, J. H. S. DE; RIBEIRO, G. DO N.; SILVA, J. N.; SABOYA, L. F.; CHAVES, L. H. G.; NASCIMENTO, F. S. DO. Salinity of Surface Water in the State of Paraíba Geospatialized by Multi-Level B-Spline Modeling. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, v.13, n.3, p.361-374, 2024.

FROTA JÚNIOR, J. I. Variabilidade espacial e temporal da qualidade das águas no trecho perenizado na Bacia Hidrográfica do Curu, Ceará.100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2006.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Secretaria dos Recursos Hídricos. Governo do Estado do Ceará. Qualigraf. 2023. Disponível em: <https://qualigraf.funceme.br/page/6>. Acesso em: 1 de janeiro de 2024.

GASTALDINI, M. C. C. Estudo comparativo de índices de qualidade da água: Aplicação ao reservatório do Arroio Vacacaí-Mirim. In: Simpósio Luso-Brasileiro de Eng. Sanitária e Ambiental, 8, 1998, João Pessoa. Anais...João Pessoa, 1998.

GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Paraíba: UFPB. 1997.

GLEICK, P. H. China and Water. In: GELICK, P. H.; MORIKAWA, C. M.; PALANIAPPAN, M.; MORRISON, J.; COHEN, M. J. The World's Water 2008-2009: The Biennial Report on Freshwater Resources. Island Press, Washington DC, 2009.

GOLDSMAN, D. Introduction to simulation. In: Winter Simulation Conference, 2007, Washington. Anais...Washington, 2007.

GRASS-GIS. Geographic Resource Analysis Support System. 2024. Disponível em: <http://grass.osgeo.org>.

GUEDES, T. A.; SANTOS, J. D.; FEITOSA, A. K.; NOGUEIRA, D. H. Qualidade das águas subterrâneas e superficial da comunidade de Barro Vermelho, município de Aurora, Ceará, para fins de irrigação. Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária, v.10, n.3, p.37-44, 2016.

HIRATA, R.; SUHOGUSOF, A. V. How much do we know about the groundwater quality and its impact on Brazilian society today? Acta Limnologica Brasiliensia, v.31, e109, 2019.

HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A. Qualidade da água para irrigação In: Gheyi, H.R.; Queiroz, J.E.; Medeiros, J.F. de. (Ed.). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB. cap. 5. p.137-69. 1997.

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

IBGE. 2003. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Hidroquímica dos mananciais de superfície Região Nordeste. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geologia/levantamento_hidrogeologico_e_hidroquimico/mapas/regionais/nordeste_hidroquimica_superficial.pdf, Acesso em: 20 de julho de 2024.

IBGE. 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Atlas Nacional do Brasil. Santos, M. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/atlas/nacional/atlas_nacional_do_brasil_2010/2_territorio_e_meio_ambiente/atlas_nacional_do_brasil_2010_pagina_83_classificacao_das_aguas_superficiais_para_fins_de_irrig.pdf. Acesso em: 2 de junho de 2024.

IBGE. 2013. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa Hidrogeológico Região Nordeste. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geologia/levantamento_hidrogeologico_e_hidroquimico/mapas/regionais/nordeste_hidrogeologico.pdf. Acesso em: 20 de julho de 2024.

IBGE. 2021. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas territoriais. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 10 de abril de 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Atlas Nacional do Brasil. SANTOS, M. 2010. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/atlas/nacional/atlas_nacional_do_brasil_2010/2_territorio_e_meio_ambiente/atlas_nacional_do_brasil_2010_pagina_83_classificacao_das_aguas_superficiais_para_fins_de_irrig.pdf. Acesso em: 2 de junho de 2024.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. 2024. Séries Históricas de Monitoramentos da Qualidade das Águas Superficiais no Estado de Minas Gerais (2º e 3º Trim-2023). Belo Horizonte. Disponível em: <http://repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/handle/123456789/4673>. Acesso em: junho de 2024.

ISLAM, S. M. D.; BHUIYAN, M. A. H.; RUME, T.; AZAM, G. Hydrogeochemical investigation of groundwater in shallow coastal aquifer of Khulna District, Bangladesh. *Applied Water Science*, v.7, n.8, p.4219-4236, 2017.

JARQUE, C. M.; BERA, A. K. A test for normality of observations and regression residuals. *International Statistical Review*, v.55, p.163-172, 1987.

JIANG, Y.; ZHANG, N. Applications of scattered interpolation with multilevel B-splines to magnetic anomaly data. *Near Surface Geophysics*, v.11, n.5, p.579-585, 2013.

KAREN, A. B.; FERNANDO, P. S.; ROSANA, B. T. Hot spring resort development in Laguna Province, Philippines: Challenges in water use regulation. *Journal of Hydrology*, v.11, p.96-106, 2017.

- KAYA, H.; HARDY, D. J.; SKEEL, R. D. Multilevel summation for periodic electrostatics using B-splines. *Journal Chemical Physics*, v.154, n.14, e4105, 2021.
- KELLEY, W. P. Use of saline irrigation water. *Soil Science*, v.95, n.6, p.385-391, 1963.
- KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; STURROCK, D. T. *Simulation with Arena*. 4.a ed. Ed. McGraw-Hill. 2007.
- KENDALL, M. A.; STUART, A. *The advanced theory of statistics*. 2 ed. Londres: Charles Griffin. 1967.
- KHAN, M. A.; ABDULLAH, Z. Salinity – sodicity induced changes in reproductive physiology of rice (*Oryza sativa L.*) under dense soil conditions. *Environmental and Experimental Botany*, v.49, n.2, p.145-157, 2003.
- KREIS, M. B.; TAUPIN, J. D.; LACHASSAGNE, P.; PATRIS, N.; MARTINS, E. S. P. R. Transpiration from crystalline unconfined aquifers as the cause of groundwater salinization in a semiarid area of Brazil. *Hydrogeology Journal*, v.32, p.739-758, 2024.
- KREIS, M. Origine et dynamique de salinité des aquifères fracturés cristallins de la région semi-aride du Ceará, Brésil. 440f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Ceará. Université de Montpellier (France). 2021.
- KREIS, M.; TAUPIN, J. D.; PATRIS, N.; VERGNAUD-AYRAUD, V.; LEDUC, C.; LACHASSAGNE, P.; BURTE, J. D. P.; MARTINS, E. S. P. R. Explaining the groundwater salinity of hard-rock aquifers in semi-arid hinterlands using a multidisciplinary approach. *Hydrology Science Journal*, v.68, n.15, p.2189-2207, 2023.
- KREIS, M.; TAUPIN, J. D.; PATRIS, N.; MARTINS, E. S. Isotopic characterisation and dating of groundwater recharge mechanisms in crystalline fractured aquifers: example of the semi-arid Banabuiú watershed (Brazil). *Isot Environ Health Stud*, v.56, n.5-6, p.418-430, 2020.
- KULMATOV, R.; MIRZAEV, J.; ABUDUWAILI, J.; KARIMOV, B. Challenges for the sustainable use of water and land resources under a changing climate and increasing salinization in the Jizzakh irrigation zone of Uzbekistan. *Journal of Arid Land*, v.12, p.90-103, 2020.
- LARAQUE, A. Estudo e previsão da qualidade química da água dos açudes do Nordeste. Recife: SUDENE. 1989. 97p. (SUDENE. Hidrologia, 26).
- LARAQUE, A. Estudo e previsão da quantidade de água de açudes do nordeste semi-árido brasileiro. Recife: SUDENE, 1989. 65p. Série Hidrológica, 26.
- LEE, B. G.; LEE, J. J.; KWON, K. R. Quasi-interpolants Based Multilevel B-Spline Surface Reconstruction from Scattered Data. In: GERVASI, O. et al. *Computational Science and Its Applications*. ICCSA 2005. Lecture Notes in Computer Science v.3482. Springer, Berlin, Heidelberg. 2005a.

LEE, B. G.; LEE, J. J.; YOO, J. An efficient scattered data approximation using multilevel B-splines based on quasi-interpolants. In: International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling, 5, 2005, Ottawa. Anais...Ottawa. 2005b.

LEE, S.; WOLBERG, G.; SHIN, S. Scattered data interpolation with multilevel bsplines. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, v.3, n.3, p.228-244, 1997.

LEITE, L. M. Caracterização da qualidade da água superficial na bacia Capiá-AL, para fins de irrigação. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, 1991.

LEPRUN, J. C. Primeira avaliação das águas superficiais do Nordeste. Relatório de fim de convênio de manejo e conservação do solo no Nordeste Brasileiro (1982 -1983). SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. ORSTOM. Office de Larecherche Scientifique Ettechnique Outre-Mer-França. Recife, 1983. 291p.

LILLIEFORS, H. W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. Journal of the American Statistical Association, v.62, n.318, p.399-402, 1967.

LIMA, A. DE O.; LIMA-FILHO, F. P.; DIAS, N. DA S.; CHIPANA-RIVERA, R.; FERREIRA NETO, M.; SOUZA, A. DE M.; REGO, P. R. DO A.; FERNANDES, C. DOS S. Variation of the water table and salinity in alluvial aquifers of underground dams in the semi-arid region of Rio Grande do Norte. Brazil. Bioscience Journal, v.35, n.2, p.477-484, 2019.

LIMA, A. O.; DIAS, N. S.; FERREIRA NETO, M.; SANTOS, E. J.; REGO, P. R. A.; LIMA-FILHO, F. P. Barragens subterrâneas no semiárido Brasileiro: Análise histórica e metodologia de construção. Irriga, v.18, n.2, p.200-211, 2013.

LIMA, E. A. DE; BERALDO, V. J.; GUILERA, S. C.; BRANDÃO, L. C. R.; COSTA, E. A.; COUTINHO, R. M. P. Mapa de classificação química das águas subterrâneas da região Nordeste do Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 18, 2009, Campo Grande. Anais...Campo Grande, 2009.

LIMA, E. A. DE; NASCIMENTO, D. A. DO; BRANDÃO, L. C. R. Mapa Hidroquímica dos Mananciais Subterrâneos da Folha Souza (SB.24-Z-A). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências. IBGE, 2004.

LIMA, L. A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: Gheyi, H.R.; Queiroz, J.E.; Medeiros, J.F. de (Ed.). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB. 1997. p.113-133.

LIMA, M. H. R. Avaliação hidrogeoquímica dos reservatórios Jacarecica I e Macela situados na bacia hidrográfica do rio Sergipe, Nordeste Brasil. 77f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2020.

LIN, D.; HU, C.; LIAN, F.; WANG, J.; GU, X.; YU, Y. Risk Assessment of World Corn Salinization Hazard Factors Based on EPIC Model and Information Diffusion. *Land*, v.12, n.11, e2076, 2023.

LOBATO, F. A. O.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; CRISÓSTOMO, L. A. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação do Distrito Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v.39, n.1, p.167-172, 2008.

LOPES, L. B.; TEIXEIRA, A. S.; ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; ARAÚJO, L. F. P. Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e geoprocessamento. *Revista Ciência Agronômica*, v.39, n.3, p.392-402, 2008.

LYCHE, T.; MANNI, C.; SPELEERS, H. Foundations of Spline Theory: B-Splines, Spline Approximation, and Hierarchical Refinement. In: Lyche, T.; Manni, C.; Speleers, H. (eds) *Splines and PDEs: From Approximation Theory to Numerical Linear Algebra*. Mathematics, v.2219. Springer, Cham, 2018.

MAGALHÃES, M. S.; PINHEIRO, A. A. F.; RODRIGUES, F. M.; MESQUITA, P. R. R. Análise da qualidade da água utilizada para irrigação em propriedades rurais de Cravolândia, BA, Brasil. *Research, Society and Development*, v.11, n.11, e314111133521, 2022.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.; OLIVEIRA, M. Classificação da composição iônica da água de irrigação usando regressão linear múltipla. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.1, p.55-59, 2001.

MANCINI, L. H. Migração de ^{226}Ra e ^{228}Ra nas águas superficiais e subterrâneas no Complexo Alcalino do Barreiro de Araxá (MG). 167f. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2002.

MANN, H. B. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, v.13, n.3, p.245-259, 1945.

MARTINS, L. H. Avaliação da qualidade da água nos mananciais superficiais disponíveis para irrigação na zona Oeste Potiguar. Monografia. Escola Superior de Agricultura de Mossoró. Mossoró, 1993.

MATTA, M. A. S.; CAVALCANTE, I. N.; ASSIS, J. F. P.; MELO, C. R.; MELO, C. R.; DINIZ, C. G.; VASCONCELOS, Y. B.; VANZIN, M. M.; CARMONA, K. M. Qualidade das Águas Tributárias do rio Amapari nas áreas de influência das Mineradoras MMX (Ferro) e MPBA (ouro) no estado do Amapá. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 1, 2010, São Luiz. Anais... São Paulo: ABAS, 2010.

MEDEIROS, J. F. Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados do RN, PB e CE. 173f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 1992.

MEDEIROS, J. F.; DIAS, N. D. S.; BARROS, A. D. Manejo da irrigação e tolerância do meloeiro a salinidade da água de irrigação. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.3, n.3, p.242-247, 2008.

MEIRELES, A. C. M.; FRISCHKORN, H.; ANDRADE, E. M. Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, bacia do Acaraú, no Semiárido cearense. *Revista Ciência Agronômica*, v.38, n.1, p.25-31, 2007.

MELO, M. R. S. Lixiviação de nutrientes em lisímetros de drenagem na presença de polímero hidroabsorvente. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2007.

MELO, R. F.; OLIVEIRA, A. R. DE; SILVA, M. R. B. DA; SANTOS, J. M. R. DOS. Avaliação da qualidade de água de poço em barragens subterrâneas no Semiárido Paraibano. In: *Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva*, 10, 2016, Belém. Anais...Belém, 2016.

MENDES, J. DA S.; CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. DE B. Qualidade de águas para fins de irrigação da região do Congo, PB. *Revista Caatinga*, v.21, n.2, p.131-138, 2008.

MÖBÜS, G. QUALIGRAF. Programa para análise da qualidade de água. 2003. Fortaleza: Fundação Cearense Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

MONTEIRO, A. F. M.; YAMAMOTO, A. L. C.; SILVA, P. N.; REBOITA, M. S. Conhecer a complexidade do sistema climático para entender as mudanças climáticas. *Terræ Didática*, v.17, p.1-12, 2021

MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; RAGAB, R. Improving agricultural water management in the semi-arid region of Brazil: experimental and modelling study. *Irrigation Science*, v.28, n.4, p.301-316, 2010.

MOON, S.; KO, K. A point projection approach for improving the accuracy of the multilevel B-spline approximation. *Journal of Computational Design and Engineering*, v.5, n.1, p.73-179, 2018.

MOREIRA, V. O. G.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, E. DA. Salinidade da água do rio Curu-Ceará no período de estiagem. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.10, n.2, p.507-514, 2016.

MORRIS, B. L.; LAWRENCE, A. R. L.; CHILTON, P. J. C.; ADAMS, B.; CALOW, R. C.; KLINCK, B. A. Groundwater and its susceptibility to degradation: a global assessment of the problem and options for management: early warning and assessment report series. United Nations Environment Programme, 2003.

MOTA, L. H. DA S. DE O.; GOMES, A. DA S.; VALLADARES, G. S.; MAGALHÃES, R. M. F.; LEITE, H. M. F.; SILVA, T. A. DA. Risco de salinização das terras do baixo Acaraú (CE). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, n.4, p.1203-1209, 2012.

NASCIMENTO, S. L.; SILVA, C. M.; SILVA, M. F.; SILVA, W. A. Qualidade da água de irrigação na região Tocantina do estado do Maranhão, Brazil. *Concilium*, v.24, n.3, p.259-272, 2024.

NEVES, M.; ALVES, J. D. P. H.; FONSECA, L. C.; MACEDO, L. C. B. Qualidade da água do reservatório Jaime Umbelino–Barragem do Poxim/Sergipe. *Interfaces Científicas-Saúde e Ambiente*, v.5, n.1, p.81-94, 2016.

NEVES, S. P. Proterozoic history of the Borborema province (NE Brazil): Correlations with neighboring cratons and Pan-African belts and implications for the evolution of western Gondwana. *Tectonics*, v.22, p.1031-1045, 2003.

NOBRE, M. E. S.; GOMES, D. F.; VASCONCELOS, S. M. S.; FRISCHKORN, H.; LIMA NETO, I. O.; FERREIRA, S. K.; SOUZA, D. P. Estudo hidroquímico-ambiental do aquífero aluvionar do baixo Jaguaribe, Itaçaba–Ceará. *Revista do Instituto Geológico*, v.39, n.3, p.77-92, 2018.

NOËL, L.; SCHMIDT, M.; MESSE, C.; EVANS, J.A.; MAUTE, K. Adaptive level set topology optimization using hierarchical B-splines. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, v.62, p.1669-1699, 2020.

NUNES FILHO, J.; SOUSA, A. R.; SÁ, V. A. L.; LIMA, B. P. Relações entre a concentração de íons e a salinidade de águas subterrâneas e superficiais, visando à irrigação, no sertão de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.2, p.189-193, 2000.

OLIVEIRA FILHO, R. A. Aspectos produtivos da rebrota de cultivares de sorgo irrigados com água salina. 65f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2016.

OLIVEIRA, A. B.; GOMES-FILHO, E.; ENÉAS-FILHO, J. O problema da salinidade na agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino. *Enciclopédia Biosfera*, v.6, n.11, p.1-16, 2010.

OLIVEIRA, F. M. DE; FARIAS, S. A. R.; CEBALLOS, B. S. O. DE; AZEVEDO, C. A. V. DE; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, A. K. DE. Diagnóstico de qualidade das águas da microbacia do riacho Angico, para fins de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.221-225, 2005.

OLIVEIRA, F. S. Efeitos da irrigação com água salina no crescimento inicial e na produção de fitomassa em clones de eucalipto. 63f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Vitória da Conquista, 2018.

OLIVEIRA, J. J.; CHAVES, L. H. G.; QUEIROZ, J. E.; LUNA, J. G. DE. Variabilidade espacial de propriedade química sem um solo salino-sódico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, n.4, p.783-789, 1999.

OLIVEIRA, M. DE; MAIA, C. E. Qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do estado do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.2, p.17-21, 1998.

OSORIO, D. S. Á.; LEÓN, J. C. M.; CONTRERAS, A. C. Bathymetric digital models generated by interpolation methods IDW, Kriging, Shepard and B-Spline in the archipelago of Rosario islands. *Revista Geomática*, v.5, p.3-14, 2011.

PALÁCIO, H. A. D. Q.; ANDRADE, E. M. D.; LOPES, F. B.; ALEXANDRE, D. M. B.; ARRAES, F. D. D. Similaridade da qualidade das águas superficiais da bacia do Curu, Ceará. *Ciência Rural*, v.39, n.9, p.2494-2500, 2009.

PALIWAL, K. Irrigation with saline water. Water Technology Centre, Indian Agriculture Research Institute, New Delhi. 1972. 198p.

PAZ, J. M. DE; VISCONTI, F.; ZAPATA, R.; SÁNCHEZ, J. Integration of two simple models in a geographical information system to evaluate salinization risk in irrigated land of the Valencian Community, Spain. *Soil Use and Management*, v.20, n.3, p.333-342, 2004.

PEARSON, K. Notes on regression and inheritance in the case of two parents. *Proceedings of the Royal Society of London*, v.58, p.240–242, 1895.

PEREIRA, L.; SANTIGO, M. M. F.; FRISCHKORN, H.; ARAÚJO, J. C. E LIMA, J. O. G. Hidroquímica de águas superficiais e subterrâneas da bacia de Gameleira, município de Aiuaba/CE. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2003, Cuiabá. *Anais...Cuiabá*, 2003.

PESSOA, A. L. Uma abordagem bayesiana para estudo estatístico e geoestatístico de estimativas de salinidade do solo utilizando sensor de indução eletromagnética. 103f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2006.

PESSOA, L. G. M.; FREIRE, M. B. G. D. S.; WILCOX, B. P.; GREEN, C. H. M.; ARAÚJO, R. J. T. DE; ARAÚJO FILHO, J. C. DE. Spectral reflectance characteristics of soils in northeastern Brazil as influenced by salinity levels. *Environment Monit. Assess.*, v.188, p.616, 2016.

PESSOA, L. G. M.; FREIRE, M. B. G. DOS S.; GREEN, C. H. M.; MIRANDA, M. F. A.; ARAÚJO FILHO, J. C. DE; PESSOA, W. R. L. S. Assessment of soil salinity status under different land-use conditions in the semiarid region of Northeastern Brazil. *Ecological Indicators*, v.141, e109139, 2022.

PISCOYA, V. C.; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, Y. J. A. B.; CUNHA FILHO, M.; SILVA, V. P. Implantação de barragem subterrânea e avaliação da qualidade da água na bacia hidrográfica semiárida do riacho jacu, Serra Talhada-PE. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 2012, Campina Grande. *Anais...Campina Grande*, 2012.

POLIZELLI JÚNIOR, V. Métodos implícitos para reconstrução de superfícies a partir de nuvens de pontos. 132f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Computação e Matemática Computacional). Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

QGIS. Development Team. 2024. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2024.

REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T. Climate system in a nutshell: An overview for understanding Climate change. *International Journal of Development Research*, v.12, e53365-53378, 2022.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. DA; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, p.185-204, 2010.

RIBEIRO, G. M.; MAIA, C. E.; MEDEIROS, J. F. Uso da regressão linear para estimativa da relação entre a condutividade elétrica e a composição iônica da água de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.1, p.15-22, 2005.

RIBEIRO, J. A.; MELO, F.; FEITOSA, F. A.; SILVA, C. M. V.; SANTIAGO, M. F. Contribuição hidroquímica para o conhecimento das bacias do Iguatu-CE. In: Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas, 181, 2000, Fortaleza. Anais...Fortaleza, 2000.

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

ROSA, R.; BRITO. Introdução ao geoprocessamento. Universidade Federal de Uberlândia, 1996. 142p.

RSTUDIO. Posit Software. 2023. Disponível em: <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>.

SABINO, S. M. L.; MACEDO, D. R. Relação entre dados pluviométricos primários e modelos geoestatísticos interpolados em escala global. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19, 2019, Santos. Anais...Santos, 2019.

SAGA. System for Automated Geoscientific Analyses. 2024. Disponível em: <https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html>. Acesso em: 24 de janeiro de 2024.

SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, n.1, p.115-122, 1998.

SANTOS, C. E. O. Qualidade da água do reservatório Poção da Ribeira: uma avaliação com base em técnicas estatísticas multivariadas e nos processos geoquímicos de salinização. 97f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2016.

SANTOS, J. R. G. A salinidade na agricultura irrigada: teoria e prática. Campina Grande, PB: UFPB. 2000. 171p.

SANTOS, J. S. D.; OLIVEIRA, E. D.; MASSARO, S. Avaliação da salinização de açudes no semi-árido brasileiro por ICP-AES. *Química Nova*, v.23, n.4, p.453-456, 2000.

SGB. Serviço Geológico do Brasil. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. SIAGAS WEB. Disponível em: <https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/>. Acesso em: 14 de janeiro de 2024.

SHALHEVET, J.; KAMBUROV, J. Irrigation and salinity: A worldwide survey. New Delhi: International Commission on Irrigation and Drainage, 1976. 106p.

SHAPIRO, A. S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, v.52, n.3/4, p.591-611, 1965.

SILVA FILHO, E. A. Avaliação de cultivares e progênies de sorgo irrigados com água salina na Zona da Mata de Pernambuco. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2016.

SILVA FILHO, S. B.; CAVALCANTE, L. F.; OLIVEIRA, F. A.; LIMA, E. M.; COSTA, J. R.M. Monitoramento da qualidade da água e acúmulo de sais no solo pela irrigação. *Irriga*, v.5, n.2, p.112-15, 2000.

SILVA JR., L. G. A.; GHEYL, H. R.; MEDEIROS, J. F. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, n.1, p.11-17, 1999.

SILVA JÚNIOR, J. N; SOUSA, A. R.; SÁ, V. A. Relações entre a concentração de íons e a salinidade de águas subterrâneas e superficiais visando à irrigação no sertão de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.2, p.189-193, 2000.

SILVA JÚNIOR, L. G. DE A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. DE. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, n.1, p.11-17, 1999.

SILVA, A. M. R. B.; MELO, R. R. C.; PEREIRA, J. F. Q.; SILVA, G. L.; METRI, M.; SILVA, A. M. S.; LIMA, E. S.; SILVA, V. L. Qualidade da água da barragem jazigo, no município de Serra Talhada, Semi-árido de Pernambuco-Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió. Anais...Maceió, 2011.

SILVA, E. B.; ARAÚJO NETO, J. R. Caracterização das variáveis hidroquímicas na sub-bacia do Alto Jaguaribe, Ceará utilizando análise multivariada e SIG. *Revista Engenharia na Agricultura*, v.24, n.5, 4p.17-426, 2016.

SILVA, E. F. F.; SILVA, A. S.; ANDRADE JÚNIOR, A.; HERMES, L. C.; BASTOS, E. A.; RUFINO, M. S. M. Características físico-químicas das águas subterrâneas do aquífero serra grande na

mesorregião sudeste piauiense. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 32, 2003, Goiânia. Anais...Goiânia, 2003.

SILVA, E. F. F.; SILVA, A. S.; ANDRADE JÚNIOR, A.; HERMES, L. C.; BASTOS, E. A.; RUFINO, M. S. M. Características físico-químicas das águas subterrâneas do aquífero serra grande na mesorregião sudeste piauiense. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 32, 2003, Goiânia. Anais...Goiânia, 2003.

SILVA, E. I. L. Quality of irrigation water in Sri Lanka – status and trends. Asian Journal of Water, Environment and Pollution, v.1, p.5-12, 2004.

SILVA, E. L. Processos geoquímicos que controlam a salinização dos reservatórios Carira e Coité, bacia do rio Vaza-Barris, Estado de Sergipe. 96f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2020.

SILVA, F. F.; CAVALCANTI, B. F. SILVA, A. M.; LACERDA, F. F.; ESPINEL, X. F. Apresentação e aplicação do padrão NMRH para diagnóstico da qualidade de águas naturais para usos municipais, irrigação e corrosividade em tubulações na Bacia do rio Paraíba/AL-PE. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e Encontro Latino Americano de Agrometeorologia, 1999, Florianópolis, Anais...Florianópolis, 1999.

SILVA, J. R. L.; ANDRADE, T. S.; SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A. Variabilidade temporal da precipitação pluviométrica no agreste de Pernambuco–Pesqueira. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 36, 2007, Bonito. Anais...Bonito, 2007.

SILVA, M. R. B. Avaliação da qualidade da água bruta superficial das Barragens de Bitá e Utinga de Suape aplicando estatística e sistemas inteligentes. 278f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2015.

SILVA, P. S. Avaliação de viabilidade de aplicação de técnicas de recarga artificial em aquíferos salinizados, fraturados, Petrolina, PE. 168f. Dissertação (Mestrado em Hidrogeologia e Meio Ambiente). Instituto de Geociências. Universidade de Brasília. Brasília, 2016.

SILVA, R. L.; FEITOSA, A. K.; BARROS, B. E. A.; BATISTA, P. H. D.; LEITE, F. E. Qualidade das águas superficiais do açude e do Rio Trussu no estado do Ceará, para fins de irrigação. Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária, v.10, n.3, p.45-48, 2016.

SILVA, R. R. M. Processos hidrogeoquímicos que controlam as características das águas dos reservatórios Poxim, Jacarecica II e Ribeira, situados no Estado de Sergipe. 84f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2021.

SILVA, T. C. Biomonitoramento da água na sub-bacia hidrográfica do rio Poxim, Sergipe. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Biologia). Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2016.

SILVEIRA, A. M. Avaliação da qualidade da água da bacia hidrográfica do Rio Sergipe usando análises multivariadas de dados. 120f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2014.

SILVEIRA, J. A. G.; MELO, A. R. B.; VIÉGAS, R. A.; OLIVEIRA, J. T. A. Salt-induced effects on the nitrogen assimilation related to growth in cowpea plants. *Environmental and Experimental Botany*, v.46, n.2, p.171-179, 2001.

SINGH, A. Groundwater recharge assessment and long-term simulation for managing the threat of salinization of irrigated lands. *Journal of Hydrology*, v.609, e127775, 2022.

SINGH, K. K.; TEWARI, G.; KUMAR, S. Evaluation of groundwater quality for suitability of irrigation purposes: a case study in the Udham Singh Nagar. Uttarakhand. *Journal of Chemistry*, v.2020, p.1-15, 2020.

SOUSA JÚNIOR, F. S.; SILVA, P. C. C. Avaliação da qualidade da água para irrigação dos açudes urbanos do município de Angicos-RN. *Conjecturas*, v.22, n.1, p.834-849, 2022.

SOUSA, J. B.; NASCIMENTO, F. R.; SOUZA, C. A. Qualidade da água na Bacia hidrográfica do Ribeirão Areado Alto Francisco, Estado de Minas Gerais em área de ocorrência de tufo e diferentes tipos solos, *Revista Caminhos de Geografia*, v.9, n.68, p.81-100, 2018.

SOUZA JR.; C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; OLIVEIRA, S. W. DE; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G. COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; WEBER, E. J.; LENTI, F. E. B.; PATERNOST, F. F.; PAREYN, F. G. C.; SIQUEIRA, J. V.; VIERA, J. L.; FERREIRA NETO, L. C.; SARAIVA, M. M.; SALES, M. H.; SALGADO, M. P. G.; VASCONCELOS, R.; GALANO, S.; MESQUITA, V. V.; AZEVEDO, T. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian Biomes with Landsat archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, v.12, e2735, 2020.

SOUZA, A. D. G. Diagnóstico ambiental integrado e subsídios ao estabelecimento de metas de qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Jaboatão (PE). 174f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais). Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2002.

SOUZA, E. R. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, T. E. M.; ANDRADE, T. S.; PEDROSA, E. R. Variabilidade espacial das frações granulométricas e de salinidade em um Neossolo flúvico do semi-árido. *Revista Ciência Rural*, v.38, n.3, p.698-704, 2008.

SOUZA, J. L. T.; VICENTE, M. R.; SOUZA, E. R.; GOMES, A. C. B.; SANTOS, R. M.; ALMEIDA, J. B. Irrigation water quality in the salinas salinas-mg region, Brazil. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.16, n.1, p.115-120, 2022.

SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo, em relação a sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, n.3, p.77-86, 1998.

SOUZA, M.; RIBEIRO, A. A. Qualidade da água para fins de irrigação em regiões áridas e semiáridas. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, v.13, n.4, p.355-359, 2019.

SOUZA, R. T. A. Anatomia e valor nutritivo de genótipos de capim-elefante de diferentes portes sob irrigação. 129f. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2019.

SPEARMAN, C. The Proof and Measurement of Association between Two Things. *The American Journal of Psychology*, v.15, n.1, p.72-101, 1904.

SPOSITO, G.; MATTIGOD, S. V. On the chemical foundation of the Sodium Adsorption Ratio. *Soil Science Society of America Journal*, v.41, p.323-329, 1977.

TARTARI, M. T. Qualidade e fitorremediação das águas superficiais e subterrâneas da zona urbana de Feira de Santana, Brasil. 56f. Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2021.

TAVARES, F. B. Análise espaço-temporal da salinidade da água em reservatório superficial nas condições semiáridas. 50f. Monografia (Bacharel em Agronomia). Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2018.

TIGRINE, C. D. A.; BOUTIBA, M. Salinization risk assessment of irrigated soils in the Souf Valley (South-East Algeria) using chemical analysis, multivariate statistics, and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, v.16, e438, 2023.

TOLEDO, L. G. Monitoramento dos impactos ambientais das atividades agrícolas na qualidade das águas superficiais. In: Universidade de Passo Fundo. *Uso da água na agricultura*. Passo Fundo. UPF. 2004. 11p.

TOMAZ, A.; PALMA, P.; FIALHO, S.; LIMA, A.; ALVARENGA, P.; POTES, M.; COSTA, M.J.; SALGADO, R. Risk Assessment of Irrigation-Related Soil Salinization and Sodification in Mediterranean Areas. *Water*, v.12, n.12, e3569, 2020.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, v.38, p.45-94, 1985.

VALLADARES, G. S.; FARIA, A. L. L. SIG na análise do risco de salinização na bacia do Rio Coruripe, AL. *Engevista*, v.6, n.3, p.86-98, 2004.

VAN LOON, G. W.; DUFFY, S. J. *Environmental chemistry: a global perspective*. 3a ed. Oxford University Press. Oxford, 2011.

VASQUES, G. M.; COELHO, M. R.; DART, R. O.; BACA, J. F. M. Soil Electrical Conductivity at 0-30 cm Map for Brazil at 1-km Spatial Resolution. Embrapa Solos, Rio de Janeiro. 2020. Disponível em: https://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abra_salinitymap30100. Acesso em: 6 de junho de 2024.

VERÍSSIMO, L. S.; FEITOSA, F. A. C. Características das águas subterrâneas na região de Irauçuba, norte do Estado do Ceará, Brasil. In: Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste, 4, Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 12, 2001, Recife. Anais...Recife, 2001.

VIEIRA, P. F.; PEREIRA, L. A.; BRITO, L. T. L.; MELO, R. F. Qualidade da água de dois açudes públicos do Município de Petrolina, PE. In: Jornada de Iniciação Científica da EMBRAPA Semiárido, 6, 2011, Petrolina. Anais...Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistics theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, v.31, n.3, 1983.

VIEIRA, S. R.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. *Soil Science Society America Journal*, v.45, p.1040-1048, 1981.

VYSOTSKAYA, L.; HEDLEY, P. E.; SHARIPOVA, G.; VESELOV, D.; KUDOYAROVA, G.; MORRIS, J.; JONES, H. G. Effect of salinity on water relations of wild barley plants differing in salt tolerance. *AoB Plants*, v.10, n.6, 2010.

WANG, Z.; FAN, B.; GUO, L. Soil salinization after long-term mulched drip irrigation poses a potential risk to agricultural sustainability. *European Journal of Soil Science*, v.70, n.1, p.20-24, 2019.

WANG, Z.; ZHANG, F.; ZHANG, X.; CHAN, N. W.; KUNG, H.; ZHOU, X.; WANG, Y. Quantitative Evaluation of Spatial and Temporal Variation of Soil Salinization Risk Using GIS-Based Geostatistical Method. *Remote Sens.*, v.12, n.15, e2405, 2020.

WICHELS, D.; CONE, D.; STUHR, G. Evaluating the impact of irrigation and drainage policies on agricultural sustainability. *Irrigation and Drainage Systems*, v.16, p.1-14, 2002.

WIEBE, B. H.; EILERS, R. G.; EILERS, W. D.; BRIERLEY, J. A. Application of a risk indicator for assessing trends in dryland salinization risk on the Canadian Prairies. *Canadian Journal of Soil Science*, v.87, n.esp, p.213-224, 2007.

WILCOX, L. V. J. Classification and use of irrigation waters. US Department of Agriculture. 1955.

WORDCLIM. Historical climate data. Disponível em: <https://worldclim.org/data/worldclim21.html>. Acesso em: 5 de abril de 2024.

YARON, B. Water suitability for irrigation. In: YARON, E.; DANFORS, E.; VAADIP, Y. (eds). *Arid zone irrigation. Ecological Studies*, 5. Berlin: Springer-Verlag, 1973. p.71-88.

ZACCARIA, D.; PASSARELLA, G.; D'AGOSTINO, D. GIORDANO, R.; SOLIS, S. S. Risk Assessment of Aquifer Salinization in a Large-Scale Coastal Irrigation Scheme, Italy. *Clean Soil Air Water*, v..44, n.4, p.371-382, 2016.

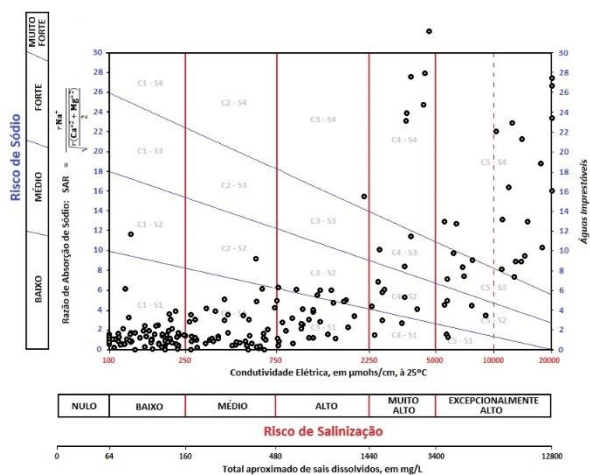
ZAMBERLAN, J. F.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; FERRAZ, R. C.; PINTO, L. DE M. Índices sazonais de qualidade da água de irrigação via análise multivariada na região central do Rio Grande do Sul. *Irriga*, v.18, n.3, p.376-386, 2013.

ZAVOUDAKIS, E.; COSTA, M.; SIQUEIRA, L.; ADDAD, J. E. Classificação hidroquímica e avaliação da salinidade da água freática em áreas do município de Vitória-ES. In: Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 15, Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste, 1, 2007, Gramado. *Anais...Gramado*, 2007.

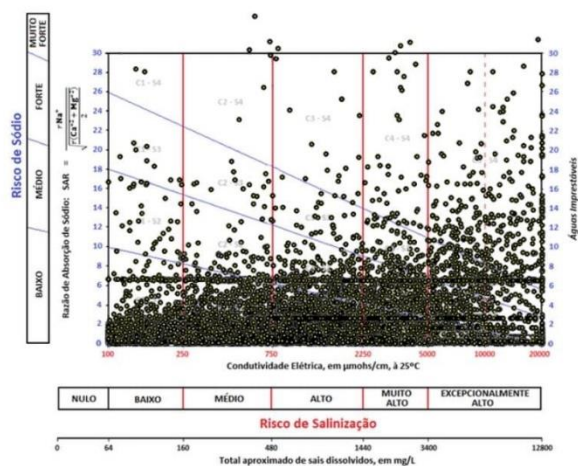
ZHANG, T.; ZENG, S.; GAO, Y.; OUYANG, Z.; LI, B.; FANG, C.; ZHAO, B. Assessing impact of land uses on land salinization in the Yellow River Delta, China using an integrated and spatial statistical model. *Land Use Policy*, v.28, n.4, p.857-866, 2011.

ANEXOS

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA FINS DE IRRIGAÇÃO

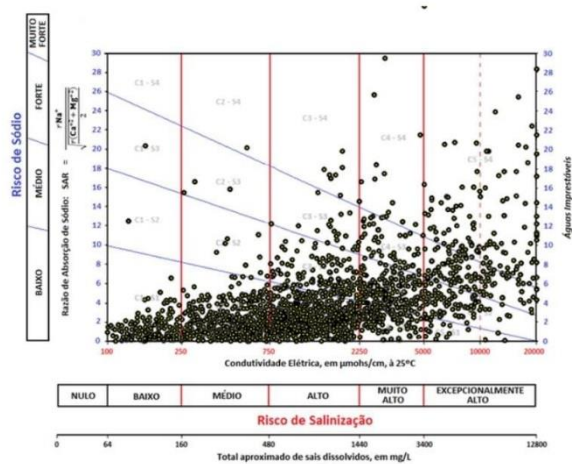


a

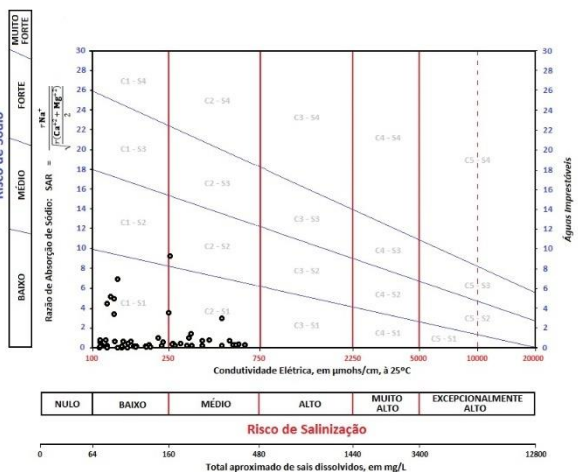


b

Anexo 1. a) Estado de Alagoas; b) Estado da Bahia.

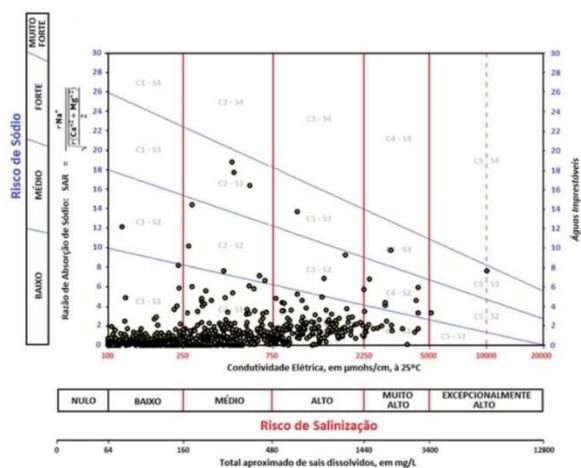


a

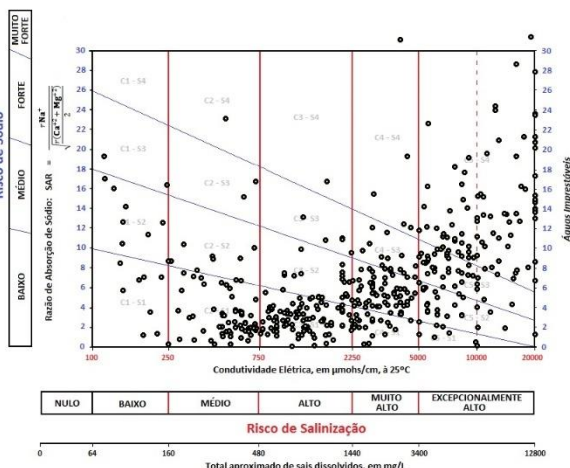


b

Anexo 2. a) Estado do Ceará; b) Estado do Maranhão.

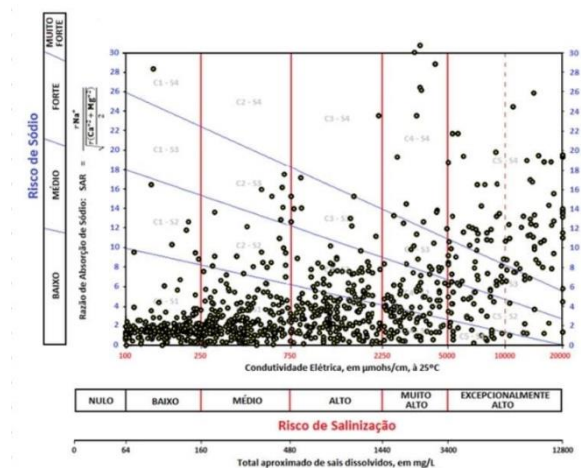


a

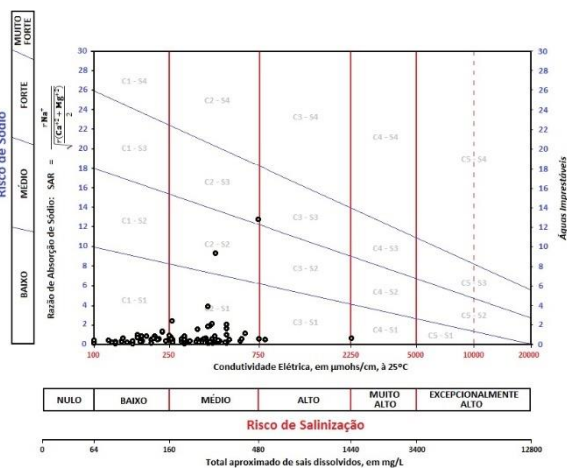


b

Anexo 3. a) Estado de Minas Gerais; b) Estado da Paraíba.

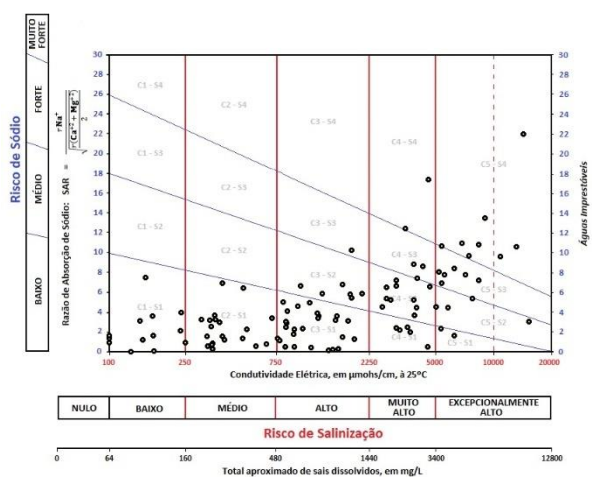


a

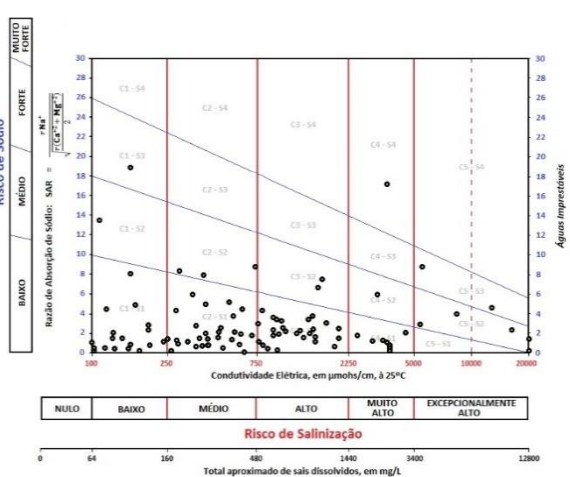


b

Anexo 4. a) Estado de Pernambuco; b) Estado do Piauí.



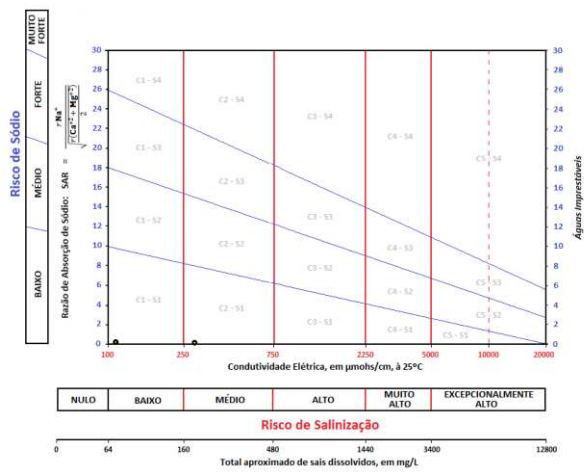
a



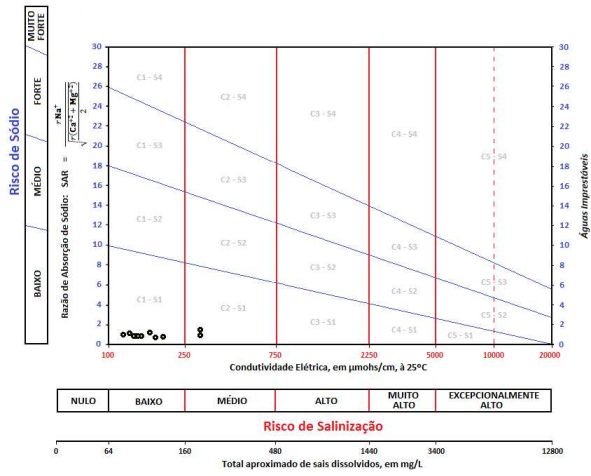
b

Anexo 5. a) Estado do Rio Grande do Norte; b) Estado de Sergipe.

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS PARA FINS DE IRRIGAÇÃO

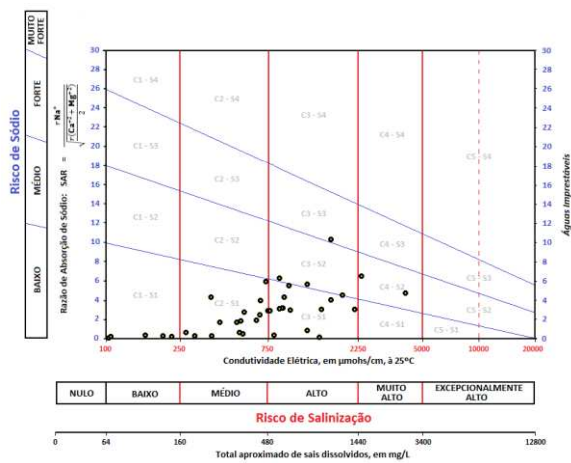


a

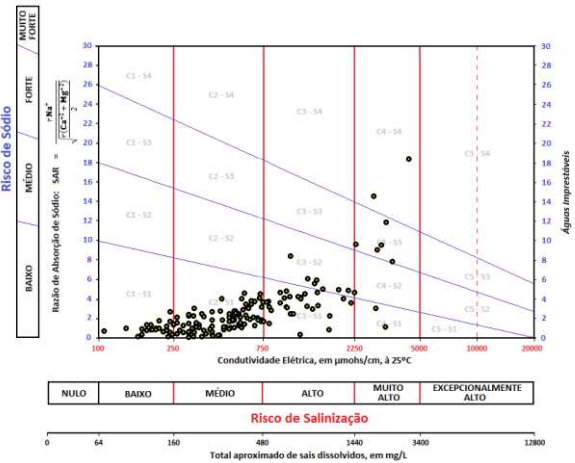


b

Anexo 6. a) Estado do Amapá; b) Estado de Alagoas.

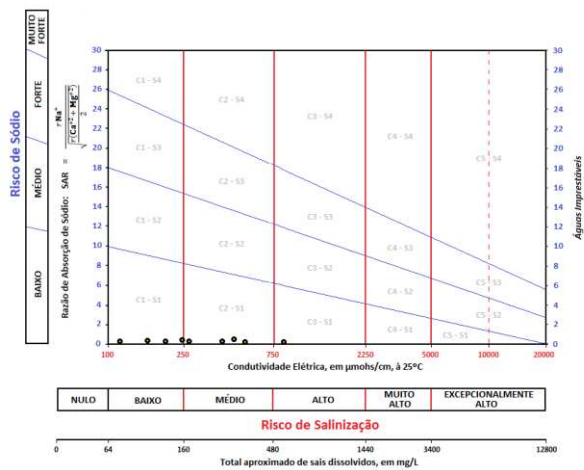


a

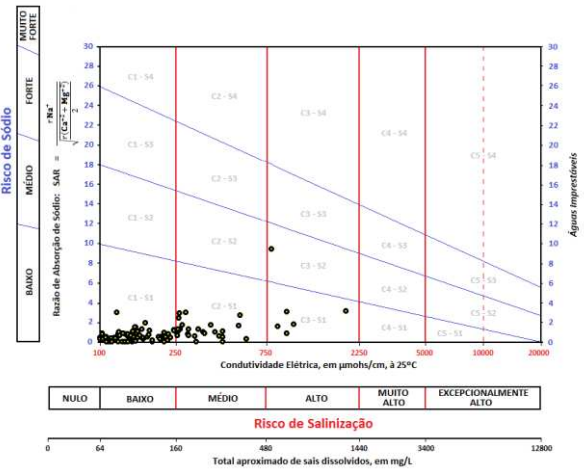


b

Anexo 7. a) Estado da Bahia; b) Estado do Ceará.

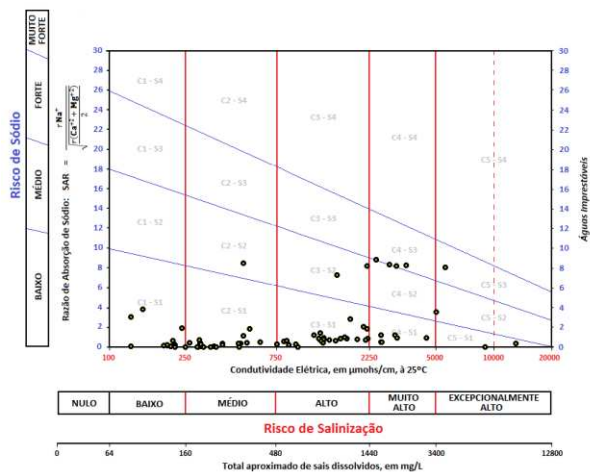


a

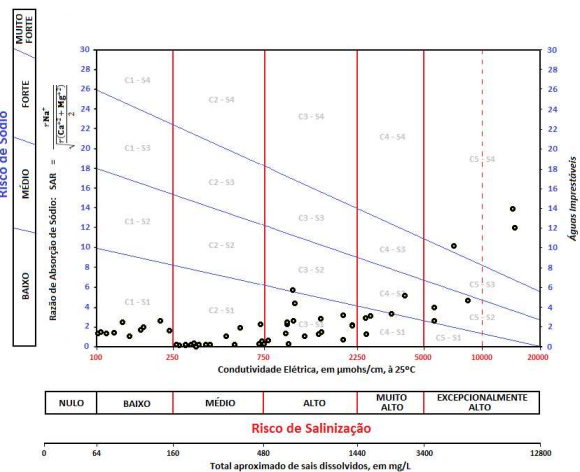


b

Anexo 8. a) Estado do Maranhão; b) Estado de Minas Gerais.

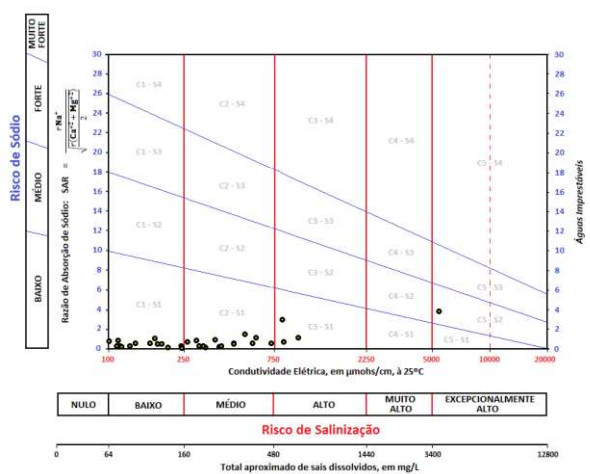


a

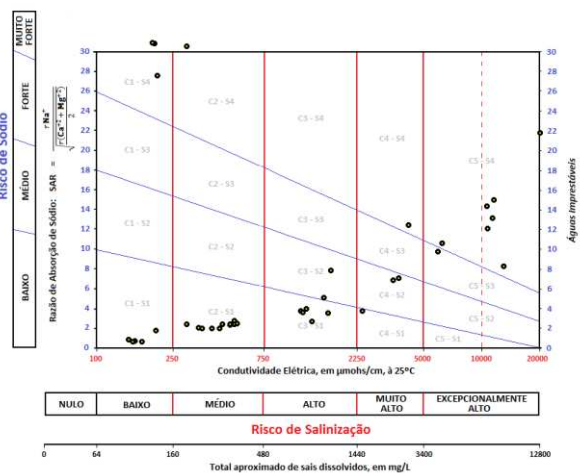


b

Anexo 9. a) Estado da Paraíba; b) Estado de Pernambuco.



a



b

Anexo 10. a) Estado do Piauí; b) Estado de Sergipe.



CURRICULUM DOS AUTORES

Paulo Roberto Megna Francisco: Graduado como Engenharia Agrícola pela UFCG. Doutorado em Recursos Naturais (Concentração em Engenharia de Recursos Naturais). Possui Doutorado em Engenharia Agrícola (Concentração em Irrigação e Drenagem) pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG (2013), Mestrado em Agronomia - Manejo de Solo e Água (Concentração - Agricultura Sustentável e Planejamento Ambiental) pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB - Areia (2010), Graduado como Tecnólogo Agrícola (Mecanização) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP - Bauru (1990). Tem experiência na Docência na área de Agronomia, com ênfase em Mecanização Agrícola, Máquinas e Implementos Agrícolas e Máquinas Agrozootécnicas. Atua como pesquisador, colaborador e orientador em projetos junto à UFPB Campus de Areia, UFCG - Campus de Campina Grande e Campus de Sumé. Tem experiência em classificação técnica e mapeamento de solos, aptidão agrícola e pedoclimática, capacidade de uso do solo, geoprocessamento, cartografia, sensoriamento remoto, geoestatística, geração de balanço hídrico e índices climáticos. Atuou como Pesquisador de Desenvolvimento Científico Regional de Interiorização na Universidade Federal da Paraíba-UFPB-CCA/Areia. Prestou consultoria para o INCRA/PB na realização de PDAs. Foi Consultor Ad hoc do CONFEA como organizador do CONTECC. Editor Chefe da Editora Portal Tecnológico-EPTEC. Atualmente colabora como organizador e na comissão científica do CNMA-Poços de Caldas. No momento atua como Pesquisador Sênior da Fundação Parque Tecnológico da Paraíba juntamente com a UFCG.

paulomegna@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-5062-5434>

José Hugo Simplicio de Sousa: Engenheiro de Biossistemas pela Universidade Federal de Campina Grande, CDSA/Campus Sumé com ênfase em Sensoriamento Remoto e geoprocessamento. Atuou como bolsista do Programa Institucional de Iniciação Científica-PIBIC, em projetos na área de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, entre 2021 a 2023 e atuou em projeto na área de secagem de alimentos entre 2020 e 2021. Ex-Membro Associado Consultor Júnior da SustemBIO Jr, Empresa Júnior do curso de Engenharia de Biossistemas da UFCG/CDSA.

hugosimplicio123@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-5068-0663>

George do Nascimento Ribeiro: Possui graduação em Agronomia (2003) e mestrado em Manejo e Conservação de Solo e Água (2006) pela Universidade Federal da Paraíba, doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (2014) e Pós-doutorado em Fontes Alternativas de Energias pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da UFCG (LABFREN/UFCG). Atualmente é professor da Universidade Federal de Campina Grande/CDSA/Campus Sumé. Tem experiência nas áreas de Geociências, com ênfase em Sensoriamento Remoto (recursos naturais, geotecnologias e mapeamento temático) e em Energias Renováveis (produção de hidrogênio como fonte de combustível para fuel cell e energia solar - placas fotovoltaicas).

george.nascimento@professor.ufcg.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0003-4225-0967>

José Nilton Silva: Bacharel em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande (2009), Mestre e Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande (2013), Licenciado em Química pela Universidade Estadual da Paraíba (2006). É Professor Adjunto na Universidade Federal de Campina Grande, lotado no Departamento de Engenharia Química, do Centro de Ciências e Tecnologias. Tem experiência na área de Engenharia Química, Sistemas Computacionais, com ênfase em processos e processamento de dados, atuando principalmente nos temas: modelagem, simulação de processos, projeto de processos industriais e energias renováveis. Na área de Gestão em Ciência, Tecnologia e Inovação é ativo em Sistemas de Inovação, Empreendedorismo Inovador, Proteção do Conhecimento, Transferência de Tecnologia, Interação Universidade-Empresa e Incubadoras de Empresas/Parques Tecnológicos. É orientador do quadro dos PPGs em Engenharia Química-UFCG e do PROFNIT- ponto focal Paraíba. Coordenou o Núcleo de Inovação e Transferência de Tecnologia NITT/UFCG (2017-2018), e atual assessor de PI do NITT-UFCG, e em 2018, Diretor Geral da Fundação Parque Tecnológico da Paraíba – PaqTcPB.

nilton@eq.ufcg.edu.br

 <https://orcid.org/0000-0001-7128-8396>

Luciano Fallé Saboya: Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (1987), mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Ceará (1995) e doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (2014). Atualmente é professor nível superior da Universidade Federal de Campina Grande. Tem experiência na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em Irrigação e Drenagem, atuando principalmente nos seguintes temas: irrigação, arroz, agricultura familiar, adubação e caupi.

lsaboya@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-7586-6867>

Franciele Simões do Nascimento: Graduanda em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Técnica em Manutenção e Suporte em Informática pelo IFRN - Campus Currais Novos. Participou de Projeto de criação de Espaços Maker estimulando a adoção do Maker Moviment e a Aprendizagem baseada em problemas, visando desenvolver competências relacionadas com a inovação tecnológica.

simoefranciele9@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0006-3546-2952>

Fernanda Pessoa de Sousa: Atuou com o Desenvolvimento de Projetos Sociais no Instituto Brasil a Dentro. (2020). Graduada como Engenheira Agrônoma pela ICESP. Consultora em Projetos e operações de créditos ligadas a Instituições Bancárias. Conhecimento do segmento do Agronegócios. Auxílio a produtores rurais em Documentações e desenvolvimento de segmento. Elaboração de Laudos e projetos. Desenvolvimento e criação de projetos Sociais e Ambientais (2019). Têm experiência na Docência na área de Agronomia, Implementos Agrícolas, Máquinas. Atuou como Consultora no Departamento de Irrigação do MIDR (Recursos Hídricos), experiência em geoprocessamento, sensoriamento remoto, geração de balanço hídrico, desenvolvimento de dados. Atualmente atua como pesquisadora pelo Parque Tecnológico da Paraíba.

suporttagronegocios@gmail.com

 <http://lattes.cnpq.br/7419198868824029>

Walter Belarmino da Silva Filho: Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG, 2013). Mestrado em Engenharia Mecânica (UFCG, 2018) Atua como técnico de Laboratório em mecânica na Universidade Federal de Campina Grande.

walterbelarmino@hotmail.com

 <http://lattes.cnpq.br/5021447481253835>

Mikarla Baia de Sousa: Possui Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande (2013), Mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande (2015), Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande (2021) e Especialização com Ênfase em Tecnologia em Petróleo e Gás, atuando principalmente na área de Eletroquímica voltado para Obtenção de Revestimentos Metálicos para Proteção contra a Corrosão.

mikarlabaia@hotmail.com

 <http://lattes.cnpq.br/8419050777743938>

CURRICULUM DOS COLABORADORES

Fábio Andrey Pimentel São Mateus: Engenheiro Florestal (UFS), especialista em Agroecologia (USFC) e em Gestão de Projetos (USP/ESALQ), mestre em Agroecossistemas (UFSC) e doutorando em Agroecologia e Desenvolvimento Territorial (PPGADT/UFRPE). Articulador rural com passagens pelo semiárido brasileiro, centro-sul da Itália, Zâmbia e Moçambique. Atualmente contribuindo na reparação de direitos das pessoas atingidas pelo crime da Vale na Bacia do Rio Paraopeba.

fabioandrey@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-6558-9950>

Luciana Leal de Alencar Lemos: Possui graduação em Secretariado Executivo pelo Centro Universitário de Desenvolvimento do Centro Oeste (2004). Atualmente é bolsista da Fundação Parque Tecnológico da Paraíba. Tem experiência na área de Secretariado Executivo, com ênfase em Assessoria Executiva.

luciana.lealdealencar@gmail.com

 <https://lattes.cnpq.br/2522395563990181>

Júlio Cesar de Medeiros Nascimento: Possui graduação em Sistema de Informação - Faculdades Integradas de Patos (2016). Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Ciência da Computação, habilitado com ferramentas de desenvolvimento de softwares, experiências em projetos de extensões e professor em salas de aulas do ensino fundamental e médio.

julio.fip@gmail.com

 <http://lattes.cnpq.br/0255169327321026>

Maria do Socorro Lima Dantas: Professora de Geografia, Pós graduada em Semiárido e Meio Ambiente.

mariadoesse4@gmail.com

Pedro Thiago Nunes Bezerra: Possui graduação em Engenharia Civil pelo Centro Universitário de João Pessoa/ Unipê (2017). Atualmente é bolsista da Fundação Parque Tecnológico da Paraíba. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Construção Civil, Tratamento de Águas de Abastecimento e Residuárias, Pavimentação e Processos Construtivos.

ptnbezerra@gmail.com

 <http://lattes.cnpq.br/9808431862084537>

Renan Nicolau Ribeiro da Rocha: Servidor Público Federal. Doutorando em Engenharia de Recursos Naturais, Mestre em Exploração Petrolífera e Mineral e Graduado em Engenharia de Minas pela Universidade Federal de Campina Grande. Experiência em trabalhos laboratoriais e com trabalhos de desmonte de rocha com utilização de explosivos em obras civis. Atualmente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Jacobina, como Professor EBTB do Curso Técnico em Mineração.

renannicolauribeiro@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0004-0810-7811>

José Ivaldo de Moraes: Possui graduação em Engenharia de Minas pela Universidade Federal de Campina Grande (1996) e mestrado em Geologia de jazidas pela Universidade Federal de Campina Grande (2001). Tem experiência na área de Engenharia de Minas, com ênfase em Hidrogeologia.

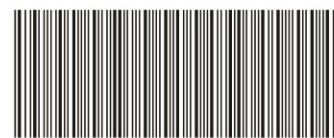
ji.moraiss64@gmail.com



<http://lattes.cnpq.br/9325656815495563>



Universidade Federal
de Campina Grande



978-65-01-17518-8