



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA  
DOUTORADO EM FITOTECNIA

FRANCISCO GILLIARD CHAVES FREIRE

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA PARA FINS DE IRRIGAÇÃO  
UTILIZADA NA AGRICULTURA FAMILIAR NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DO  
JAGUARIBE-CE**

MOSSORÓ

2022

FRANCISCO GILLIARD CHAVES FREIRE

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA PARA FINS DE IRRIGAÇÃO  
UTILIZADA NA AGRICULTURA FAMILIAR NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DO  
JAGUARIBE-CE**

Tese apresentada ao Doutorado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Nutrição e Irrigação

Orientador: Prof. Dr. Nildo da Silva Dias

Coorientador: Dr. Rafael Oliveira Batista

MOSSORÓ

2022

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

F866a Freire, Francisco Gilliard Chaves.  
Avaliação da qualidade de água para fins de irrigação utilizada na agricultura familiar no município de São João do Jaguaribe-CE / Francisco Gilliard Chaves Freire. - 2022.  
63 f. : il.

Orientador: Nildo da Silva Dias.  
Coorientador: Rafael Oliveira Batista.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, 2022.

1. Recursos hídricos. 2. salinização. 3. multivariada. 4. água salobra. I. Dias, Nildo da Silva, orient. II. Batista, Rafael Oliveira, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

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

FRANCISCO GILLIARD CHAVES FREIRE

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA PARA FINS DE IRRIGAÇÃO  
UTILIZADA NA AGRICULTURA FAMILIAR NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DO  
JAGUARIBE-CE**

Tese apresentada ao Doutorado em Fitotecnia  
do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia  
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
como requisito para obtenção do título de  
Doutor em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Nutrição e Irrigação

Defendida em: 14 / 01 / 2022.

**BANCA EXAMINADORA**

**Nildo da Silva Dias**

Assinado de forma digital por Nildo  
da Silva Dias  
Dados: 2022.03.08 16:44:51 -03'00'

---

Nildo da Silva Dias, PROF. Dr. (UFERSA)  
Presidente



---

André Moreira de Oliveira, PROF. Dr. (UFERSA)  
Membro Examinador



---

Jucicléia Soares da Silva, PÓS DOUTORANDA (EMBRAPA SEMIÁRIDO)  
Membro Examinador

MARCIRIO DE  
LEMOS:96997567487

Assinado de forma digital por MARCIRIO  
DE LEMOS:96997567487  
Dados: 2022.03.10 08:22:56 -03'00'

---

Marcílio de Lemos, COORD. Dr. (CENTRO TERRA VIVA)  
Membro Examinador



---

Stefeson Bezerra de Melo, PROF. Dr. (UFERSA)  
Membro Examinador

A minha esposa, ao meu filho, ao meu  
irmão e aos meus pais, que são  
os meus bens mais valiosos.

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por está ao meu lado em todos os momentos em minha vida, por me possibilitar a realização desse sonho e pelo cuidado suprindo tudo nos mínimos detalhes.

A UFERSA, pela acolhida, pela excelente estrutura física e pelos profissionais que formam seu quadro.

Ao Programa Fitotecnia, pelo maravilhoso conhecimento proporcionado aos discentes, pelo nível de seus professores e acima de tudo pela contribuição no futuro de nosso Nordeste e Brasil.

Agradeço à minha esposa Anekely, a minha mãe Fátima, a meu pai Marto, aos tios Eila, Alberdan e a minha família em geral, por me apoiar, encorajar e cuidar de mim em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis.

Ao meu orientador, D. Sc. Nildo Dias, por ter aceitado essa missão de orientar uma pesquisa em andamento. Agradeço a disponibilidade e as valiosas contribuições.

Ao meu coorientador D. Sc. Rafael Oliveira, que foi o meu primeiro orientador no doutorado e teve que sair da orientação por motivos de força maior. A ele minha eterna gratidão não apenas pelas extraordinárias orientações, mas também pela amizade ao longo dos anos.

Aos Membros da banca examinadora, por aceitarem participar dessa defesa e pelas valiosas contribuições.

À equipe do LASAP, na pessoa da Paula Cavalcante que me auxiliou em todas as atividades de laboratório.

À colega Keivianne Reges, pela amizade, companheirismo e auxílio desde o primeiro dia no Fitotecnia.

À Ematerce, pelo apoio logístico e material didático.

Aos irmãos da Igreja Batista Central-SJJ, pelas orações, força e apoio financeiro.

À Prefeitura Municipal de São João do Jaguaribe-CE, na pessoa do ex. Prefeito Acácio Chaves e da chefe de gabinete Conceição Chaves, que concedeu minha liberação parcial para me dedicar a este doutorado.

Agradeço a todos os que direta ou indiretamente contribuíram para que este dia chegasse!

“Confia no Senhor de todo o seu coração e não te estribes no teu próprio entendimento”.

(Provérbios: 3-5)

## RESUMO

FREIRE, Francisco Gilliard Chaves. **Avaliação da qualidade de água para fins de irrigação utilizada na agricultura familiar no município de São João do Jaguaribe-CE.** 2022. 63 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2022.

O Brasil possui uma grande quantidade de água no seu território. Estima-se que o Brasil possui cerca de 12% da água doce total do planeta Terra, porém essa água possui uma distribuição muito irregular. A região Nordeste brasileira é a que mais sofre com escassez de água, concentrando apenas cerca de 3% de toda água brasileira. A irregularidade pluviométrica, elevadas temperaturas, alta evaporação e a má distribuição no tempo e espaço das chuvas são os principais responsáveis pelo déficit hídrico na região nordestina. O semiárido brasileiro está localizado em sua maior parte na região Nordeste, onde vive cerca de 27,8 milhões de habitantes que vem passando por muita dificuldade ao longo dos anos devido a falta de água em quantidade e qualidade. O estado do Ceará na sua maior parte territorial sofre com a instabilidade hídrica. O reflexo desse problema hídrico já vem sendo sentido pela a população do Vale Jaguaribe, onde se concentra o maior reservatório de água do estado cearense que pereniza o Rio Jaguaribe. Hoje o complexo Castanhão tem menos de 15% do seu volume, impossibilitando a ampliação e manutenção das áreas irrigadas dos pequenos proprietários e dos perímetros irrigados. Uma alternativa para essa carência de água seria a utilização da água subterrânea, porém geralmente essas águas são ricas em sais que por um lado supri a necessidade da falta da água, mas por outro lado cria outros problemas como a salinização e sodificação dos solos. Assim, objetivou-se avaliar a qualidade da água de poços utilizada pelos irrigantes em comunidades rurais do município de São João do Jaguaribe, quanto ao risco de salinização e sodificação. O critério utilizado para se classificar as águas dos poços para fins de irrigação foi o do United States Salinity Laboratory (USSL). Essa classificação baseia-se na condutividade elétrica da água (CE) e na relação de adsorção de sódio (RAS). Também foi avaliado a qualidade da água do Rio Jaguaribe, que é muito utilizado na irrigação dos agricultores familiares criando um índice de qualidade de água (IQA). Foi coletado água de poços de 16 comunidades rurais e de cinco pontos do Rio Jaguaribe ambos nos meses de outubro de 2019, 2020 e 2021. Em seguida as coletas, no prazo máximo de 24 horas essas amostras foram levadas para o Laboratório de análise de solo, água e planta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, onde foram feitas as análises químicas. Os resultados das análises foram submetidos a estatística multivariada com a realização da análise de componentes principais (ACP) e da análise fatorial (AF). Dos 16 poços em estudo, doze obtiveram a classificação C2S1 com médio risco de salinização e baixo risco de sodicidade. Três poços tiveram a classificação C3S1, com alto risco de salinização e baixo risco de sodicidade e apenas um poço obteve a classificação C3S2, com alto risco de salinização e médio risco de sodicidade. Os IQAI's variaram de coleta para coleta e de ponto para ponto. O melhor IQAI da primeira coleta foi no ponto 2 com o valor de 62,33 e o pior no ponto 1 com 39,33. Na coleta dois o melhor IQAI foi de 54,63 no ponto 1 e o pior foi no ponto 4 com 13,36. Já na terceira coleta o melhor IQAI foi no ponto 5 com 50,15 e o pior IQAI foi no ponto três com 39,02.

**Palavras-chave:** Recursos hídricos; salinização ; multivariada; água salobra.



## ABSTRACT

FREIRE, Francisco Gilliard Chaves. **Assessment of water quality for irrigation purposes used in family farming in the municipality of São João do Jaguaribe-CE.** 2022. 63 p. Thesis (Doctorate in Agronomy: Crop Science) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2022.

Brazil has a large amount of water in its territory. It is estimated that Brazil has about 12% of the total fresh water on planet earth, but this water has a very irregular distribution. The Northeast region of Brazil is the one that suffers the most from water scarcity, concentrating only about 3% of all Brazilian water. The irregularity of rainfall, high temperatures, high evaporation and poor temporal and spatial distribution of rainfall are the main responsible for the water deficit in the northeast region. The Brazilian semi-arid region is mostly located in the Northeast region, where about 27.8 million people live, who over the years have been experiencing many difficulties due to the lack of water in quantity and quality. The state of Ceará in its most territorial part suffers from water instability. The reflection of this water problem is already being felt by the population of the Jaguaribe Valley, where the largest water reservoir in the state of Ceará is concentrated, which perpetuates the Jaguaribe River. Today, the Castanhão complex has less than 15% of its volume, making it impossible to expand and maintain the irrigated areas of small landowners and irrigated perimeters. An alternative to this lack of water would be the use of groundwater, but generally these waters are rich in salts that, on the one hand, supply the need for water shortages, but on the other hand create other problems such as salinization and soil sodification. Thus, the objective was to evaluate the quality of water from wells used by irrigators in rural communities in the municipality of São João do Jaguaribe, regarding the risk of salinization and sodification. The criterion used to classify water from wells for irrigation purposes was that of the United States Salinity Laboratory (USSL). This classification is based on the electrical conductivity of water (EC) and the sodium adsorption ratio (SAR). The water quality of the Jaguaribe River was also evaluated, which is widely used in the irrigation of family farmers, creating a water quality index (IQA). Water was collected from wells in 16 rural communities and five points on the Jaguaribe River, both in October 2019, 2020 and 2021. After the collections, within a maximum period of 24 hours, these samples were taken to the Soil Analysis Laboratory, water and plant of the Universidade Federal Rural do Semi-Árido, where the chemical analyzes were carried out. The results of the analyzes were submitted to multivariate statistics with the performance of principal components analysis (PCA) and factor analysis (AF). Of the 16 wells under study, twelve were classified as C2S1 with medium risk of salinization and low risk of sodicity. Three wells were classified as C3S1, with high risk of salinization and low risk of sodicity, and only one well was classified as C3S2, with high risk of salinization and medium risk of sodicity. The IQAI's varied from collection to collection and from point to point. The best IQAI in the first collection was at point 2 with an IQAI of 62.33 and the worst at point 1 with 39.33. In collection two, the best IQAI was 54.63 at point 1 and the worst was at point 4 with 13.36. In the third collection, the best IQAI was at point 5 with 50.15 and the worst IQAI was at point 3 with 39.02.

**Keywords:** Water resources; salinization; multivariate; brackish water.

## **LISTA DE FIGURAS**

### **CAPÍTULO II**

- Figura 1 - Sede do município de São João do Jaguaribe e os respectivos poços estudados .....34
- Figura 2 - Diagrama da classificação da água para irrigação quanto ao perigo de salinização do solo das águas de poços das comunidades rurais do município de São João do Jaguaribe, CE .....38

### **CAPÍTULO III**

- Figura 1 - Localização dos pontos de coleta de água no trecho perene do Rio Jaguaribe ..... 51

## **LISTA DE GRÁFICOS**

- Gráfico 1 - Precipitações mensal nos anos de 2019 a 2021 no município de São João do Jaguaribe-CE ..... 50

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO II

Tabela 1 - Coordenadas georeferenciadas dos poços estudados nas comunidades rurais em São João do Jaguaribe-CE .....	35
Tabela 2 - Matriz de correlação dos parâmetros qualitativos da água dos poços estudados .....	40
Tabela 3 - Carga fatorial e acúmulo de variância referente a qualidade de água dos poços em estudos .....	41

### CAPÍTULO III

Tabela 1 - Coordenadas georeferenciadas dos cinco pontos do Rio Jaguaribe em São João do Jaguaribe nos anos 2019, 2020 e 2021 .....	50
Tabela 2 - Matriz de correlação dos parâmetros qualitativos da água dos pontos estudados do Rio Jaguaribe .....	53
Tabela 3 - Cargas fatoriais e acúmulo de variância referente a qualidade de água superficial do Rio Jaguaribe-CE .....	54
Tabela 4 - Classes e indicadores da qualidade da água para irrigação .....	55
Tabela 5 - Índice de qualidade da água nos diferentes pontos na coleta 01 .....	55
Tabela 6 - Índice de qualidade da água nos diferentes pontos na coleta 02 .....	56
Tabela 7 - Índice de qualidade da água nos diferentes pontos na coleta 03 .....	56

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>13</b>
Referências .....	16
<b>CAPÍTULO I: Água, usos, classificação e qualidade: revisão de literatura .....</b>	<b>18</b>
1. O semiárido e a escassez .....	18
2. Principais fontes de poluição hídricas .....	19
3. Principais impactos ambientais nos mananciais hídricos .....	20
4. Legislação aplicada aos Recursos Hídricos .....	21
5. Padrões de qualidade de água para fins de irrigação .....	23
6. Índice de qualidade de água .....	24
7. Referências .....	26
<b>CAPÍTULO II: Risco de salinização das águas subterrânea em comunidades rurais de São João do Jaguaribe-CE, Brasil .....</b>	<b>31</b>
Resumo .....	31
Abstract .....	32
1. Introdução .....	33
2. Material e métodos .....	34
3. Resultados e discussão .....	37
4. Conclusão .....	42
Referências .....	43
<b>CAPÍTULO III: Índice de qualidade de água para fins de irrigação em um trecho perene do Rio Jaguaribe-CE .....</b>	<b>46</b>
Resumo .....	46
Abstract .....	47
1. Introdução .....	48
2. Material e métodos .....	49
3. Resultados e discussão .....	53
4. Conclusão .....	57
Referências .....	58
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>61</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

A água é um recurso natural escasso e cuja disponibilidade tem sido crescentemente limitada, principalmente nas regiões semiáridas e áridas. A importância do uso e finalidade, muda de região para região de acordo com o momento e época. Nas regiões semiáridas, a situação vem se agravando ao longo dos anos, necessitando assim estudos cada vez mais profundos, para garantir o melhor uso e acesso por parte dos seres humanos (BRASIL, 2012). A água desempenha função vital na sustentação para a humanidade, seja pela forma direta saciando a sede dos indivíduos ou indireta na produção de alimentos e geração de energia (DALASTRA et al., 2014).

De acordo com Silva (2020), a atual delimitação do Semiárido brasileiro decorre de norma da Constituição Brasileira de 1988, considerando permanente as características climáticas, abrangendo uma área de 1.128.697,4 km<sup>2</sup>, vivendo 27,8 milhões de habitantes em 1262 municípios do Nordeste e parte do Norte de Minas Gerais. O Semiárido apresenta elevadas temperaturas e elevadas taxas de insolação. Os totais pluviométricos são baixos com média de 750mm anuais, apresentando alta variabilidade no tempo e no espaço, dificultando a perenização dos rios, recarga das barragens e pequenos reservatórios. Para Azevêdo (2015), as secas prolongadas e periódicas, a falta de gestão e a escassez anual de água durante o período de estiagem, comprometem o direito a um suprimento adequado para população do semiárido.

Durante o governo do Presidente Juscelino Kubitschek, aconteceram as primeiras políticas de investimento na agricultura irrigada no semiárido brasileiro. Foram disponibilizados financiamentos aos proprietários de terra para aquisição de motobombas para irrigação das várzeas dos rios. Somente no final da década de 1970, que o Governo Federal implantou as políticas dos perímetros irrigados, construindo barragens, açudes e sistemas de irrigação, visando desenvolver a industrialização da agricultura semiárida, por meio da instalação de empresas nos vales Açu, Jaguaribe e Chapada do Apodi (PEREIRA et al., 2015).

O estado do Ceará em especial o Vale do Jaguaribe, vem sofrendo nos últimos anos pela falta de água em quantidade e qualidade, dificultando assim a manutenção e ampliação das áreas irrigadas. Essa problemática se agravou nos últimos anos devido a irregularidade das quadras chuvosas, dificultando o armazenamento de água no Castanhão que é o maior reservatório do Ceará. No início do ano de 2019 o Castanhão esteve com pouco mais de 2% de sua capacidade de armazenamento, dificultando o suprimento da quantidade de água para a região do Baixo Jaguaribe, que é uma das maiores produtoras de frutas, grãos e pastagens para

a pecuária leiteira. Nos anos de 2012 a 2017 foi registrada uma das maiores estiagens dos últimos anos, ficando marcada pela desestruturação dos sistemas produtivos e a limitação da produção agropecuária, agravando cada vez mais as condições financeiras da população dessa região (CARVALHO et al., 2014).

O problema de escassez dos recursos hídricos no semiárido, não está apenas relacionado a quantidade da água disponível, mas também na qualidade que os reservatórios se deparam ao longo do tempo pela diminuição dos seus volumes que acarreta acúmulo de sais, tornando impróprias para a irrigação de culturas não tolerantes. O uso de uma determinada água na irrigação requer conhecimento das quantidades de sais, pois muitas vezes águas com baixo teor de sais podem acarretar danos fisiológicos às plantas como também salinização e sodificação dos solos (SILVA et al., 2016).

Os sais são originados na intemperização das rochas e são encontrados em pequenas quantidades. Os sais são depositados nos solos através da água, onde se acumulam de acordo com a evaporação da água ou são absorvidos pelas plantas (AYERS; WESTCOT, 1999).

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. Geralmente águas das zonas úmidas têm menos sais que as de zonas áridas; as águas de rios são menos salinas que as subterrâneas; já as águas das nascentes têm menor concentração de sais se comparadas com as próximas as nascentes. A qualidade da água de irrigação pode variar de acordo com o tipo de sais dissolvidos. A salinização é um problema mundial, principalmente nas regiões áridas e semiáridas, decorrentes da agricultura irrigada e das condições climáticas. Os efeitos negativos da salinização nas plantas estão ligados ao seu desenvolvimento, rendimentos e nos casos extremos a morte da cultura. Já no solo, os efeitos salinos ocorrem na dispersão das argilas e na permeabilidade (NETO et al., 2016).

Em muitos estados brasileiros e em especial na região Nordeste, produtores utilizam água de qualquer forma sem se preocupar principalmente com sua qualidade, isso pode ser o motivo dos quais muitos solos estão salinizados ou mesmo as culturas cultivadas não dão o retorno no aspecto produtivo desejado se levar em consideração com as áreas que utilizam água com baixa salinidade. Um modo de descrever a qualidade de água de uma amostra, é enumerando individualmente cada elemento e suas respectivas concentrações. Uma maneira bastante utilizada para identificar a qualidade de água são os índices de qualidade e as classificações de acordo com a salinidade e sodicidade (ALMEIDA et al., 2017).

O Índice de qualidade de água é uma ferramenta muito utilizada para auxiliar os

estudantes e usuários de água na classificação dos recursos hídricos, tornando importante e necessário para o desenvolvimento da agricultura irrigada. Os índices de qualidade de água têm como objetivo interpretar e acompanhar uma série de dados para facilitar a compreensão dos usuários, podendo ser utilizado para classificar em níveis ou classes de qualidade da água (TOLEDO, 2002; SILVA, 2017).

Segundo Braga (2020), os critérios mais usados para classificar a água para fins de irrigação é a classificação proposta pelo United States Salinity Laboratory (USSL). Essa classificação baseia-se na condutividade elétrica da água (CE) e na relação de adsorção de sódio (RAS). A RAS é uma razão que indica a porcentagem de sódio contido na água que pode ser adsorvido pelo solo e quanto maior a RAS menos apropriada a água será para a irrigação.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi classificar a qualidade da água usada para fins de irrigação das comunidades rurais de São João do Jaguaribe-CE e criar um Índice de qualidade de água do trecho perene do Rio Jaguaribe.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R.A.S.de. et al. Índice de qualidade de uso da água subterrânea E-IQUAS: aplicação para comunicar o estado da água em dois estudos de caso – Camaçari BA e Verdelândia – MG. **Águas Subterrâneas**, v.31,n. 1, p. 88-103, 2017.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).
- AZEVÊDO, A. C. Verso e reverso das políticas públicas de água para o semiárido brasileiro. **Revista Política e Planejamento Regional**, v. 2, n. 2, p. 373-392, 2015.
- BRAGA, E. de A. S.; AQUINO, M. D. de; ROCHA, C. M. S.; MENDES, L. S. A. dos S.; SILVA, R. F. dos S. Classificação da água subterrânea para uso na irrigação. **Águas Subterrâneas**, v. 34, n. 3, 2020.
- BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional do Semiárido. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. **Recursos hídricos em regiões semiáridas**. Campina Grande, PB: INSA; UFRB, 2012.
- CARVALHO, C. P. O. O novo padrão de crescimento do Nordeste semiárido. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 45, n. 3, p. 160-184, 2014.
- DALASTRA, C. et al. Qualidade da água do córrego do Cedro para fins de irrigação na produção de alimentos consumidos in-natura. **Revista Agricultura Neotropical**, v. 1, n. 2, p. 52-63, 2014.
- NETO, J. R. de A. et al. Similaridades de solos quanto a salinidade no vale perenizado do rio Trussu, Ceará. **Revista Irriga**, v. 21, n. 2, p. 327-341, 2016.
- PEREIRA, G.R. et al. Conflito pela água em tempo de secas no Baixo Jaguaribe, Estado do Ceará. **Revista Estudos Avançados**, v.29, n 84, p.115-137, 2015.



SILVA, R. M. A. et al. Características produtivas e socioambientais da agricultura familiar no Semiárido brasileiro: evidências a partir do censo Agropecuário de 2017. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 55, Edição especial – Sociedade e ambiente no Semiárido: controvérsias e abordagem, p. 314-338, 2020.

SILVA, E. B. da. et al. Variabilidade espaço-temporal da qualidade de água no Vale do rio Trussu, Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 3, p. 1420-1429, 2017.

SILVA, R. L. et al. Caracterização físico-química das águas superficiais do reservatório Angicos Quixelô para irrigação. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 10, n. 4, p. 26-31, 2016.

TOLEDO, L. G. et al. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 1, p. 181-186, 2002.

## CAPÍTULO I

### ÁGUA, USOS, CLASSIFICAÇÃO E QUALIDADE: REVISÃO DE LITERATURA

#### 1. O semiárido e a escassez hídrica

Os períodos anuais de seca no semiárido brasileiro vem acontecendo mais frequentemente nos últimos anos e em especial na década de 2011 a 2020, sendo considerado os anos de 2012 a 2016 como seca severa. As poucas precipitações e má distribuição entre elas no tempo e espaço tem se tornado um fator bastante propício para a escassez na região do semiárido brasileiro. Por esta razão, o semiárido do Brasil tem recebido atenção especial, pois a períodos corriqueiros de seca aumentaram sua gravidade e extensão, proporcionando condições climáticas e hidrológicas extremas e altamente dinâmicas, com baixa pluviosidade e aumento da escassez de água (SILVA et al., 2020).

A falta de chuva é um problema que se repete e coloca a necessidade de adaptação da população às condições ambientais. A variação climática natural com regime irregular das chuvas é uma característica das regiões semiáridas que precede a chegada dos colonizadores no Brasil, mas que tem seus primeiros registros na história no final do século XVI durante o processo de colonização. Como a ocupação se deu inicialmente na faixa litorânea, o primeiro registro de seca na História do Brasil ocorreu com a chegada do padre jesuíta Fernão Cardim em 1583. (CAMPOS., et al 2014).

Os relatos históricos de vários períodos de secas prolongadas, vem se repetindo e pode se repetir no futuro e as experiências de convivência com a seca servem para refletir como a população reage às situações adversas, seja pela aprendizagem com aumento de conflitos sociais ou pela adaptação a escassez de água. (PEREIRA et al., 2015).

As principais tentativas de solução da escassez de água no passado foram às construções de açudes e barragens principalmente após as secas de 1877/1879. A primeira grande obra para combater ou amenizar os efeitos da escassez de água no estado do Ceará, foi a construção do Açude Cedro localizado na cidade de Quixadá na época do império que só foi concluído em 1906. (PANTALENA et al., 2014).

Nos dias atuais além dos grandes reservatórios somando uma capacidade superior a 20,3 bilhões de m<sup>3</sup> de água, os Governos Federal e estaduais têm executado programas de distribuição de cisternas para a captação de água da chuva para o consumo da população rural.

Outra ação mais recente são os financiamentos e distribuição de kits de irrigação localizadas para pequenos irrigantes ou agricultores familiares, visando uma economia e um melhor emprego dos recursos hídricos. (PEREIRA et al., 2015).

Outro problema além da quantidade de água que não é suficiente para satisfazer as necessidades básicas da população que vive no semiárido, vem sendo a qualidade dessa água. Grande parte da população semiárida, tem acesso inadequado ao abastecimento de água e instalações sanitárias. Para eles, coletar água para higiene, produção agrícola e consumo é uma tarefa árdua diária que demanda tempo, energia e recursos. A falta de acesso adequado à água também aumenta a suscetibilidade a choques climáticos associados às inconstâncias das chuvas. Em um cenário de pobreza os efeitos da ausência e qualidade de água, pode gerar consequências graves a curto e a longo prazo. (ROCHA et al., 2015).

No contexto de escassez de água, os conflitos ocultos se tornam explícitos entre as diferentes classes sociais, particularmente entre os interesses do agronegócio de expansão da produção, a necessidade de sobrevivência dos agricultores e o abastecimento urbano. Nos dias de hoje é preocupante o cenário das mudanças ambientais, principalmente quando há interferência humana, que antecipa a degradação do meio ambiente, alterando a condição da cobertura vegetal nativa, qualidade e quantidade dos recursos hídricos, ficando limitado e muitas vezes indisponíveis para os diversos usos humano. (RODRIGUEZ et al., 2016).

## **2. Principais fontes de poluição hídrica**

A água é um elemento essencial na manutenção da vida humana. A necessidade de água limpa tem continuado a aumentar de acordo com o crescimento da população, áreas irrigadas e número de indústrias. Os setores agrícola e industrial são as principais fontes de poluição dos recursos hídricos nos países em desenvolvimento. No entanto, devido aos conflitos entre segurança alimentar, proteção ambiental e desenvolvimento econômico, os países em desenvolvimento tendem a se concentrar na solução da poluição da água industrial, mas descuidam na solução da poluição da água no setor agrícola (SURIADIKUSUMAH et al., 2021).

A maior parte dos efluentes não tratados é de origem doméstica, hospitalar, industrial e de outras fontes que consomem grandes volumes desses recursos e não tem o mínimo de tratamento antes de ser lançados nos corpos hídricos. As águas residuárias quando lançadas no meio ambiente, são misturadas com materiais naturais, patógenos, elementos tóxicos e microrganismos nocivos principalmente à saúde humana. A água é crucial para a

sobrevivência humana não apenas por causa de sua ingestão, mas também na produção de alimentos, necessitando assim ser preservada e limpa de todo tipo de poluentes (MRIDUL et al., 2020).

Um dos maiores desafios da humanidade na atualidade é a produção de alimentos saudáveis e que seja suficiente para satisfazer a crescente população humana, sem causar danos ao meio ambiente. A segurança alimentar tem se tornado cada vez mais difícil devido às mudanças climáticas que nosso planeta vem passando ao longo dos anos. Além da poluição do ar, grandes quantidades de nutrientes são lixiviados para rios, lagos e outras fontes hídricas. A qualidade da água pode ser afetada por muitos fatores, tais como: precipitação, carga externa de nutrientes, volume acumulado do reservatório, enriquecimento interno devido à aquicultura, sedimento e ressuspensão de fósforo (MESQUITA et al., 2020).

Segundo Amos (2021), a poluição das águas superficiais e subterrâneas é frequentemente atribuída ao uso descontrolado de compostos químicos. As atividades como aplicação de estume e fertilizantes químicos foram identificadas como as principais fontes de poluição das águas desde o início do século XX; enquanto o nitrato é considerado o principal poluente em escala global. O uso não eficiente da água na produção agrícola, têm levado ao esgotamento dos mananciais e redução de rios perenes em algumas áreas do mundo. O excesso de fósforo (P) e nitrogênio (N) em terras cultivadas acelerou os processos de eutrofização. Estudos revelam que até 2050, o planeta Terra terá um aumento de 20% de eutrofização nas águas costeiras e superficiais (WWDR, 2015).

### **3. Principais impactos ambientais nos mananciais hídricos**

O conhecimento da qualidade das águas de um determinado corpo hídrico para adequá-las aos seus mais variados usos, seja estes não consuntivos ou consuntivos, é uma tarefa imprescindível. No semiárido brasileiro esta proposta é ainda mais importante, uma vez que a disponibilidade hídrica, em termos quantitativos, é limitada pelo processo natural no qual as taxas de evaporação das águas superam a taxa de precipitação. Tal condicionante torna relevante a atuação de gestores públicos e pesquisadores na promoção da qualidade das águas (DUARTE et al., 2021).

A exploração agrícola, principalmente na região do semiárido brasileiro tem acelerado o processo de degradação, afetando a forma como o ecossistema funciona e reduzindo a produtividade das áreas agricultáveis. O uso de maquinários, como o uso intensivo de insumos, agroquímicos e fertilizantes, impulsiona o fluxo de energia no

agroecossistema a níveis insustentáveis (FEITOSA et al., 2021).

O desequilíbrio dos recursos hídricos afeta a qualidade e conseqüentemente, as condições de gestão da água. Uma das conseqüências do uso excessivo de produtos químicos em áreas agrícolas, têm sido a acidificação e, a presença de herbicidas, pesticidas e metais pesados nos rios. Já a eutrofização é associada ao aumento do uso de fertilizantes (ELISA et al., 2021).

Frumim (2014), afirma que a eutrofização é o aumento da produtividade biológica nas águas devido ao acúmulo de nutrientes sob a ação de fatores induzidos pelo homem ou naturais. Para alguns estudiosos a definição de eutrofização é o enriquecimento das águas com nutrientes, principalmente o fósforo e o nitrogênio, que acelera o crescimento de algas e outras espécies de planta superiores. Para ecossistemas aquáticos lacustres, as atividades humanas na bacia hidrográfica podem levar à perda de grupos funcionais e espécies, alta rotação de nutrientes, baixa resistência, alta porosidade de nutrientes e sedimentos, e a perda de produtividade (YANG et al., 2008).

#### **4. Legislação aplicada aos recursos hídricos**

A contaminação dos recursos hídricos por meio de atividades antrópicas pode causar danos à saúde humana e alterar a qualidade da água. As águas de muitos reservatórios principalmente os localizados nas zonas urbanas, estão sujeitos à contaminação decorrente ao processo de urbanização e a falta de saneamento dos municípios. A falta de tratamento dos efluentes líquidos tem se tornado um dos maiores problemas enfrentado nos municípios brasileiros, por causa dos lançamentos inadequados contribuindo para a degradação ambiental (CAMPOS et al., 2019).

De acordo com Agência Nacional de Águas (2017), no Brasil, 43% da população possui esgoto coletado e tratado e 12% utilizam-se de fossa séptica, ou seja, 55% possuem tratamento considerado adequado; 18% têm seu esgoto coletado e não tratado, o que pode ser considerado como um atendimento precário; e 27% não possuem coleta nem tratamento, isto é, sem atendimento por serviço de coleta sanitário.

Devido a crescente degradação nos corpos hídricos, medidas de qualidade, preventivas ou mesmo corretivas em algumas regiões são necessárias para garantir o abastecimento de água para a atual e as futuras gerações (Pinheiro, 2021). O modelo de crescimento econômico praticado atualmente exige, dentre outras necessidades, o aumento da demanda por água, seja para uso na irrigação, na indústria, na produção de energia ou em várias outras atividades.

Essas atividades, e também a urbanização, quando não acompanhadas da infraestrutura e saneamento adequados, contribuem para degradar os mananciais superficiais como rios, lagos e represas, podendo ainda afetar os mananciais subterrâneos (SILVA et al., 2017).

Uma das medidas mais importantes relacionado aos Recursos Hídricos no Brasil, foi a criação da Lei das Águas de 1997, que estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Essa lei tem como objetivo promover a disponibilidade da água e a utilização integrada e racional dos recursos hídricos para a atual e as futuras gerações. Neste dispositivo legal as bacias hidrográficas são gerenciadas pelos Comitês de Bacias Hidrográficas, atuando como arbitro caso haja algum conflito envolvendo o uso da água (SPINOLA et al., 2016).

Os comitês atuam na totalidade territorial de uma bacia hidrográfica, nas sub-bacias hidrográficas de afluentes do curso principal de água, em seus afluentes, podendo ainda atuar em um grupo de sub-bacias e bacias hidrográficas contínuas. Os comitês são formados por representantes da União, no caso de bacias federais; dos Estados, cujos territórios se situem, mesmo que parcialmente, em suas respectivas áreas de atuação; dos Municípios situados em parte ou no todo, em sua área de atuação, dos usuários que captam ou utilizam diretamente da natureza e da sociedade, por meio de entidades civis ligados as questões ambientais e hídricas com atuação na bacia (BRASIL, 1997).

Girardi (2019), relatou que para se estabelecer requisitos necessários de melhoria da água, se faz necessário traçar planos de ação com intuito de implementar a governança dos recursos hídricos e pra isso, é de suprema importância saber atual situação da qualidade da água no nosso país. O enquadramento é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) que assegura a qualidade dos recursos hídricos para os diferentes usos. Baseado nessa preocupação com os corpos hídricos, foi criado a Resolução do CONAMA nº 357/2005, que classifica os corpos de águas superficiais. O CONAMA, em sua resolução nº 357, de 2005, atualizada na resolução nº 430/2011, dispõe sobre a classificação de corpos de água, das diretrizes para seu enquadramento e estabelece condições e padrões de lançamento e de efluentes e dá outras providências.

A política da água no Nordeste do Brasil foi essencialmente conduzida pelo DNOCS, tendo como principal missão proteger a região contra a seca. Nesse contexto político-institucional foi fortemente modificado a partir de 1992, no contexto mais amplo das reformas do setor de água no Brasil, com a implantação do Sistema de Gestão de Recursos Hídricos no nível estadual. Atualmente, a segurança hídrica no Estado do Ceará é coordenada por uma política de gestão integrada que é baseada em três pilares: conflito de gestão, gestão de demanda e gestão de abastecimento (STUDART et al., 2021).

A nível de Estado o Ceará, conta com a Lei 14.884/2010, que dispõe sobre a política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SIGERH, e outras providências. O Decreto 31.077 de 12/12/2012, regulariza a Lei 14.884/2010. Já o Decreto 31.076 de 12/12/2012 é a Legislação que rege a Outorga no Ceará e que prevê situações anômalas e, por conseguintes, formas de contorná-las. No Artigo 21 desse decreto, diz que o aumento de demanda ou insuficiência de oferta hídrica para atendimento aos usuários permitirá a suspensão temporária da outorga, sua readequação ou sua extinção. Em termos de legislação o Ceará conta com outras leis relacionadas com o tema Recursos Hídricos (FRANÇA et al., 2018).

## **5. Padrões de qualidade de água para fins de irrigação**

A classificação da água quanto ao uso na irrigação segue os seguintes parâmetros: Características químicas, que relaciona os componentes químicos com o grau dos efeitos diretos ou indiretos sobre os cultivos. Características agrônômicas, que verifica o efeito da condutividade elétrica após as análises de laboratório, com os efeitos da redução da colheita. Características edafológicas, que afeta a qualidade do cultivo conforme a percentagem de sais encontrado na água. A concentração de sais pode tanto está na zona radicular quanto na superfície do solo (BOSO et al., 2016).

Com o aumento da produção no setor agrícola, se faz necessário avaliar constantemente a qualidade dos recursos hídricos utilizados. A qualidade da água está diretamente relacionada com os efeitos danosos aos cultivos e ao solo, necessitando de técnicas avançadas para monitorar e suprir inesperadas contrariedades quanto ao seu aproveitamento. As altas quantidades de sais na água utilizada na irrigação, pode ocasionar impermeabilidade dos solos e toxidades nas plantas (AYERS; WESTCOT, 1999).

A Resolução do CONAMA nº 357/2005, estabeleceu condições de qualidade para a classificação dos corpos hídricos, separando em classes de acordo com seus usos fixando limites inferiores ou superiores para cada elemento que contem na água. Cada tipo de uso pressupõe uma melhor ou pior qualidade da água. Para a água doce foram criadas cinco classes que são: especial, classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4 em ordem decresce de qualidade. Para o uso na irrigação a classe 1, é usada para irrigar frutas que cresce rente ao solo, consumidas cruas sem retirarem a película e irrigar hortaliças. As de classe 2, são utilizadas para irrigar parques, jardins, fruteiras e hortaliças. Já as de classe 3, são usadas para irrigar forrageiras, cerealíferas e culturas arbóreas (SOUZA et al., 2020).

A qualidade da água de irrigação é definida principalmente pela composição iônica e a quantidade de sais dissolvidos. Os principais sais dissolvidos na água de irrigação são os de cálcio, magnésio e sódio em forma de sulfatos, bicarbonatos e cloretos. Normalmente, o carbonato e o potássio estão presentes em proporções baixas. Poucas são as plantas que utilizam quantidades relevantes de sais, devido ao baixo consumo de sais por parte das plantas. Devido os efeitos negativos dos sais, é importante compreender como a qualidade da água influencia no manejo da agricultura irrigada, em especial nas regiões semiáridas e áridas (SILVA et al., 2011; ZALMAN, 2018).

Segundo Ayers e Westcot (1999), a água possuem três classificações. C1 com faixa de condutividade elétrica  $< 0,7 \text{ dS m}^{-1}$  esse tipo de água não apresenta risco ao seu uso. C2 com a condutividade elétrica na faixa de  $0,7$  a  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ , esse tipo de água possui restrição leve a moderada e a C3 apresenta a condutividade elétrica acima de  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$  com o grau de restrição severo.

Segundo Nascimento (2020), a sodicidade é a concentração de sódio na água e tem como consequência a toxicidade das plantas. A classificação de Ayers e Westcot é a mais utilizada para avaliar o risco de sodicidade e os problemas de infiltração no solo. Esses autores dividiram a classificação quanto à sodicidade em três classes (S1, S2 e S3), a maior sodicidade ocorre quando se obtém valores menores de condutividade elétrica.

De acordo com Batista (2016), a classe S1, apresenta baixo concentração de sódio e pode ser utilizada na irrigação em quase todos os solos, com possibilidade muito baixa de atingir níveis perigosos de sódio trocável. Contudo, culturas como fruteiras de caroço podem acumular níveis danosos de sódio nessa classe. Já a classe S2 tem risco crescente quanto a sodificação dos solos principalmente os de textura fina como os argilosos, podendo causar dispersão das argilas e impermeabilidade. A classe S3 tem risco severos quanto a sodificação, podendo causar níveis tóxicos de sódio trocável na maioria dos solos, necessitando de práticas especiais de manejo.

## **6. Índice de qualidade de água**

Os padrões de avaliação da qualidade de água muda de acordo com a finalidade do seu uso, porém se faz necessário o conhecimento da qualidade da água independente do tipo de utilização. Para utilização humana, a avaliação é menos simples quanto ao uso na irrigação pelo fato de utilizar mais parâmetros em suas análises. Na região do Semiárido é comum a utilização de água sem conhecimento da sua qualidade, devido principalmente a escassez



hídrica. É muito importante avaliar a qualidade de água utilizada no Semiárido tanto na agricultura irrigada quanto para o consumo humano, pois o conhecimento da qualidade de um corpo hídrico poderá evitar danos a saúde humana, danos econômicos e danos ambientais (TAVARES FILHO 2020).

A necessidade de um maior conhecimento sobre a qualidade da água no tempo e no espaço levou a criação dos índices de qualidade de água (IQA). A ideia básica da criação dos índices de qualidade é agrupar uma série de variáveis numa escala comum, originando um só número, permitindo uma melhor leitura para o público não técnico. Os IQA's são utilizados para exprimir a qualidade da água dos mananciais superficiais, como lagos, água estuarina e rios (ALMEIDA et al., 2017).

Uma variedade de índices de qualidade de água foi criada por diferentes entidades e com objetivos distintos, sendo que todos eles possuem em comum a combinação ponderada de fatores. Contudo, o índice mais utilizado e conhecido pelos os pesquisadores é o da National Sanitation Foundation (NSF) que, a partir de 1970, passou a ser utilizado pela CETESB no estado de São Paulo. Para se calcular este índice, são selecionados, vários parâmetros, os mais significativos e, a partir daí, estipula-se para cada parâmetros, pesos de acordo com a sua importância. Na atualidade, alguns estados brasileiros adotam o IQA, que hoje é a principal ferramenta para se avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento (GLÓRIA et al., 2017).

Um conjunto de nove parâmetros mais representativos foi considerado pela NSF os mais importantes para a caracterização da qualidade da água e são os seguintes: oxigênio dissolvido (OD), pH, coliformes termotolerantes, nitrato, fosfato total, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), temperatura da água, turbidez e sólidos totais. Através do cálculo do IQA, se define a qualidade de um corpo hídrico, onde o valor do índice varia de zero a cem, quanto mais próximo de zero pior é a qualidade da água, porém quanto mais próximo do valor cem melhor é a qualidade do índice (VIEIRA et al., 2019).

Mohammed (2011), notou que o índice de qualidade da água é muito aplicado par qualificar o abastecimento humano urbano e amplamente utilizado por tomadores de decisão no planejamento ambiental. Portanto é imprescindível avaliar a qualidade da água de irrigação, a fim de diminuir ou eliminar os impactos negativos na agricultura. Portanto, muitas diferentes classificações têm sido propostas para avaliar a água de irrigação. A classificação de Richard (1954), que dependia da taxa da RAS e da condutividade elétrica, citado por Hussain (2014). A classificação proposta por Wilcox (1955), que é baseada na concentração percentual de sódio (NA %) e ao lado deles tem outra classificação muito conhecida no

mundo inteiro que é a de Ayers e Westcot (1999), que recomendava a classificação baseado na influência diversa dos cátions e ânions nas mudanças hidroquímica da salinidade. Além desses tem Don (1955), que propôs uma nova classificação com base nos parâmetros da RAS, CE, %Na e TDS.

Já Meireles (2010), propôs um índice de qualidade de água para água usada na irrigação, composto por duas etapas. A primeira etapa, após ela ter os resultados das amostras de água no laboratório, ela identificou os parâmetros que mais contribuiu com a variabilidade na qualidade da água de irrigação através do uso de componentes principais e análise fatorial usando um programa computacional. Na segunda etapa, ela definiu os valores de medição de qualidade ( $q_i$ ) e os pesos agregados( $w_i$ ). Os valores de  $q_i$  foram baseados nos valores de qualidade de água propostos pelo comitê da Universidade da Califórnia (UCCC) e pelos critérios estabelecidos por Ayers e Westcot 1999.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas, 2017. Ministério Do Meio Ambiente. **Atlas esgotos:** despoluição de bacias hidrográficas. Disponível em:<<http://atlasesgotos.ana.gov.br/>>. Acesso em: 12 dez. 2021.

ALMEIDA, R. A. S. de. et al. Índice de qualidade de uso da água subterrânea (E-IQUAS): aplicação para comunicar o estado da água em dois estudos de caso – Camaçari (BA) e Verdelândia (MG). **Revista Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 1, p. 88-103, 2017.

AMOS, A. et al. Comparative study of groundwater vulnerability to contamination assessment methods applied to the southern coastal sedimentary basin of Benin. **Journal of Hydrology**, v. 35, n. 100803, p. 1-13, 2021.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

BATISTA, P. H. D. et al. Avaliação da qualidade das águas dos Rios São Francisco e Jaguaribe para fins de irrigação. **ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 12, n. 01, p. 48-54, 2016.

BOSO, A. C. M. R. et al. Análise dos parâmetros da qualidade da água destinada a irrigação. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 12, n. 6, p 1-8, 2016.

BRASIL. Presidência da República. **Lei Federal 4.933/97**. Lei das Águas. Ministério da Casa Civil: Brasília, 1997.

CAMPOS, J.C.B. et al. Procedimentos para análise e validação de atributos da qualidade da água. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 559–573, 2019.

CAMPOS, J. N. B. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias pensadores e períodos. **Estudos Avançados**, v.28, n.82, p.65-88, 2014.

DON, C. M. “A grows guide to water quality”, University college station, Texas. 1955.

DUARTE, M. R. N. et al. Limnological dynamics in an artificial reservoir and intermittent river in the semi-arid region as a function of land use and occupation. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n. 1, p. 1-10, 2021.

ELISA, D. et al. Environmental impacts on water resources from summer crops in rainfed and irrigated systems. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 514-522, 2019.

FEITOSA, E. de O. et al. Environmental impacto of diferente agricultural production systems. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, n. 1, e.20196914, 2021.

FRANÇA, J. M. B. et al. Panorama das outorgas de uso dos Recursos Hídricos no Estado do Ceará no período de estiagem de 2009 – 2017. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 2, p 210-217, 2018.

FRUMIN, G.T. et al. Eutrofização de corpos d'água - Um problema ambiental global. **Russian Journal of General Chemistry**, v. 84, n. 13, p 2483-2488, 2014.

GIRARDI, R. et al. Parâmetros de qualidade de água de rios e efluentes presentes em monitoramentos não sistemáticos. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v.16, e.

2, p 1-14, 2019.

GLÓRIA, L. P. et al. Avaliação da qualidade da água de bacias hidrográficas através da ferramenta do índice de qualidade de água-IQA. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 14, n. 1, p103-119. 2017.

HUSSAIN, H. M. et al. Evaluation and mapping groundwater suitability for irrigation using GIS in Najaf Governorate, IRAQ. **Journal of Environmental Hydrology**, v. 22, n. 4, p 1238-1252, 2014.

MEDEIROS, S. R. M. de. et al. Índice de qualidade das águas e balneabilidade do Riacho da Bica, Portalegre, RN, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 3, p 711-730, 2016.

MEIRELES, A. C. M. et al. Uma nova proposta de classificação da água para fins de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p 349-357, 2010.

MESQUITA, J. B. F. et al. The influence of hydroclimatic conditions and water quality on evaporation rates of a tropical lake. **Journal of Hidrology**, v. 590, n.125456, p. 1-13. 2020.

MOHAMMED, M. N. et al. Quality assessment of Tigris River by using water quality index for irrigation purpose. **European Journal of Scientific Research**, v. 57, n. 1, p 15-28, 2011.

MRIDUL, D. et al "Water pollution: Effects on health and environment of Dala LGA, Nigeria," **Materials today: proceedings**, 2020.

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

PANTALENA, A. F.; MAIA, L. P. Marcas da ação antrópica na história ambiental do Rio Jaguaribe, Ceará, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v.14, n 3, p 459-469, 2014.

PEREIRA, G.R; CUELLAR, M.D.Z. Conflito pela água em tempo de secas no Baixo

Jaguaribe, Estado do Ceará. **Estudos Avançados**, v.29, n 84, p.115-137, 2015.

PINHEIRO, J. H. P. et al. Monitoramento da contaminação microbiana de Escherichia coli resistente a antibióticos isolada de água superficiais de parque urbano no sudeste do Brasil. **Revista Nanotecnologia Ambiental, Monitoramento e Gestão**, v. 15, n. 100438. p. 1-9, 2021.

RICHARDS, L. A. “Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils”, U. S. Department of Agriculture Handbook, Vol 60, Washington D. C., USA. 1954. 160p.

ROCHA, R. et al. Water scarcity and birth outcomes in the Brazilian semiarid. **Journal Development Economics**, v 112, ed. C. p.72-91, 2015.

RODRIGUEZ, R. D. G. et al. Using entropy theory to improve the definition of homogeneous regions in the semi-arid region of Brazil. **Jornal de Ciências Hidrológicas**, v.61, n. 11. p. 2096–2109, 2016.

SILVA, J.L.B. et al. Spatial-temporal monitoring of the risk of environmental degradation and desertification by remote sensing in a Brazilian semiarid region. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n. 02, p. 544–563, 2020.

SILVA, M. do S. R. da. et al. Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas: condições de suas águas versus Resolução nº 357/CONAMA/2005. **Revista Scientia Amazonia**, v. 6, n. 2, p. 83-90, 2017.

SILVA, I. N. et al. Qualidade de água na irrigação. **ACSA – Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 07, n. 03, p. 1-15, 2011.

SOUZA, C. A. et al. Qualidade água na bacia hidrográfica do Rio das Garças/MT para fins de irrigação. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**. v. 11, n. 1, p. 157-164, 2020.

SPINOLA, C. et al. A lei das águas e o São Francisco: os limites da gestão descentralizada dos recursos hídricos no Brasil. **Revista de Desenvolvimento Econômico**, v. 1, n. 33, p. 70-90, 2016.

STUDART, T. M. de C. et al. Águas turbulentas no Nordeste do Brasil: uma tipologia da água conflitos relacionado à governança. **Environmental Science and Policy**, v. 126, edição especial, p. 99-110, 2021.

SURIADIKUSUMAH, A. et al. Analysis of the water quality at Cipeusing river, Indonesia using the pollution index method. **Acta Ecologica Sinica**, v. 41, n. 3, p. 177-182, 2021.

TAVARES FILHO, G. S. et al. Qualidade da água no semiárido e seus efeitos nos atributos do solo e na cultura da Moringa oleifera Lam. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 43, n. 3, p. 293-301, 2020.

VIEIRA, B. M. et al. Avaliação e comparação das águas entre o Canal São Gonçalo e a Lagoa Mirim. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n 2, p. 185-196, 2019.

WILCOX, L.V. Classification and Use of Irrigation Water, United States Department of Agriculture, Circular No. 696, Washington, DC., 1955. 16p.

WWDR, 2015. Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015. Agua para un mundo sostenible. <http://www.unesco.org/new/es/naturalsciences/environment/water/wwdr/2015-water-for-a-sustainable-world/>. Acesso em 20 de dez. 2021.

YANG, X. et al. Mechanisms and assessment of water eutrophication. **Journal of Zhejiang University Science B**, v. 9, n. 3, p. 197–209, 2008.

ZAMAN M., SHAHID SA, HENG L. **Qualidade da Água de Irrigação**. In: Diretrizes para Avaliação, Mitigação e Adaptação de Salinidade Usando Técnicas Nucleares e Relacionadas. Springer, Cham. 2018.

## CAPÍTULO II

### RISCOS DE SALINIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEA EM COMUNIDADES RURAIS DE SÃO JOÃO DO JAGUARIBE-CE, BRASIL

**Resumo:** O principal problema do Semiárido é sem dúvida a escassez de água devido à baixa disponibilidade de recursos hídricos superficiais. Este problema leva muitos produtores rurais a utilizar águas subterrâneas para suprir suas demandas hídricas, especialmente para irrigação, sendo necessário avaliar a qualidade devido as possíveis limitações físico-químicas que podem causar efeitos negativos ao solo e a planta. Um estudo foi realizado em 16 comunidades rurais de São João do Jaguaribe Região Semiárida do Brasil, para avaliar a qualidade das águas de poços e estimar os riscos de salinização. As coletas de água foram feitas nos meses de outubro de 2019, 2020 e 2021. Três amostras no período de estiagem, as quais foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de solo, água e planta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, para a caracterização dos atributos físico-química, potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica, potássio, cálcio, magnésio, bicarbonato, sódio, cloreto, ferro e manganês. Os resultados das análises foram submetidos a estatística multivariada com a realização da análise de componentes principais e realização da análise fatorial. Os resultados mostraram que a estatística multivariada gerou quatro componentes principais através da componente principal / análise fatorial. O potencial hidrogeniônico, a razão de adsorção de sódio e o bicarbonato sendo os atributos que mais explicaram a qualidade da água para irrigação no fator 1, para o fator 2 os atributos cálcio, cloreto, sódio, magnésio e a condutividade elétrica. Já para o fator 3, foram os atributos ferro, mangânes e o potássio. As águas dos poços que foram classificadas como C2S1, poderão ser usadas para irrigar culturas com fraca tolerância a salinidade, irrigar solos com lixiviação moderada como os areno-argilosos, siltosos e silto-arenosos. Os poços que obtiveram a classificação C3S1, seu uso é muito restrito devido ao alto risco de salinização, porém quanto a sodicidade poderia ser usado sem problemas quanto a infiltração nos solos. Já o poço que obteve a classificação C3S2, essa água não deverá ser usada devido ao alto risco de salinização e ao médio risco de sodicidade, principalmente em solos com baixa e média infiltração e em culturas não resistentes a sais .

**PALAVRAS-CHAVE:** Sais solúveis, qualidade da água, recursos hídricos.

**Abstract:** The main problem in the semiarid region is undoubtedly the scarcity of water due to the low availability of surface water resources. This problem leads many rural producers to use groundwater to supply their water demands, especially for irrigation, being necessary to evaluate the quality due to possible physical-chemical limitations that can cause negative effects to the soil and the plant. A study was carried out in 16 rural communities in São João do Jaguaribe Semi-arid Region of Brazil, to assess the quality of water from wells and estimate the risks of salinization. Water collections were carried out in October 2019, 2020 and 2021. Three samples in the dry season, which were sent to the Laboratory of Soil, Water and Plant Analysis of the Universidade Federal Rural do Semi-Árido, for characterization physicochemical attributes, hydrogenic potential, electrical conductivity, potassium, calcium, magnesium, bicarbonate, sodium, chloride, iron and manganese. The results of the analyzes were submitted to multivariate statistics with the performance of the analysis of principal components and performance of the factor analysis. The results showed that the multivariate statistics generated four main components through the main component / factor analysis. The hydrogenic potential, the sodium adsorption ratio and bicarbonate being the attributes that most explained the quality of water for irrigation in factor 1, for factor 2 the attributes calcium, chloride, sodium, magnesium and electrical conductivity. As for factor 3, it was the attributes iron, manganese and potassium. The water from the wells that were classified as C2S1, can be used to irrigate crops with poor salinity tolerance, irrigate soils with moderate leaching such as sandy-clay, silty and silty-sandy. The wells that obtained the classification C3S1, their use is very restricted due to the high risk of salinization, however as for the sodicity it could be used without problems regarding the infiltration in the soils. In the well that obtained the classification C3S2, this water should not be used due to the high risk of salinization and the medium risk of sodicity, mainly in soils with low and medium infiltration and in cultures not resistant to salts.

**KEYWORDS:** Soluble salts, water quality, water resources.



## 1. INTRODUÇÃO

As características destaques do Semiárido brasileiro tem sido as altas temperaturas, o balanço hídrico deficitário, altas taxas de evaporação principalmente nos meses mais quentes e a baixa umidade. As baixas precipitações associadas à distribuição irregular no tempo e espaço é um fator bastante propício para a escassez desta zona climática brasileira (SILVA et al., 2017). As chuvas variam de 500 a 850 mm/ano, com aproximadamente 70% delas acontecendo nos meses de janeiro a abril. A evapotranspiração varia de 2100 a 2600 mm/ano, exigindo um armazenamento maior para atender as diversas atividades humanas principalmente nos meses de seca (RODRIGUES et al., 2022).

Diante do crescimento populacional, mudanças de estilo de vida, aumento da poluição e o consumo agrícola, tem se gerado um déficit cada dia maior entre oferta disponível e a demanda de água (SANTOS et al., 2017), logo a disponibilidade de água sem restrições severas para o uso agrícola tem sido uma das preocupações nas últimas décadas para os produtores devido à salinidade da maioria das águas subterrâneas.

Uma alternativa utilizada para suprir a demanda hídrica do semiárido tem sido a utilização das águas subterrâneas por meio da perfuração de poços. No Brasil as águas subterrâneas tem sido usadas para diversas finalidades tanto no setor privado como o público, afim de suprir as necessidades de irrigação, indústria, social e o consumo humano (Alexandre, 2021). Por outro lado, apesar da fonte hídrica subterrânea ser alternativa viável aos produtores rurais do semiárido, a maioria dos poços nem sempre satisfaz a qualidade devido à elevada concentração relativa de sais presentes, podendo apresentar restrições de uso quanto ao risco de salinização, sendo importante que o irrigante conheça a qualidade da água, bem como os seus riscos potenciais quanto à salinização, uma vez que os sais da água de irrigação podem acumular -se no solo e causar problemas de salinidade, sodicidade e toxidez e, conseqüentemente, prejudicar o solo e os rendimentos agrícolas (AMARAL et al., 2020).

Devido aos impactos causados ao solo pelo uso de águas salobras na irrigação, deve-se adotar manejo adequado da relação solo-água-planta para controle da salinidade e viabilidade dos cultivos. Essas medidas são tomadas a partir das informações obtidas da qualidade da água de irrigação utilizada; sendo estas avaliadas em três aspectos: toxicidade de íons específicos, risco de sodicidade e salinidade (COSME et al., 2018).

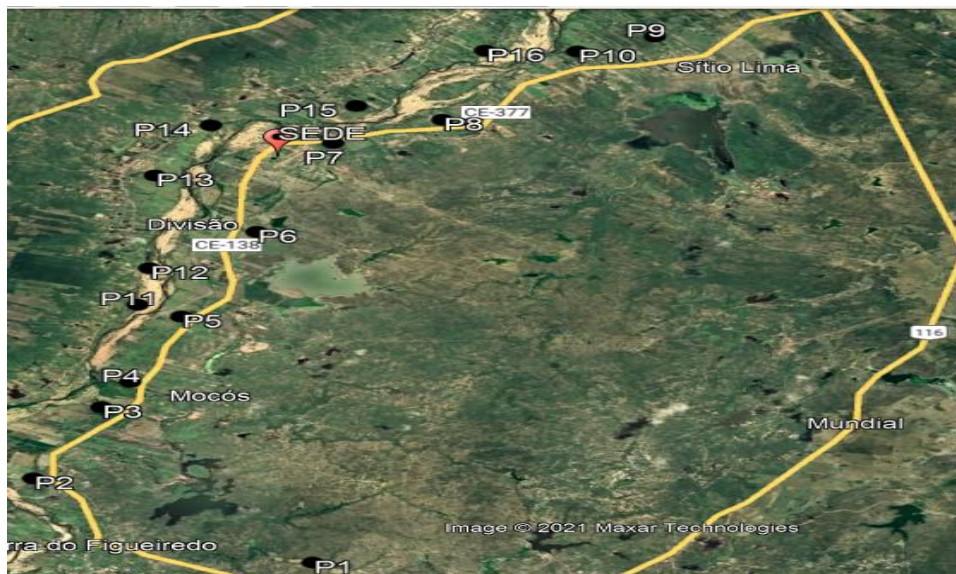
Levando em consideração estes aspectos, um estudo foi realizado em 16 comunidades rurais do município de São João do Jaguaribe-CE, objetivando avaliar a qualidade físico-química das águas de poços utilizados na agricultura irrigada local e estimar os riscos de salinidade, sodicidade e toxidez.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de São João do Jaguaribe-CE, localizado no Vale do Jaguaribe, estado do Ceará, Brasil. O clima do local de estudo é do tipo Tropical Quente Semiárido, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono, tendo precipitação pluviométrica média anual de 730,5 mm, tendo destaque nos meses de fevereiro a abril, as chuvas são bastante irregulares, resultando em um balanço hídrico negativo. A temperatura do ar média varia de 26 a 28°C (IPECE, 2017).

Os principais tipos de solos do Vale Jaguaribe são: Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Flúvicos, Neossolos Litólicos, Planossolos, Luvisolos, Latossolos Vermelho-Amarelo e Cambissolos. São solos rasos e com características morfológicas, físicas e químicas que favorecem aos processos erosivos. Este fato favorece o aumento do déficit hídrico na região, devido a pouca espessura do solo resultando na baixa capacidade de armazenamento de água nos mesmos (CEARÁ, 2009).

Inicialmente foi feito um levantamento de informações sobre as comunidades que utilizam como fonte hídrica, para a irrigação as águas dos poços tubulares utilizando os cadastros da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará. Com auxílio do software Google Earth®, (GOOGLE, 2021), foram localizadas as comunidades rurais e, a partir daí, foram selecionadas as 16 comunidades para as coletas das amostras de água. Na figura 01 está localizado os 16 poços de estudos.



Fonte: Google Earth.

Figura 1. Localização da Sede de São João do Jaguaribe e os respectivos poços estudados.

As localidades escolhidas e seus respectivos poços foram em função dos melhores acesso, localidades que irriga utilizando água de poços e a parceria com os produtores rurais que quiseram participar desse trabalho (Tabela 1).

**Tabela 1.** Coordenadas georreferenciadas dos poços estudados nas comunidades rurais em São João do Jaguaribe-CE.

POÇOS	COMUNIDADES	X Coordenadas m E (UTM)	Y Coordenadas m S (UTM)
P1	Nova Holanda	0581081	9404935
P2	Itapagipe	0576758	9407456
P3	Volta	0577781	9409632
P4	Mocós	0578286	9410362
P5	Tapagem	0579174	9412273
P6	São Bento	0579749	9415169
P7	Lima 1	0586625	9420721
P8	Lima 2	0585391	9420275
P9	Garça	0578424	9412687
P10	Carnaubal	0578599	9413778
P11	Pinto	0578684	9416557
P12	São José de Cima	0581748	9418713
P13	Bom Jesus	0583944	9420294
P14	Pachecos	0581534	9417523
P15	Nazária	0583365	9418169
P16	São José de Baixo	0579576	9418062

As coletas das amostras das águas dos poços ocorreram nos meses de outubro de 2019, 2020 e 2021, pela manhã entre as 7 e 10 horas. As mesmas foram acondicionadas em frascos plásticos de 2,0 L, sendo posteriormente identificadas e conservadas em caixa isotérmica com gelo à 4.0°C. Em seguida, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta - (LASAP) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - (UFERSA), no prazo máximo de 24 horas, para a caracterização dos atributos físico-químicos. As coletas nos poços foram feitas após o sistema de irrigação está em funcionamento pelo menos uma hora antes. O processo de amostragem foi com luvas plásticas descartáveis para a minimização da contaminação das amostras de água seguiram as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (BAIRD et al., 2017).

As análises no LASAP da UFERSA, foram determinadas pela metodologia da Embrapa (1997). As leituras de sódio ( $\text{Na}^+$ ) e potássio ( $\text{K}^+$ ) foram realizadas por meio do aparelho fotômetro de chama. A condutividade elétrica da água (CE) foi obtida por condutivímetro em  $\text{dS m}^{-1}$ . O Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ),  $[(\text{Ca}^{2+} + \text{Magnésio} (\text{Mg}^{2+}))]$ ,  $\text{Hco}_3^-$  e o  $\text{Cl}^-$  foram identificados por titulação. O  $\text{Mg}^{2+}$  foi feito pela a diferença do  $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$  e  $\text{Ca}^{2+}$ . Já os micronutrientes Fe, Mn, foram obtidos através do aparelho plasma por acoplamento indutivo (ICP).

A razão de adsorção de sódio (RAS) foi determinada pela através da seguinte equação:

$$RAS = \frac{Na}{\frac{(Ca + Mg)^{0,5}}{2}} \quad (1)$$

Em que:

RAS = razão de adsorção de sódio,

Na = teor de sódio na água de irrigação em mmol/L,

Ca = teor de cálcio na água de irrigação em mmol/L,

Mg = teor de magnésio na água de irrigação em mmol/L.

As amostras foram classificadas e interpretadas quanto ao risco de salinidade e sodicidade e toxidez de íons específicos conforme estabelecido pela United States Salinity Laboratory – USSL, Riverside.

Os resultados foram interpretados utilizando a estatística multivariada, dos parâmetros analisados, utilizado o programa computacional STATISTICA 11. Esta análise aplicada aos dados permite avaliar a associação entre as variáveis evidenciando a participação individual de cada componente das águas (IMNEISI, 2021).

Foi elaborada primeiramente, uma matriz de dados originais com os diferentes níveis de concentrações dos onze parâmetros de qualidade da água (pH, Condutividade elétrica, Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio, Bicarbonato, Cloreto, Ferro, Manganês e a RAS). Em seguida, os dados foram padronizados a fim de uniformizar as unidades onde, a partir, desta foi construída uma matriz de correlação que permite analisar a associação entre variáveis.

A análise estatística multivariada é uma ferramenta muito usada na interpretação e manipulação de dados com muitas variáveis. Através dessa ferramenta é possível agrupar variáveis semelhantes, investigar a dependência entre as variáveis, relacionar variáveis observadas objetivando predizer uma ou mais variáveis, além de construir testes de hipóteses (GOMES et al., 2017). As análises multivariadas mais usadas para estudos ambientais é a análise de componentes principais e análise fatorial, que permite a melhor compreensão entre os dados e suas interações (MUNIZ et al., 2019).

Análise Fatorial (AF), é uma técnica de interdependência, a partir do qual busca explicar as estruturas das variáveis da análise. Essa técnica fornece meios de estudar as estruturas das correlações de uma amostra, com inúmeras variáveis, tornando conhecidas os conjuntos de variáveis correlacionadas, que são conhecidos como fatores. AF tem como objetivo a simplificação, permitindo o melhor entendimento dos dados analisados (CENTENO et al., 2017).

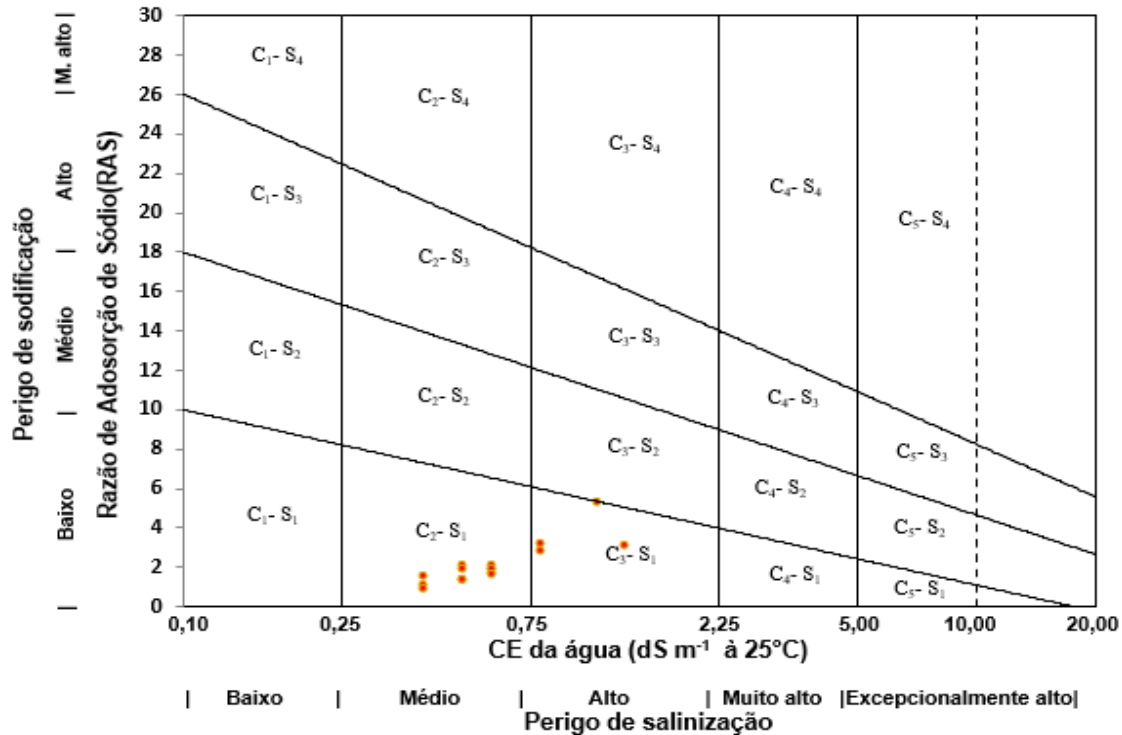
Análise de componentes principais (ACP) foi usada para identificar um número menor de novas alternativas variáveis (componentes) que resumem as principais informações e a variação das variáveis original. ACP requer decidir o número de componentes, ou seja, quantos componentes são necessários para explicar a variabilidade dos dados. Análise de componentes principais leva em consideração a variância total dos dados e é muito usada em estudos de qualidade de água e poluição ambiental. A ACP possibilita uma análise de muitas variáveis heterogêneas, que possuem características comuns, isto é, com um elevado grau de correlação entre si (BODRUD-DOZA et al., 2016).

O critério de Kaiser foi escolhido, porque mantém o componente principal com valores igual ou maior que 1, ou a variância igual ou superior a 70% (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2021).

Os fatores com autovalores superiores a um extraído por componentes principais e o eixo fatorial foram rodados pelo método Varimax para o AF. O valor de 0,65 foi estabelecido para os pesos fatoriais significantes. A AF mostra a contribuição de cada variável em relação a cada fator. Os dados foram usados para desenvolver a projeção bidimensional e diagramas vetorial para verificar os atributos que mais afetam a qualidade da água dos poços (SANTANA et al., 2016).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Considerando a média geral dos parâmetros analisados nas três coletas, nos 16 poços, a classificação pode ser observada na Figura 1 quanto ao grau de restrição de uso na irrigação.



**FIGURA 2.** Diagrama da classificação de água para irrigação quanto ao perigo de salinização do solo das águas de poços das comunidades rurais do município de São João do Jaguaribe, CE. (Adaptado de Richards 1954).

As águas dos poços das comunidades (Volta, Mocós, Tapagem, São Bento, Nazária, Lima I, Lima II, Garça, Carnaubal, Pinto, São José de Baixo e São José de Cima) foram classificadas como C2S1, ou seja, esses poços possuem médio risco de salinização do solo e baixo risco de sodicidade. Os produtores poderão utilizar essas águas na irrigação das culturas com algumas restrições e ainda com práticas de manejo adequada para evitar acúmulo de sais e seus efeitos negativos sobre as plantas e solo. A água C2S1 pode ser utilizada em irrigação de solos que permita uma lixiviação moderada de sais, como os siltosos, areno-argilosos e silto-arenosos (COSME et al., 2018).

Alguns tipos de solos deve-se evitar irrigar com águas de média ou alta concentrações de sais, devido principalmente as suas condições de drenagem. Os planossolos são solos minerais mal drenados ou imperfeitamente drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, geralmente com acentuada concentração de argila que o torna com a permeabilidade lenta ou muito lenta (SANTOS et al., 2018). Muito dos planossolos do semiárido são nátricos, que apresenta horizonte plânico com caráter sódico imediatamente abaixo do horizonte A ou E, esse tipo de solo tem alta saturação por sódio. Devido a condição de drenagem natural, os planossolos devem ser usados com sistema de drenagem artificial.

As comunidades (Nova Holanda, Itapagipe e Bom Jesus), os poços estudados

obtiveram a classificação C3S1 ou seja, essas águas têm alto risco quanto à salinização e baixo na sodicidade, sendo considerado uma água de qualidade regular, devido ao baixo teor de sódio e alto teores de sais. Essas águas podem ser utilizadas na irrigação, mas com algumas restrições, não sendo recomendadas em planossolos, gleissolos, organossolos, plintossolos e vertissolos devido suas condições restritas de drenagem natural. As águas C3S1, devido sua grande concentração de sais, poderá acumular na zona radicular das plantas comprometendo o crescimento, rendimento das culturas e seus aspectos morfológicos, caso os solos não tenha uma drenagem significativa natural ou artificial (LEITE et al., 2017). Solos como os neossolos quartzarênicos apesar de serem bem drenados, com o passar do tempo poderá ocorrer salinização caso não tenha sistemas de engenharia de drenagem (CASTRO et al., 2020).

Apenas o poço da comunidade Pachecos, ficou classificado como C3S2, obtendo a pior classificação entre os poços com alto risco de salinização e médio risco para a sodicidade, podendo causar problemas de infiltração no solo devido a sodificação. Já resultados muito inferiores encontrou Gomes et al. (2018), quando avaliou os parâmetros físicos e químicos da qualidade das águas subterrâneas da zona urbana do município de Sousa na Paraíba e constatou que mais de 50% das amostras foi classificada como C3, tendo um alto risco de salinização e 69% das amostras foi classificada como S4 tendo um risco muito forte de sodicidade. Para esse autor, altos índices de sais contidos nessas amostras podem causar prejuízos para o consumo humano e para agricultura.

Resultados inferiores obtiveram Guedes et al. (2016), quando avaliou a qualidade da água subterrânea da comunidade Barro Vermelho na zona rural do município de Aurora no Ceará, obtendo a classificação C2S1 para 66% dos poços estudados. Classificação inferiores também obteve COSME et al. (2018), quando avaliou a qualidade das águas de poços em comunidades e assentamentos rurais em Mossoró RN, constatando apenas 13,04% dos poços com a classificação C2S1. Desse modo, pode-se inferir que, mesmo situado em uma mesma zona climática, as qualidades das águas de poços podem variar do ponto de vista espacial.

Em relação à análise multivariada, observa-se que há significância entre o número de correlações e este fato, confirma que análise fatorial (AF), combinada com análise de componentes principais (ACP) pode fornecer informações relevantes, podendo assim, ser usado como instrumento aplicável e viável para o estudo dos parâmetros físico-químicos da água (Tabela 2).

As correlações dos parâmetros químicos da água encontrados, estão interligados nos resultados das águas dos poços. A Tabela 2, apresenta-se a matriz de correlação dos parâmetros qualitativos da água dos poços do município de estudo. Todos os valores em negrito com asterísticos, tiveram uma correlação forte e são significativos a um nível de 5%.

Tabela 2. Matriz de correlação dos parâmetros qualitativos da água dos poços estudados.

	pH	CE	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Hco <sub>3</sub>	RAS	Mn	Fe
pH	1,00										
CE	0,30	1,00									
K <sup>+</sup>	-0,27	0,33	1,00								
Na <sup>+</sup>	0,21	<b>0,96*</b>	0,32	1,00							
Ca <sup>2+</sup>	-0,27	0,66	<b>0,74*</b>	0,69	1,00						
Mg <sup>2+</sup>	-0,29	0,51	<b>0,80*</b>	0,54	0,88	1,00					
Cl <sup>-</sup>	0,10	<b>0,88*</b>	0,53	<b>0,86*</b>	0,87	<b>0,73*</b>	1,00				
Hco <sub>3</sub>	0,50	0,56	-0,14	0,54	-0,09	-0,08	0,14	1,00			
RAS	0,46	<b>0,83*</b>	-0,10	<b>0,83*</b>	0,19	0,02	0,51	<b>0,81*</b>	1,00		
Mn	-0,08	0,03	0,71	0,06	0,35	0,43	0,17	-0,01	-0,18	1,00	
Fe	0,06	-0,20	0,66	-0,25	0,10	0,28	-0,05	-0,19	-0,42	0,67	1,00

pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica; K<sup>+</sup> = potássio; Na<sup>+</sup> = sódio; Ca<sup>2+</sup> = cálcio; Mg<sup>2+</sup> = magnésio; Cl<sup>-</sup> = cloreto; Hco<sub>3</sub> = bicarbonato; RAS = razão de adsorção de sódio; Mn = manganês; Fe = ferro.

Os parâmetros que obtiveram correlação considerados significativos para fins de interpretação (igual ou acima de 0,70) foram: a CE com o Na<sup>+</sup>; a CE com o Cl<sup>-</sup>; a CE com a RAS; o K<sup>+</sup> com o Ca; o K<sup>+</sup> com o Mg<sup>2+</sup>; o K<sup>+</sup> com o Mn; o Na<sup>+</sup> com o Cl<sup>-</sup>; o Na<sup>+</sup> com a RAS; o Ca<sup>2+</sup> com o Mg<sup>2+</sup>; o Ca<sup>2+</sup> com o Cl<sup>-</sup>; o Mg<sup>2+</sup> com o Cl<sup>-</sup> e o Hco<sub>3</sub> com a RAS. Já a menor correlações foi do Hco<sub>3</sub> com o Mn.

A CE é um parâmetro usado para avaliar os teores de sais nas águas de irrigação e nesse estudo foi observado que a CE teve interação muito alta com o Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> e a RAS. Resultados semelhantes obteve Gomes e Cavalcante (2017), na interação da CE com o sódio e da CE com o Cl<sup>-</sup>, quando aplicou análise de estatística multivariada no estudo da água subterrânea no município de Fortaleza-CE. Já para Ucker et al. (2013), o conhecimento sobre a RAS é de suprema importância, posto que a combinação da CE com a RAS serve para avaliar os perigos que a água oferece, em termos do aumento do teor de Na<sup>+</sup> na solução do solo.

O Na<sup>+</sup> é o principal responsável pelo aumento da salinidade nas águas naturais do ponto de vista catiônica. A forte correlação entre o Na<sup>+</sup> e o Cl<sup>-</sup> nas águas subterrâneas se dar pelo fato que o sódio é encontrado principalmente na forma de Cl<sup>-</sup>, tendo como minerais fonte o feldspatoides, feldspato e plagioclásios. O Na<sup>+</sup> pode entrar na natureza pela forma antrópica por ações do homem através dos esgotos sanitário, efluentes industriais e atividades agrícolas, porém também pode ser pela a própria natureza através da lixiviação das rochas (CETESB, 2019).

Com base na análise de componentes principais, a soma dos três fatores encontrados explica 89,07% das variações dos dados originais de um total de 11 fatores baseados nas



variâncias calculadas.

Na Tabela 3, encontra os parâmetros com suas cargas fatoriais e a variância acumulada.

**Tabela 3.** Cargas fatoriais e acumulo de variância referente a qualidade de água dos poços em estudos.

Variáveis	Cargas Fatoriais		
	Fator 1	Fator 2	Fator 3
pH	<b>0,82</b>	-0,19	0,07
CE	0,55	<b>0,82</b>	-0,09
K <sup>+</sup>	-0,19	0,60	<b>0,74</b>
Na <sup>+</sup>	0,50	<b>0,85</b>	-0,12
Ca <sup>2+</sup>	-0,17	<b>0,94</b>	0,21
Mg <sup>2+</sup>	-0,22	<b>0,83</b>	0,38
Cl <sup>-</sup>	0,18	<b>0,93</b>	0,04
Hco <sub>3</sub>	<b>0,88</b>	0,11	-0,08
RAS	<b>0,80</b>	0,44	-0,33
Mn	-0,01	0,18	<b>0,87</b>
Fe	-0,07	-0,11	<b>0,94</b>
Autovalor	4,92	3,36	1,51
Variância Total (%)	44,75	30,56	13,75
Variância Acumulada %	44,75	75,32	89,07

Verifica-se que o primeiro Fator, os parâmetros pH, Hco<sub>3</sub> e a RAS, obtiveram cargas superiores a 0,70, indicando a parte comum mais abrangente dos parâmetros observados nesse fator. Esses parâmetros estão ligados alcalinidade, dureza e a sodificação que influencia na qualidade da água. Com exceção da RAS, Oliveira Júnior (2021) obteve resultados diferentes para o fator 1 quando aplicou a multivariada na qualidade da água para irrigação em microbacia perene do semiárido brasileiro.

O fator 2 teve destaque os parâmetros Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e CE. Estes parâmetros estão associados à qualidade da água influenciada por processos de mineralização (BRODNJAK-VONCINA et al., 2002; MEIRELES, 2007). Esses parâmetros podem ocasionar sérios problemas para as plantas quando estiverem em quantidades acima do tolerado. O Cl<sup>-</sup> em excesso no protoplasma, ocasiona distúrbios em relação ao balanço iônico (K<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup> em relação ao Na<sup>+</sup>). Já os sais de cálcio possuem moderada e elevada solubilidade, sendo muito comum precipitar na forma de carbonato de cálcio. É um dos principais constituintes na água e o principal responsável pela dureza, geralmente apresentado na forma de bicarbonato. A Solubilidade do bicarbonato de cálcio aumenta na presença de sais de K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>. O Ca<sup>2+</sup> é o elemento abundante na maioria das águas naturais e rochas, ocorre principalmente nos minerais dolomita, calcita e aragonita (FEITOSA et al., 2008).

Os principais íons quanto a toxicidade são cloreto, sódio e o boro. Esses íons mesmo em

concentrações baixas podem causar toxicidade nas plantas dependendo da tolerância das culturas. Frequentemente os problemas de toxicidade agravam e complementa a outros problemas como a salinidade e infiltração. Os danos nas plantas ocorrem quando as raízes absorvem em quantidade significativas a esses íons tóxicos. Além das raízes, as folhas também podem absorver esses íons através da água de irrigação por aspersão. Os principais íons absorvidos pelas folhas através do molhamento da área foliar são o sódio e o cloreto, que pode causar problemas nas culturas sensíveis como os citros por exemplo (AYERS; WESTCOT, 1999).

O fator 3 teve como destaque o Fe, Mn e o  $K^+$ . O manganês é um micronutriente que está envolvido em vários processos metabólicos, o Mn tem papel importantíssimo na ativação de várias enzimas na rota do ácido chiquímico. A fotólise da água que ocorre nos cloroplastos onde libera elétrons da água para o fotossistema II, acontece porque as enzimas contêm manganês. Em solos brasileiros geralmente, a concentração de Mn não é limitante na produção de forrageiras, entretanto em solos ácidos que apresenta altas concentrações de manganês, tem provocado toxicidade as plantas e animais. (MINGOTTE et al., 2011).

#### **4. CONCLUSÕES**

Os poços das localidades Volta, Mocós, Tapagem, São Bento, Nazária, Lima I, Lima II, Garça, Carnaubal, Pinto, São José de Baixo e São José de Cima, foram classificados como C2S1, com médio risco quanto a salinidade e baixo risco quanto a sodicidade. Esses poços são recomendados para irrigação, desde que os solos tenha uma drenagem razoável e que as culturas sejam tolerantes aos sais. Os poços das comunidades Nova Holanda, Itapagipe e Bom Jesus foram classificados como C3S1, tendo um alto risco de salinidade e baixo risco de sodicidade. Esses poços não é recondado para o uso na irrigação pelo alto risco de sais, porém com um manejo adequado, drenagem e o uso de culturas altamente tolerantes, esses poço poderão ser usados, correndo o risco de salinização dos solos e toxicidade das culturas. O único poço que obteve a classificação C3S2 foi o da comunidade Pachecos, tendo a pior classificação entre os poços estudados quanto a classificação da água para irrigação das comunidades rurais de São João do Jaguaribe. Esse poço não é recomendado para o uso na irrigação devido ao alto risco de sais e de médio risco de sodicidade.

Os atributos físico-químicos que melhor explicam a qualidade da água para irrigação são para o fator 1 foi: o potencial Hidrogeniônico, o bicarbonato e a razão de adsorção de sódio. Para o fator 2 foi cálcio, magnésio, condutividade elétrica, cloreto e o sódio. No fator 3 foi o manganês, ferro e o potássio.

## REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, L. M et al. Estudando a qualidade da água subterrânea destinada a irrigação na comunidade agrícola de Barreiros, Aratuba-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 15, p 36-47, 2021.
- AMARAL, K. D. S. et al. Implantação de sistemas de dessalinização em comunidades rurais do semiárido do Rio Grande do Norte: percepção social da água potável e das ações voltadas a ampliar seu acesso universal. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 54, p. 362-378, 2020.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).
- BAIRD, R. B.; EATON, A. D.; RICE, E. W. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23.ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2017. 1504p.
- BODRUD-DOZA, M. D. et al. Characterization of groundwater quality using water evaluation indices, multivariate statistics and geostatistics in central Bangladesh. **Water Science**, v. 30, n. 1, p. 19-40, 2016.
- BRODNJAK-VONCINA, D. et al. Caracterização química da qualidade da água do rio. **Analytica Chimica Acta**, v.462, p.87-100, 2002.
- CASTRO, F. C. et al. Salinidade do solo e risco de desertificação na região semiárida. **Revista Mercator**, v. 19, e. 19002, p. 1-13, 2020.
- CEARÁ. Assembleia Legislativa. **Caderno regional da sub bacia do Médio Jaguaribe / Conselho de Altos Assuntos Estratégicos**. Fortaleza: INESP, 2009.p.102.
- CENTENO, L. N. et al. Utilização da estatística multivariadas como ferramenta para identificação das possíveis fontes de poluição do Arroio Lavras do Sul/RS, Brasil. **Revista Tecno-Lógica**, v.21, n. 7, p. 24-29. 2017.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Qualidade das águas subterrâneas no estado de São Paulo 2016-2018**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2019. 291 p.

COSME, C. R. et al. Avaliação da qualidade das águas de poços em comunidades e assentamentos rurais em Mossoró-RN. **Acta Iguazu**, v.7, n.2, p 97-108, 2018.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3 ed. rev. ampl. – Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 p.

GOOGLE. **Google Earth website**. Disponível em: [https://google-earth.gosur.com/?gclid=Cj0KCQiAkNiMBhCxARIsAIDDKNVhs2l\\_7uPaOw9T6T417C3t\\_288G-Ue8MrWUZfTXF87o-Mh23hxNUMaAt3XEALw\\_wcB](https://google-earth.gosur.com/?gclid=Cj0KCQiAkNiMBhCxARIsAIDDKNVhs2l_7uPaOw9T6T417C3t_288G-Ue8MrWUZfTXF87o-Mh23hxNUMaAt3XEALw_wcB). Acesso em: 18 novembro. 2021.

GOMES, M. A. et al. Avaliação hidroquímica e de parâmetros físico-químicos de qualidade das águas subterrâneas da zona urbana do município de Sousa-PB. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 2, p. 162-172, 2018.

GOMES, M. C. R; CAVALCANTE, I. N. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água subterrânea. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 1, p. 134-149, 2017.

GUEDES, T. A. et al. Qualidade das águas subterrâneas e superficial da comunidade Barro Vermelho, município de Aurora, Ceará, para fins de irrigação. **Revista Tecnologia & Ciências Agropecuária**, v. 10, n. 3, p. 37 – 44, 2016.

IMNEISI, I. Using The Irrigation Water Quality Index to Evaluate of Some Water Resources in Al-Abyar-Ghut Al-Sultan Area NE Libya. **Scientific Journal of University of Benghazi**, v. 34, n.1, p. 234 – 239, 2021.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil municipal de São João do Jaguaribe-CE**. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmninnkcbpcbjpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.ipece.ce.gov.br%2Fwp-content%2Fuploads%2Fsites%2F45%2F2018%2F09%2FSao\\_Joao\\_do\\_Jaguaribe\\_2017.pdf&clean=982478&chunk=true](chrome-extension://efaidnbmninnkcbpcbjpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.ipece.ce.gov.br%2Fwp-content%2Fuploads%2Fsites%2F45%2F2018%2F09%2FSao_Joao_do_Jaguaribe_2017.pdf&clean=982478&chunk=true). Acesso em 4 de janeiro de 2022.

LEITE, J. V. Q. et al. Efeito do estresse salino e da composição iônica da água de irrigação sobre variáveis morfofisiológicas do feijão caupi. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 6, p. 1825-1833, 2017.

MEIRELES, A. C. M. **Dinâmica qualitativa das águas superficiais da bacia do Acaraú e uma proposta de classificação para fins de irrigação**. 2007. 180f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Ceará, 2007.

MINGOTTE, F. L. C. et al. Manganês na nutrição e na produção de massa seca do capim-mombaça. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 6, p. 879-887, 2011.

MUNIZ, D. H. de F. et al. Uso de técnicas estatísticas multivariadas na avaliação da qualidade da água de corpos hídricos do distrito federal. In:XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Foz de Iguaçu. 24 a 28 de novembro 2019.

OLIVEIRA JÚNIOR. R. F. et al. Multivariate statistics Applied to irrigation water quality data of a watershed in the semiarid region of Brazil. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 3. p. 650-658, 2021.

RODRIGUES, L. G. et al. Crescimento inicial da alface hidropônica sobre diferentes níveis de salinidade em sistema automatizado com Arduino Uno em função da temperatura e umidade do ar no semiárido. **Revista Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 11, n. 1, p 1-22, 2022.

SANTANA, N. R. S. et al. Índice de qualidade da água nas nascentes do Rio Piauitinga-se por análise multivariada e uso na irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.10, n. 6, p. 999 – 1010, 2016.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, S. et al. Urban growth and water access in sub-Saharan Africa: progress, challenges, and emerging research directions. **Science of the Total Environment**, v. 607–608, p. 497–508, 2017.

SILVA, E. B. da. Et al. Variabilidade Espaço-Temporal da qualidade da água no Vale do Rio Trussu, Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 3, p. 1420-1429, 2017.

UCKER, F. E. et al. Elementos interferentes na qualidade da água para irrigação. **Revista Eletrônica. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v 10, n 10, p. 2102-2111, 2013.

### CAPÍTULO III

#### ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA FINS DE IRRIGAÇÃO EM UM TRECHO PERENE DO RIO JAGUARIBE-CE

**Resumo:** No semiárido, a escassez de recursos hídricos tem forçado agricultores a usar águas salinas e salobras para fins de irrigação, sendo primordial estimar os riscos potenciais destas águas quanto a salinização dos solos. Um estudo foi realizado para avaliar a qualidade de água de fontes hídricas superficiais em área de produção familiares de um trecho perenizado do Rio Jaguaribe no município de São João do Jaguaribe-CE e Tabuleiro do Norte. O estudo definiu um índice de qualidade de água como ferramenta para auxiliar na compreensão dos resultados das análises de água em função do seu estado qualitativo, tendo em vista seu uso na irrigação. As coletas de amostras de água foram feitas nos meses de outubro de 2019, 2020 e 2021, em 5 pontos diferentes ao longo do Rio nos municípios de estudo, e as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de análise de solo, água e planta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, para caracterização físico-química, sendo determinado os índices de qualidade de água em três classes utilizando os componentes principais. Os índices de qualidade de água variaram entre os pontos da mesma coleta e de coleta para coleta. O melhor índice foi no ponto dois da primeira coleta com o valor de 62,33. Já o pior índice foi classificado com o valor 13,36 no ponto quatro da segunda coleta. Os indicadores que mais influenciaram a qualidade da água de irrigação foram o pH, magnésio, cálcio, potássio, condutividade elétrica e bicarbonato, ambos no fator um que mais explica a variância total.

**Palavras chave:** Recursos hídricos, multivariada, salinização

**Abstract:** In the semi-arid region, the scarcity of water resources has forced farmers to use saline and brackish water for irrigation purposes, and it is essential to estimate the potential risks of these waters in terms of soil salinization. A study was carried out to evaluate the water quality of surface water sources in a family production area of a perennial stretch of the Jaguaribe River in the municipality of São João do Jaguaribe-CE and Tabuleiro do Norte. The study defined a water quality index as a tool to help understand the results of water analyzes in terms of their qualitative state, considering its use in irrigation. Water samples were collected in October 2019, 2020 and 2021, at 5 different points along the river in the study municipalities, and the samples were sent to the University's Soil, Water and Plant Analysis Laboratory Federal Rural do Semi-Árido, for physical-chemical characterization, being determined the water quality indices in three classes using the main components. The water quality indices varied between the points of the same collection and from collection to collection. The water quality indices varied between the points of the same collection and from collection to collection. The best index was at point two of the first collection with a value of 62.33. The worst index was classified as 13.36 at point four of the second collection. The indicators that most influenced the quality of irrigation water were pH, magnesium, calcium, potassium, electrical conductivity and bicarbonate, both in factor one that most explains the total variance.

**KEYWORDS:** Water resources, multivariate, salinization.

## INTRODUÇÃO

A hidrografia brasileira é constituída por rios navegáveis em corrente livre por hidrovias geradas pela canalização de seus trechos, além de extensos lagos isolados, criados pela construção de barragens para uso de geração de energia, abastecimento humano e agricultura irrigada. (DIAS et al.,2011).

No Brasil, os usos mais significativos, em termos de retirada de água, são o abastecimento urbano e a irrigação, que representam 24,4 e 49,8% da retirada total, respectivamente (ANA,2019).

Neste contexto, o Rio Jaguaribe, estado do Ceará, destaca-se pela importância no abastecimento de água da população cearense, dado que as três bacias que têm como tronco o citado rio, respondem por aproximadamente 54% da capacidade de armazenamento de água do Estado do Ceará, com cerca de 9,4 bilhões de metros cúbicos (FREIRE et al., 2013).

A disponibilidade hídrica tem sido uma das principais preocupações da agricultura irrigada nas últimas décadas devido ao aumento do consumo de água na agricultura para garantir a segurança alimentar da população, a mudança de estilo de vida e o aumento da poluição tem-se gerado um déficit cada dia maior entre a oferta disponível e a demanda de água (SANTOS et al.,2017). Além da quantidade, a qualidade físico-química da água é um aspecto bastante relevante, uma vez que toda e qualquer água utilizada na irrigação contém sais e, pode acumular-se no solo e causar salinização das áreas irrigadas, sendo necessário a avaliação da qualidade da água para estimar os riscos potenciais e, definir estratégias de manejo de água que o acúmulo de sais no solo e os consequentes efeitos negativos.

A qualidade da água de irrigação pode variar de acordo com o tipo de sais dissolvidos. Os sais são depositados nos solos com aplicação da água de irrigação que acumulam-se conforme a evaporação da água e as práticas de manejo da água de irrigação (AYERS; WESTCOT, 1999). A qualidade da água utilizada na irrigação depende da região, fonte de água, percurso anterior da água, da geologia, zona climática, e do desenvolvimento da irrigação. Geralmente as águas das zonas úmidas tem menos sais que as zonas áridas; as águas de rios são menos salinas que as subterrâneas; já as águas das nascentes têm menor concentração de sais se comparadas com as próximas as nascentes.

Visando balizar o uso múltiplo dos recursos hídricos, uma importante medida ambiental para diagnosticar um corpo hídrico é o uso de indicadores físicos, químicos e biológicos, os quais são usados para descrever e controlar as condições do ambiente aquático. O Índice de Qualidade da Água (IQA) desenvolvido pela National Sanitation Foundation



com auxílio de especialistas, abrange as interações entre as diversas variáveis mensuradas em amostras de água (BONNET et al., 2008; FREIRE et al., 2013; SÃO PAULO, 2021).

A determinação de índices de qualidade da água facilita o entendimento, pois permite a agregação das muitas variáveis em um determinado valor numérico, o qual informa a classe qualitativa que está enquadrado o corpo hídrico para um determinado uso (ZAMBERLAN et al., 2013).

Índices baseados em técnicas estatísticas favorecem o reconhecimento dos indicadores mais característicos do corpo de água em estudo. Os IQAs podem informar possíveis alterações (degradação ou recuperação) da água no tempo e no espaço (MEIRELES et al., 2010).

A qualidade da água de diferentes corpos hídricos pode ser avaliada por meio de técnicas de análise multivariada principalmente na determinação de índices, que vem a facilitar a identificação de parâmetros que mais caracterizam e influenciam na dinâmica dos corpos hídricos. A técnica de análise dos componentes principais, é utilizada por muitos autores que a partir de uma matriz de dados originais, avalia as mudanças de características na qualidade da água. Essa técnica também pode ser usada para identificar relações entre variáveis que causam sazonalidade bem como variações temporais na qualidade dos recursos hídricos (WANG et al., 2017).

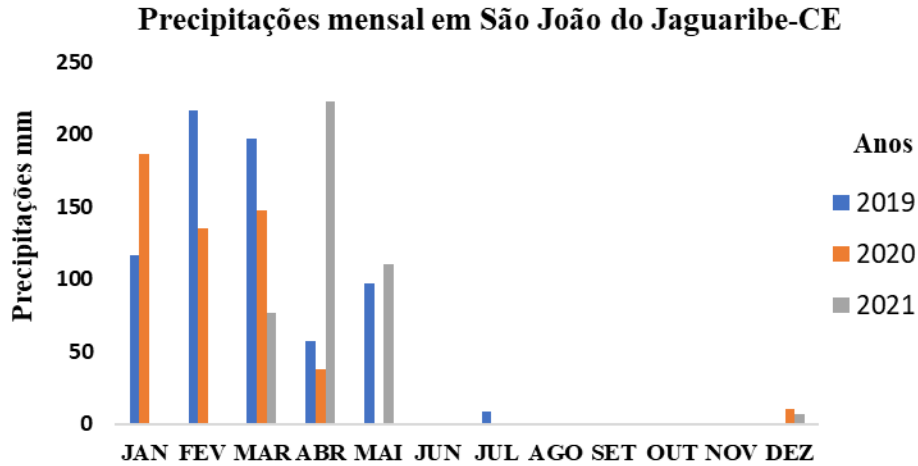
Levando-se em consideração esses aspectos, objetivou-se avaliar por meio da definição do índice de qualidade de água para irrigação específico para as condições físico-químicas da água do Rio Jaguaribe no município de São João do Jaguaribe-CE.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi realizado no Rio Jaguaribe que nasce na Serra da Joanhina no município de Tauá-CE. O município de São João do Jaguaribe está localizado na Região do Vale do Jaguaribe, o clima da região é do tipo Tropical Quente Semiárido, clima seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono, tendo precipitação pluviométrica média anual de 730,5 mm, sendo a mesma bastante irregular, e temperatura do ar média variando de 26 a 28°C (IPECE, 2017).

O gráfico 1 demonstra as precipitações mensais em (mm), nos anos de 2019 a 2021, confirmando as irregularidades das chuvas no município de estudo.

**Gráfico 1.** Precipitações mensais nos anos de 2019 a 2021 no município de São João do Jaguaribe-CE.



Fonte: Funceme 2022

Na região do Rio Jaguaribe os principais tipos de solos são: Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Flúvicos, Neossolos Litólicos, Planossolos, Luvisolos, Latossolos Vermelho-Amarelo e Cambissolos. São solos rasos e com características morfológicas, físicas e químicas que favorecem aos processos erosivos. Tal fato favorece o aumento do déficit hídrico na região, devido a pouca espessura do solo resultando na baixa capacidade de armazenamento de água nos mesmos (CEARÁ, 2009).

As áreas escolhidas para as coletas foram em função dos melhores acessos ao rio, identificando os possíveis agentes causadores de alterações na qualidade da água, ao longo do corpo hídrico, sendo escolhido cinco pontos no Rio Jaguaribe no município de estudo, destacados na Tabela 1.

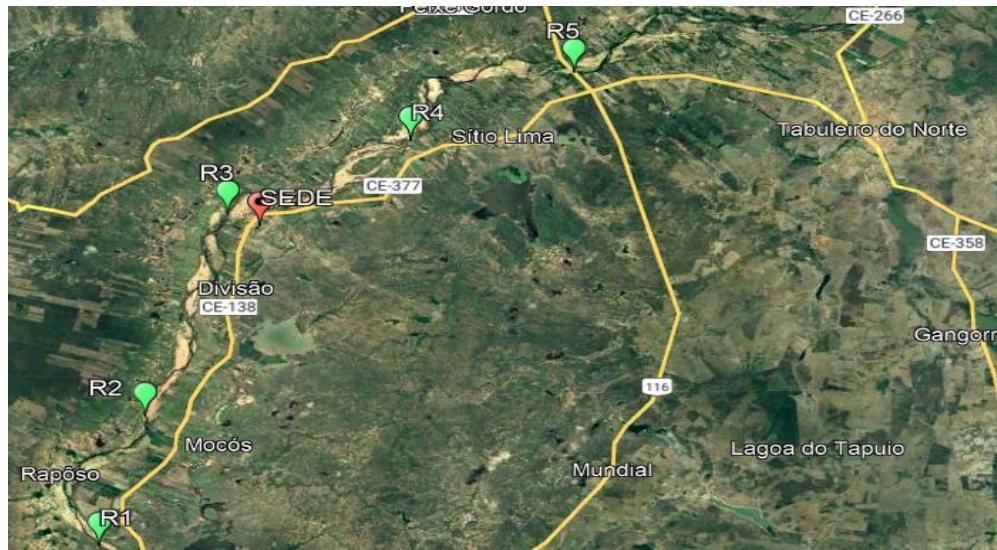
**Tabela 1.** Coordenadas georreferenciadas dos cinco pontos no Rio Jaguaribe em São João do Jaguaribe nos anos 2019, 2020 e 2021.

Coordenadas	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
X Coordenadas m E	576446.4	577644.8	579798.4	584558.2	588809.3
Y Coordenadas m S	94066118.2	9410883.4	9417520.6	9419931.8	9422176.7

**Fonte:** Google Earth

As coletas das águas foram realizadas nos meses de outubro de 2019, 2020 e 2021, pela manhã entre as 7 e 10 h. Tais amostras foram coletadas em frascos plásticos de 2,0 L, a uma profundidade de 0,40 m no corpo hídrico, sendo posteriormente identificadas e conservadas em caixa isotérmica com gelo à 4.0°C. Em seguida, as amostras foram encaminhada para o Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta – LASAP da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, para realização das análises físico-químicas, seguindo as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (BAIRD et al., 2017). No processo de amostragem foram utilizadas luvas plásticas descartáveis para a minimização da contaminação das amostras de água também seguindo as recomendações do Standard Methods

for the Examination of Water and Wastewater (BAIRD et al., 2017). A figura 1 demonstra a localização exata dos pontos de coleta ao longo do Rio Jaguaribe.



Fonte: Google Earth.

**Figura 1.** Localização dos pontos de coleta de água no trecho perene do Rio Jaguaribe.

As análises no LASAP da UFERSA, foram determinadas pela metodologia da Embrapa (1997). As medidas de sódio ( $\text{Na}^+$ ) e potássio ( $\text{K}^+$ ) foram realizadas por fotômetro de chamas. A condutividade elétrica (CE) foi obtida através do condutivímetro em  $\text{dS m}^{-1}$ . O cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ),  $[(\text{Ca}^{2+} + \text{magnésio } (\text{Mg}^{2+}))]$ , o bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) e o cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) foram identificados por titulação. O  $\text{Mg}^{2+}$  foi feito pela a diferença do  $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$  e  $\text{Ca}^{2+}$ . Já os micronutrientes ferro (Fe), manganês (Mn), foram obtidos através do aparelho Plasma por acoplamento indutivo (ICP).

A razão de adsorção de sódio (RAS) foi determinada pela através da seguinte equação:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{(\text{Ca} + \text{Mg})^{0,5}} \quad (1)$$

Onde que:

RAS = razão de adsorção de sódio,

Na = teor de sódio na água de irrigação em  $\text{mmol/L}$ ,

Ca = teor de cálcio na água de irrigação em  $\text{mmol/L}$ ,

Mg = teor de magnésio na água de irrigação em  $\text{mmol/L}$ .

De posse dos dados foram determinados os índices de qualidade de água para cada ponto do rio nas diferentes épocas de coletas dos anos através da equação:

$$IQAI = \sum_{i=1}^n q_i w_i \quad (2)$$

Em que:

IQAI = índice de qualidade da água, um número adimensional entre 0 a 100;

qi = qualidade da i-ésima variável, um número entre 0 e 100;

wi = peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, dado em função da sua importância.

Os pesos relativos a cada um dos parâmetros estudados foram atribuídos mediante análise multivariada utilizando o método dos componentes principais. Foi utilizado o programa computacional *STATISTICA 11* para o procedimento. Esta análise aplicada aos dados permite avaliar a associação entre as variáveis evidenciando a participação individual de cada componente das águas (IMNEISI et al., 2021).

Construiu-se uma matriz de dados originais e a partir desta foram calculados os pesos e a qualidade das variáveis medidas por meio das equações abaixo descritas com base em estudos de Meirelles (2007), Meirelles (2010) e Zamberlan (2013):

$$Q_i = Q_{i\text{máx}} \frac{(x_{ij} - x_{\text{inf}}) q_{i\text{amp}}}{x_{\text{amp}}} \quad (3)$$

Em que:

Qi = qualidade individual do parâmetro, um número adimensional entre 0 e 100;

Qimáx = valor máximo de qi para a classe;

xij = valor observado do parâmetro;

xinf = limite inferior da classe;

qi amp = amplitude da classe do qi

xamp = corresponde a amplitude da classe do parâmetro.

$$w_i = \frac{\sum F_j A_{ij}}{\sum \sum F_j A_{pi}} \quad (4)$$

Em que:

wi = peso atribuído a cada parâmetro da água;

F<sub>j</sub> = auto valor do fator j;

A<sub>ij</sub> = carga fatorial do parâmetro i;

A<sub>pi</sub> = carga fatorial dos parâmetros p.

Foi elaborada primeiramente, uma matriz de dados originais com diferentes níveis de concentrações dos onze parâmetros de qualidade da água. Em seguida, os dados foram padronizados a fim de uniformizar as unidades onde, a partir, desta foi construída uma matriz de correlação que permite analisar a associação entre variáveis. Em seguida foi feita análise de Componentes Principais, no intuito de reduzir o número de dados sem prejuízo das informações relativa aos níveis dos parâmetros qualitativos da água.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, apresenta-se a matriz de correlação dos parâmetros qualitativos da água. Os valores em negrito com asterístico são significativos a 5% e tem uma correlação forte entre as duas variáveis.

De acordo com a matriz de correlação, os parâmetros que tiveram correlações igual ou acima de 0,70 foram: pH com a Ce; a Ce com o K<sup>+</sup>; o Ca<sup>2+</sup> com o pH; o pH com o Mg<sup>2+</sup>; o Mg<sup>2+</sup> com o Ca<sup>2+</sup>; o Hco<sub>3</sub> com o Mg<sup>2+</sup>; Hco<sub>3</sub> com o Ca<sup>2+</sup>; Hco<sub>3</sub> com o Cl<sup>-</sup>; a RAS com o Na<sup>+</sup>; e o Fe com o Mn. Já as menores correlações foram do Mn com o pH e do Fe com o K<sup>+</sup> ambas de -0,03 (Tabela 2).

**Tabela 2.** Matriz de correlação dos parâmetros qualitativos da água.

	pH	CE	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Hco <sub>3</sub>	RAS	Fe	Mn
pH	1,00										
CE	0,72	1,00									
K	0,61	<b>0,93*</b>	1,00								
Na <sup>+</sup>	0,14	0,58	0,39	1,00							
Ca <sup>2+</sup>	-0,83	-0,40	-0,47	0,39	1,00						
Mg <sup>2+</sup>	0,74	0,41	0,55	-0,43	<b>-0,98*</b>	1,00					
Cl <sup>-</sup>	0,15	0,40	0,09	0,56	0,31	-0,42	1,00				
Hco <sub>3</sub>	-0,50	-0,26	-0,49	0,27	0,76	-0,83	0,75	1,00			
RAS	-0,03	0,40	0,18	<b>0,97*</b>	0,56	-0,61	0,63	0,46	1,00		
Fe	-0,56	-0,19	-0,03	-0,36	0,31	-0,16	0,07	0,34	-0,31	1,00	
Mn	-0,03	-0,29	-0,55	0,38	0,34	-0,52	0,24	0,36	0,50	-0,71	1,00

De acordo com os resultados da análise de componentes principais, a soma dos 3 fatores explica 91,92% das variações dos dados originais de um total de 11 fatores baseados nas variâncias calculadas (Tabela 3).

**Tabela 3.** Cargas fatoriais e acumulo de variância referente a qualidade de água superficial do Rio Jaguaribe-CE.

Variáveis	Cargas Fatoriais		
	Fator 1	Fator 2	Fator 3
pH	<b>0,90</b>	0,11	-0,26
CE	<b>0,78</b>	0,60	0,16
K	<b>0,83</b>	0,38	0,34
NA	0,08	0,92	-0,25
CA	<b>-0,86</b>	0,43	0,05
MG	<b>0,87</b>	-0,47	0,11
CL	-0,13	0,81	0,06
Hco <sup>-3</sup>	<b>-0,75</b>	0,51	0,09
RAS	-0,14	0,92	-0,29
Fe	-0,36	-0,09	0,93
Mn	-0,37	0,23	-0,89
Autovalor	4,75	3,48	1,88
Variância Total %	43,14	31,66	17,12
Variância Acumulada %	43,14	74,80	91,92

Pela análise fatorial é observada as cargas fatoriais dos parâmetros hidroquímicos na tabela 3. O fator 1 explicou 43,14%, o fator 2 explicou 31,66% e o fator 3 explicou 17,12% da variância total acumulada. Os parâmetros que tiveram cargas fatoriais acima de 0,70 no fator um foram o pH, CE, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Hco<sub>3</sub>. No fator dois foram o Na<sup>+</sup>, a RAS, e o Cl<sup>-</sup> e no fator três o Fe e Mn indicaram uma carga superior a 0,70 entre os parâmetros estudados. Os parâmetros pH e Mg<sup>2+</sup>, tiveram a maior carga fatorial no fator um, diferenciando dos estudos de Ahmed (2021), que identificou o Cl<sup>-</sup> e o Na<sup>+</sup> como maior valor nesse mesmo fator, quando avaliou as águas utilizadas na irrigação no sudoeste de Bangladesh.

No primeiro fator, os parâmetros pH, CE, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Hco<sub>3</sub>, indicam a parte comum mais abrangente dos parâmetros observados. Estes parâmetros estão associados à qualidade da água influenciada por processos de mineralização (BRODNJAK-VONCINA et al., 2002; MEIRELES et al., 2007). No fator dois as maiores cargas fatoriais foram o Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> e a RAS. Esses parâmetros estão intimamente ligado a qualidade de água quanto a salinização. Na tabela dois mostra a alta correlação da RAS com o Na<sup>+</sup> e do Cl<sup>-</sup> com o Hco<sub>3</sub>, reforçando que esses parâmetros tem uma grande influência nos resultados da qualidade da água para fins de irrigação desse estudo. Resultados diferente foi encontrado por Hassen (2016), quando aplicou análise multivariada e investigações hidroquímicas isotópicas para avaliação da água de consumo e irrigação da região da Tunísia Central, obtendo a correlação entre Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> de 0,9 que indicou a maior influência química da qualidade da água estudada.

Para o cálculo do índice de qualidade de água para irrigação seguiu os critérios de

limites propostos na literatura, distribuindo-os e enquadrando-os dentro do intervalo adimensional onde atribui-se valores entre 0 e 100. Estes limites foram definidos com base nos padrões qualitativos para as águas de irrigação estabelecidos por Ayers e Westcot (1999), Nakayama e Bucks (1986). De acordo com esses autores, foi dividido em três classes as águas de irrigação. A melhor classe varia de 70 a 100, onde não tem restrição para o uso na irrigação. A segunda classe vai de 35 a 70, onde existe restrições moderada quanto ao uso por irrigantes. A pior classe vai de 0 a 35, onde as restrições são altas e não é recomendada para irrigação demonstrado na Tabela 4.

**Tabela 4.** Classes e indicações da qualidade da água para irrigação.

<b>Índice de qualidade de água para irrigação</b>	<b>Limitação</b>	<b>Indicações</b>
70 - 100	Boa qualidade e baixo risco para atividade	Pode-se utilizar a água em diferentes tipos de solo, clima e cultivos, salvo em determinados casos pontuais
35 - 70	Qualidade moderada com médio risco para atividade	A água pode ser utilizada, porém com determinados cuidados no manejo e tratamento da água quando necessário.
0 - 35	Baixa qualidade e alto risco para atividade	Nesta classe a água deve ser quase que exclusivamente tratada para adequabilidade ou ter seu uso restrito

Fonte: Zamberlan et al., (2013).

De acordo com os valores de  $q_i$  e  $w_i$  para os seis parâmetros que mais explicaram a variância, foram calculados os índices de qualidade de água para cada ponto e nas suas respectivas épocas coletadas. As Tabelas 5, 6 e 7 demonstra os resultados dos IQAI's para todas as épocas e pontos do presente estudo.

**Tabela 5.** Índice de Qualidade da água nos diferentes pontos na coleta 1.

<b>Parâmetros</b>	<b>pH</b>	<b>CE</b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>Hco<sub>3</sub></b>	<b>IQAI</b>
$w_i$	0,51	0,44	0,47	-0,49	0,49	-0,42	
PONTO 1	35,25	94,82	6,88	15,32	34,3	78,33	39,33
PONTO 2	84	95,09	6,88	21,15	33,95	75,83	62,33
$q_i$ PONTO 3	70	94,82	6,88	23,93	33,78	80,83	51,53
PONTO 4	64	92,64	6,63	22,99	33,78	80,83	47,85
PONTO 5	66	95,09	6,88	20,08	33,95	83,33	50,53

Observou-se que na tabela 5 os IQAI's para ambos os pontos ficaram na classificação de 35 a 70 segundo os limites da classificação de Ayers e Westcot (1999). O ponto 2 obteve

melhor classificação, enquanto o ponto 1 ficou quase no limite da classe inferior. O rio Jaguaribe é perenizado pelo Açude Castanhão, que nos últimos anos tem sofrido com a falta de chuvas. É bem provável que o acúmulo de sais nesse açude tem modificado a qualidade da água no Rio Jaguaribe. O bicarbonato nas amostras da coleta 1 ficou acima da faixa recomendada de 1,5 meq/L, sendo um dos maiores responsáveis pela baixa qualidade da água e implicando em um índice de menor qualidade. A alta concentração de Bicarbonato nas águas vão acumulando nos solos, podendo deixar os mesmos alcalinos (DEVI et al., 2021). Resultados semelhante de IQA, obteve Melo Junior (2003) quando estudou a qualidade das águas de um trecho do Rio Açú no Rio Grande do Norte.

Não houve nos pontos 3, 4 e 5 grande diferença quanto aos resultados dos IQAI's para a primeira coleta. Para essa primeira coleta, todos os pontos estudados poderiam ser usados para irrigação, contudo com algumas restrições principalmente para o ponto 1.

**Tabela 6.** Índice de Qualidade da água nos diferentes pontos na coleta 2.

	<b>Parâmetros</b>	<b>pH</b>	<b>CE</b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>Hco-3</b>	<b>IQAI</b>
	WI	0,51	0,44	0,47	-0,49	0,49	-0,42	
	PONTO 1	82,5	94,55	6,88	33,74	34,3	77,5	54,63
	PONTO 2	81	94,82	6,88	89,71	34,48	75	27,70
qi	PONTO 3	67	94,82	6,88	90,91	34,48	79,17	18,22
	PONTO 4	60,5	92,36	6,63	90,91	34,48	80	13,36
	PONTO 5	63,5	94,82	6,39	90,91	34,48	82,5	14,81

A segunda coleta teve uma variação bem maior se comparada com a primeira. Os pontos 2 a 5 ficaram na classe inferior da classificação da água para irrigação. Os parâmetros que mais influenciaram negativamente nos índices foram o Cálcio e o Bicarbonato. O Bicarbonato ficou acima do recomendado na literatura para a irrigação, porém o cálcio está dentro do limite do recomendado nas análises da segunda coleta. Provavelmente a baixa quantidade de chuvas no ano de 2020 e também o lançamento de algum efluente rico em sais no rio ou próximo ao rio tiveram contribuição na qualidade do IQAI para essa coleta. Zanini (2010), estudando as águas superficiais em São Paulo obteve índices médios superiores ao desse estudo. Já para Silva (2017), todos os índices deram bons quando foi estudado as águas superficiais do rio Trussu no Estado do Ceará.

**Tabela7.** Índice de Qualidade da água nos diferentes pontos na coleta 3.

	<b>Parâmetros</b>	<b>pH</b>	<b>CE</b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>Hco-3</b>	<b>IQAI</b>
	WI	0,51	0,44	0,47	-0,49	0,49	-0,42	
qi	PONTO 1	42,25	97,41	9,94	21,46	34,48	79,17	42,21
	PONTO 2	44,75	97,65	9,94	17,13	34,48	84,17	43,61



PONTO 3	40,5	97,41	9,94	18,58	34,48	88	39,02
PONTO 4	43	97,27	9,94	17,83	34,48	85	41,86
PONTO 5	59,75	97,3	9,94	18,2	34,3	85	50,15

Na Tabela 7 encontra-se os valores de  $q_i$ ,  $W_i$  e IQAI para a terceira coleta. Podemos observar que a coleta 3 obteve índices bem semelhante a primeira coleta. Segundo as análises o pH ficou dentro do recomendado na faixa de 6,5 a 8,4 para todos os pontos. A CE ficou abaixo de 0,7 ds/m em todos os trechos coletado segundo as diretrizes recomendado por Ayers & Westcot (1999). A RAS ficou abaixo de 2 em todas as análises feitas para essa coleta. O Cloreto ficou abaixo de 1,8meq/L em todos os lugares coletados, ficando dentro das recomendações da literatura para o uso na irrigação. Já o cálcio, magnésio e o potássio ficaram dentro das recomendações de Ayers & Westcot (1999), porém o bicarbonato está na faixa acima de 1,5 meq/L para todos os pontos de coleta e isso provavelmente foi o principal responsável pelo IQAI não ter uma melhor classificação. Resultados semelhantes, mas superiores na classificação obteve Zanini (2010) quando estudou as águas superficiais do estado de São Paulo, porém é bem provável que o rio sofreu influência externa para que a qualidade de suas águas fossem alterada principalmente nessa época da coleta. Para Suriadikusumah (2021), os corpos hídricos como rios podem sofrer alterações na qualidade de suas águas quando próximo ao seu leito tem atividades agrícolas e industriais que levam resíduos de suas atividades como pesticidas, metais pesados e outros tipos de materiais que altera sua composição inicial, tornando-se impróprias para a irrigação e para o consumo humano.

## CONCLUSÕES

O índice de qualidade de água para fins de irrigação do ponto 1, localizado no sítio Angicos foi de 62,33, sobressaindo todos os outros pontos e épocas de coletas no trecho perenizado do Rio Jaguaribe localizado no município de São João do Jaguaribe-CE. O pior índice de todos os pontos e épocas de coleta, foi o do ponto quatro localizado no sítio Lima, na segunda coleta do Rio Jaguaribe no município de São João do Jaguaribe-CE, com o valor de 13,36. Houve alteração espacial nos índices de qualidade de água para irrigação das coletas 1 para a coleta 2 e da 2 para a 3. Os resultados das coletas 1 e 3, foram bem semelhantes nos resultados, ficando classificados como boa para o uso na irrigação. Os resultados da coleta 2 foi a que teve os índices com valores mais baixos das épocas de coleta.

Os componentes que mais se destacaram do índice de qualidade de água por meio da análise de multivariada no fator 1 foram: pH, CE,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $HCO_3^-$ , sendo que os

indicadores de maior peso na análise foi o pH e o  $Mg^{2+}$  que obtiveram maiores cargas fatoriais.

## REFERÊNCIAS

AHMED, M. T. et al. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas e sua adequação aplicando as técnicas geoespaciais e IWQI para fins de irrigação na planície costeira do sudoeste de Bangladesh. **Jornal Árabe de Geociências**, v. 14, n. 4, p. 1-24, 2021.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

BAIRD, R. B.; EATON, A. D.; RICE, E. W. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23.ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2017. 1504p.

BONNET, B. R. P. et al. Relações entre qualidade da água e uso do solo em Goiás: uma análise à escala da bacia hidrográfica. **Revista Árvore**, v.32, n. 2, p. 311-322, 2008.

BRASIL. Agência Nacional das Águas- ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**: relatório pleno/Agência Nacional das Águas. Brasília: ANA, 2019. 118p.

BRODNJAK-VONCINA, D. et al. Chemometrics characterization of the quality of river water. **Analytica Chimica Acta**, v.462, p.87-100, 2002.

CEARÁ. Assembleia Legislativa. **Caderno regional da sub bacia do Médio Jaguaribe / Conselho de Altos Assuntos Estratégicos**. Fortaleza: INESP, 2009.p.102.

DEVI, K.S. et al. Avaliação dos índices de irrigação em águas superficiais e subterrâneas rasas na planície aluvial do Vale Barak, Assam, Nordeste da Índia. **Geological Journal**, p.1 – 14, 2021.

DIAS, N. S.; SILVA, M. R. F.; GHEYI, H. R. **Recursos hídricos: usos e manejos**. São Paulo:

Editora Livraria da Física, 2011. 152p.

FREIRE, F. G, C. et al. Indicadores de qualidade da água no Rio Jaguaribe em São João do Jaguaribe-CE, Brasil. **Revista Irriga**, v.18, n. 4, p. 700-707, 2013.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS – FUNCEME. **Calendário de Chuvas**. Disponível em: <http://www.funceme.br/app-calendario/anual/municipios/maxima/2020>. Acesso em: 07 de janeiro de 2022.

HASSEN, I. et al. Aplicação de análise estatística multivariada e investigações hidroquímicas e isotópicas para avaliação da qualidade da água subterrâneas e suas adequação para fins de consumo e agricultura: caso do aquífero Oum Ali-Thelepte, Tunísia Central. **Avaliação de Monitoramento Ambiental**, v. 188, n. 3, p. 1-20, 2016.

IMNEISI, I. et al. Using The Irrigation Water Quality Index to Evaluate of Some Water Resources in Al-Abyar-Ghut Al-Sultan Area NE Libya. **Scientific Journal of University of Benghazi**, v.34, n.1, p 234 – 239, 2021.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil municipal de São João do Jaguaribe-CE**. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/viewer.htm?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.ipece.ce.gov.br%2Fwp-content%2Fupload%2Fsites%2F45%2F2018%2F09%2FSao\\_Joao\\_Jaguaribe\\_2017.pdf&cflen=982478&chunk=true](chrome-extension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/viewer.htm?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.ipece.ce.gov.br%2Fwp-content%2Fupload%2Fsites%2F45%2F2018%2F09%2FSao_Joao_Jaguaribe_2017.pdf&cflen=982478&chunk=true). Acesso em 4 de janeiro de 2022.

MEIRELES A, C. M. et al. Uma nova proposta de classificação das águas de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.3, p. 349 – 357, 2010.

MEIRELES, A. C. M. **Dinâmica qualitativa das águas superficiais da bacia do Acaraú e uma proposta de classificação para fins de irrigação**. 2007. 180f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Ceará, 2007.

MELO JUNIOR, G. et al. Avaliação hidroquímica e da qualidade das águas de um trecho do rio Açu, Rio Grande do Norte. **Revista de Geologia**, v.16, n.2, p. 27-37, 2003.

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

SANTOS, S. et al. Urban growth and water access in sub-Saharan Africa: progress, challenges, and emerging research directions. **Science of the Total Environment**, v.607–608, p. 497–508, 2017.

SÃO PAULO. Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. **Índices de qualidade das águas**. São Paulo, SP. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 26 de out. 2021. SÃO PAULO.

SILVA, E. B. da. et al. Variabilidade Espaço-Temporal da qualidade da água no Vale do Rio Trussu, Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, n.3, p.1420-1429, 2017.

SURIADIKUSUMAH, A. et al. Analysis of the water quality at Cipeusing river, Indonesia using the pollution index method. **Acta Ecologica Sinica**, v. 41, n. 3, p. 177-182, 2021.

WANG, J. et al. Multivariate statistical evaluation of dissolved trace elements and a water quality assessment in the middle reaches of Huaihe River, Anhui, China. **Science of the Total Environment**, v.583, p.421–431, 2017.

ZAMBERLAN, J. F. et al. Índices de qualidade de água de irrigação via análise multivariada a Região Central do Rio Grande do Sul. **Revista Irriga**, v.18, n.3, p.376-386, 2013.

ZANINI, H. L. H. T. et al. Caracterização da água da microbacia do córrego Rico avaliada pelo

índice de qualidade de água e de estado trófico. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.4, p.732-741, 2010.

## APÊNDICE

**Culturas irrigadas com a água dos poços estudados em São João do Jaguaribe-CE:**



**Sorgo Forrageiro - Ponta Negra**



**Palma Forrageira - Orelha de Elefante**



**Cultura do Arroz**



**Capim - Pestejo rotacional**

**Culturas irrigadas com a água dos poços estudados em São João do Jaguaribe-CE:**



**Mandioca - Pretinha**



**Feijão Caupi - Pujante**



**Banana - Maça**



**Milho Híbrido - Br 206**

**Pontos de coleta no Rio Jaguaribe-CE:**



**Ponto 01 - Sítio Angicos**



**Ponto 02 - Sítio Mocós**



**Ponto 03 - Sede de São João do Jaguaribe**



**Ponto 04 - Sítio Lima**



**Ponto 05 - Peixe Gordo**