

Relative Water Quality Index of Desalination Plants for Human Consumption Using B-Spline Modeling Interpolation

Paulo R. M. Francisco*, José N. Silva**, George do N. Ribeiro***,
José H. S. de Sousa****, Raimundo C. M. Rodrigues*****

*Dr. em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, paulomegna@gmail.com

**Dr. Prof. Associado, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, nilton@eq.ufcg.edu.br

***Dr. Prof. Associado, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, george.nascimento@professor.ufcg.edu.br

****Mestrando em Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, hugosimplicio123@gmail.com

*****Dr. Prof. Associado, Universidade Estadual do Maranhão, UEMA, calixto@cca.uma.br

Received 19 September; accepted 25 October December.

A B S T R A C T

This study aimed to estimate, classify and map the quality of water from desalination plants for human consumption using a relative index. Physicochemical data obtained from SIAGAS[®], the Freshwater Program and several studies were used. The parameters Total Hardness, Sodium, Total Iron, Sulfate, Chloride, Nitrate, Nitrite and Total Dissolved Solids from 3872 georeferenced samples were used to estimate the index. Using QGIS[®], they were geospatialized using B-Spline Multilevel interpolation through the SAGA[®] plugin. The Index classification was inferred by a simplified parametric model using the QGIS[®] raster calculator. In the simplified classification of water for human consumption, the Total Dissolved Solids of the samples were calculated using the modified Electrical Conductivity of the water and then mapped. The results demonstrated that the application of b-spline modeling provided effective results in mapping the collected data, quickly achieving accurate results regarding the quality of water from desalination plants. The simplified parametric model used to generate the relative index of water quality from desalination plants for human consumption presented satisfactory results, demonstrating that 87.75% presented Reasonable to Excellent quality. In the simplified classification of water for human consumption from desalination plants, only 15% presented Brackish Water. The normality tests of the variables demonstrated that the data are normally distributed. The correlation between the relative index of water quality from desalination plants and the simplified classification of water was positive and strong. A greater amount of data from desalination plants could improve the mapping of its distribution.

Keywords: Maximum allowable value, water parameters, simplified parametric model.

Índice Relativo de Qualidade de Água de Dessalinizadores para Consumo Humano Utilizando Interpolação por Modelagem B-Spline

R E S U M O

Este trabalho objetivou estimar, classificar e mapear a qualidade de água de dessalinizadores para consumo humano utilizando índice relativo. Foram utilizados dados físico-químicos obtidos no SIAGAS[®], no Programa Água Doce e de diversas pesquisas. Na estimativa do índice foram utilizados os parâmetros Dureza Total, Sódio, Ferro Total, Sulfato, Cloreto, Nitrato, Nitrito, e Sólidos Totais Dissolvidos provenientes de 3.872 amostras georreferenciadas. Utilizando o QGIS[®] foram geoespacializados utilizando a interpolação B-Spline Multinível através do plugin SAGA[®]. A classificação do Índice foi inferida por modelo paramétrico simplificado utilizando a calculadora raster do QGIS[®]. Na classificação simplificada da água para o consumo humano foi calculado os Sólidos Totais Dissolvidos das amostras utilizando a Condutividade Elétrica da água modificada e após mapeado. Os resultados demonstraram que a aplicação da modelagem b-spline proporcionou resultados eficazes no mapeamento dos dados coletados, alcançando rapidamente resultados precisos quanto a qualidade da água de dessalinizadores. O modelo paramétrico simplificado utilizado para geração do índice relativo da qualidade de água provida de dessalinizadores para o consumo humano apresentou resultados satisfatório demonstrando que 87,75% apresentou qualidade Razoável a Excelente. Na classificação simplificada da água para consumo humano provida de dessalinizador somente 15% apresentou Água Salobra. Os testes de normalidade das variáveis demonstraram que os dados são normalmente distribuídos. A correlação entre o índice relativo de qualidade de água de dessalinizadores e a classificação simplificada da água apresentou-se positiva e forte. Maior quantidade de dados provindo de dessalinizadores poderia melhorar o mapeamento de sua distribuição.

Palavras-Chave: Valor máximo permitido, parâmetros da água, modelo paramétrico simplificado.

1 Introdução

A água para consumo humano é uma das grandes limitações para permanência das pessoas na zona rural do semiárido brasileiro. Atualmente a região possui um elevado número de poços tubulares, cuja execução é resultado, em sua grande maioria, de programas públicos de acesso a água. As águas desses poços frequentemente apresentam-se salobras ou salinas, resultado de sua localização no embasamento cristalino, cujas águas têm sua composição de sais alterada pela intemperização das rochas (Saia et al., 2015).

Uma alternativa para viabilização do uso dessas águas para o consumo humano é a dessalinização por osmose reversa, que se encontra em expansão na região. Por sua comprovada eficiência quanto à relação custo/quantidade de água dessalinizada, a osmose reversa se destaca entre os outros processos de dessalinização e já vem sendo utilizada em várias comunidades no Nordeste do Brasil (Saia et al., 2015).

Os Índices de Qualidade de Água (IQA) vêm sendo desenvolvidos e aplicados no monitoramento da qualidade das águas, nas últimas décadas em diferentes partes do mundo. O índice é uma ferramenta matemática empregada para transformar vários parâmetros em uma única grandeza, que represente o nível de qualidade de água. O uso de um IQA é prático e é uma diretriz de condução, pois qualquer programa de acompanhamento de qualidade da água gera um grande número de dados analíticos que precisam ser apresentados em um formato sintético, para que descrevam e representem de forma compreensível e significativa o estado atual e as tendências da qualidade da água (Sánchez et al., 2007; CCME, 2001; Ferreira & Ide, 2001). Simões et al. (2007) ressaltam que, há no mínimo 50 parâmetros que caracterizam a qualidade das águas, porém a quantificação destes representa um alto investimento para as agências de controle ambiental.

Diversos índices vêm sendo desenvolvidos em distintas regiões do planeta como por Horton (1965), Brown et al. (1970), Prati et al. (1971), Landwehr e Deininger (1976), Bascarán (1979), Smith (1987), Bernardes et al. (1999), Facincani et al. (1999), Deshpande e Raje (2003), Cadilhac e Albinet (2003), Stigter et al. (2006), Fernandes (2005), Almeida e Oliveira (2008), Menezes (2009), e adaptados e aplicados por Rizzi (2001), Sena et al. (2005), Molina et al. (2006), Zuffo e Genovez (2006), Oliveira et al. (2007), Sousa et al. (2007), Cristo et al. (2009), Khan et al. (2010),

Lumb et al. (2010), Coutinho et al. (2013), Athayde et al. (2044) e Sousa (2021).

Atualmente, Fernandes e Loureiro (2006), propuseram o Índice Relativo de Qualidade (IRQ) visando caracterizar e hierarquizar o potencial qualitativo das águas subterrâneas destinadas ao consumo humano considerando alguns parâmetros hidroquímicos sensíveis às interferências antrópicas. Esse índice permite ainda a utilização de outros parâmetros, desde que sejam conhecidos seus respectivos valores de padrão estabelecidos por normas ou portarias para o sistema hidrogeológico avaliado. Conforme Gibrilla et al. (2011), os índices podem se tornarem particularmente interessantes, quando incorporam em seu cálculo os valores previstos em legislações vigentes.

Oliveira et al. (2007) citam que, o mapeamento da qualidade das águas subterrâneas, através da utilização de índices, representa uma excelente possibilidade de sintetizar tais informações. Em geral, um índice de qualidade de água é um número adimensional obtido da agregação de dados físicos, químicos e bacteriológicos por meio de metodologias específicas. O interesse do Brasil por tais índices vem crescendo, desde que o Conselho Nacional de Meio Ambiente, em seu relatório anual de 1982, sugeriu a utilização destes, para ajudar na gestão dos recursos naturais (CPRH, 2006).

No entanto, o estudo espacial é uma poderosa ferramenta que tem contribuído cada vez mais para as pesquisas. Uma de suas aplicações é a elaboração de mapas temáticos que permitam analisar a variável em estudo e o seu comportamento no espaço. Esse artifício é cada vez mais utilizado para definir zoneamentos e, assim, identificar subáreas para traçar estratégias de manejo inovador dos recursos naturais (Ferreira et al., 2015), servindo de instrumento eficiente para todas as áreas do conhecimento que fazem uso de mapas, possibilitando integrar em uma única base de dados, informação representando vários aspectos do estudo de uma região (Rosa & Brito 1996; Lopes et al., 2008). De acordo com Lopes et al. (2008), o uso do Sistema de Informação Geográfica objetiva servir de instrumento eficiente para todas as áreas do conhecimento possibilitando integrar em uma única base de dados, informação representando vários aspectos do estudo de uma região. Dentre os procedimentos geoestatísticos se destaca como a técnica do algoritmo B-Spline multinível para interpolação espacial de dados dispersos (Lee et al., 1997).

Portanto, este trabalho objetiva estimar, classificar e mapear a qualidade de água de

dessalinizadores para consumo humano utilizando índice relativo.

2 Material e métodos

A área de estudo compreende a região Nordeste e os Estados de Minas Gerais, Maranhão e Amapá com diversidade de ambientes, biomas, vegetação, elevação, solos, tipos de clima (Figura 1a) e precipitação pluviométrica (Figura 1b). Os ambientes tropicais caracterizam-se pela elevada incidência de radiação solar, insolação e temperatura. Quanto mais próximo do Equador, mais crítica é a incidência, como é o caso das regiões Norte, Nordeste e Centro-oeste do Brasil (Bayer, 2004; Bley Jr., 1999).

De acordo com Alvares et al. (2013), na área de estudo, o clima é formado pelos tipos Af, Aw, As, BSh, Cwa e Cwb. Quanto a precipitação, a América do Sul, como tem grande parte do seu território em área tropical, recebe anualmente volumes elevados de precipitação. Além disso, há grande variabilidade temporal e espacial da precipitação (Reboita et al., 2010; Monteiro et al., 2021; Reboita & Ambrizzi, 2022).

Quanto a caracterização geológica (Figura 1c), a margem continental brasileira está dividida em três províncias fisiográficas distintas, a

Plataforma continental Amazonas-Maranhão, incluindo a Cone Amazônico; a plataforma continental da costa norte-nordeste, abrangendo Barreirinhas, Ceará, Potiguar, Recife-João Pessoa, Sergipe-Alagoas, ao Sul bacias da Bahia e Jequitinhonha; leste-sudeste plataforma continental costeira, na qual se situam as zonas costeiras e bacias marítimas de Cumuruxatiba, Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas. A seção estratigráfica brasileira conta com oito unidades principais, o Escudo Brasileiro Pré-cambriana, composto por rochas metamórficas dobradas e ígneas intrusivos; e cobertura de plataforma metassedimentar do Pré-cambriano ao Cambro-Ordoviciano, e seis sequências litoestratigráficas: duas paleozóicas, duas mesozóicas e duas cenozóicas em idade, delimitadas por discordâncias inter-regionais (Campos et al., 1974).

O território do Brasil coincide quase inteiramente com a Plataforma Sul-Americana, o núcleo cristalino do continente. Seu embasamento é composto por antigas rochas metamórficas e ígneas e não sofreu nenhuma regeneração tectônica desde o início do Fanerozóico. Rochas sedimentares com estratificação quase horizontal cobrem este embasamento cristalino (Almeida et al., 1981).

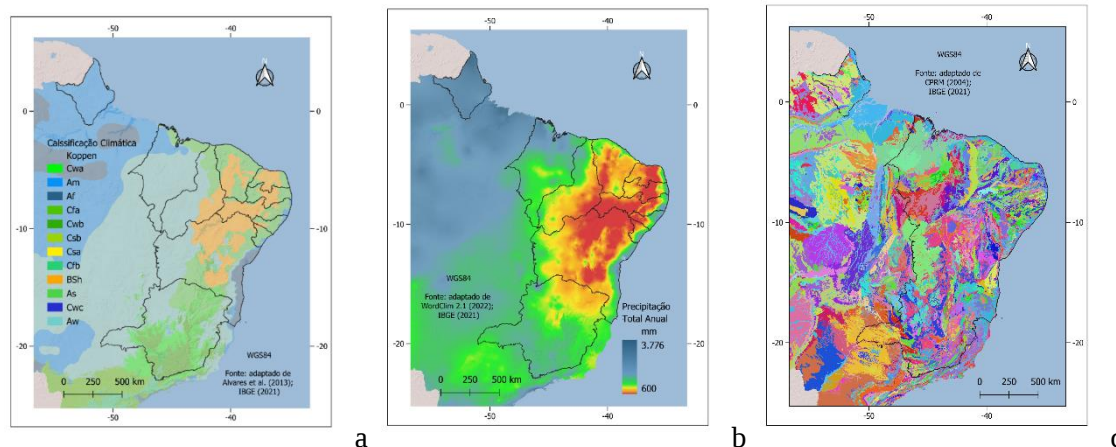


Figura 1. Classificação climática de Köppen (a); Precipitação total (b); Geologia (c).

Fonte: adaptado de Alvares et al. (2013); WorldClim[®] 2.1 (2022); CPRM (2004); IBGE (2021).

Na metodologia deste trabalho foram utilizados dados físico-químicos de parâmetros de água proveniente de dessalinizadores instalados em poços subterrâneos obtidos no SIAGAS[®] (SGB, 2024), no Programa Água Doce (MDR, 2024) e em diversas pesquisas de 3.872 pontos georreferenciados, em que através de planilha eletrônica do Excel[®] foram calculadas o Índice Relativo de Qualidade parcial (IRQDp) para cada parâmetro utilizado (Equação 1), de acordo com o

estabelecido pelo padrão de potabilidade das águas (BRASIL, 2021) (Tabela 1).

$$IRQDp = (Vi/VMP) \text{ (Eq.1)}$$

Em que: IRQDp = Índice Relativo de Qualidade parcial para cada parâmetro; Vi = parâmetro (Dureza Total (CaCO₃), Sódio (Na⁺), Ferro Total (Fe), Sulfato (SO₄-), Cloreto (Cl-), Nitrato (NO₃-), Nitrito (NO₂-), Sólidos Totais Dissolvidos (STD)); VMP = valor máximo permitido para cada parâmetro.

Tabela 1. Valor máximo permitido dos parâmetros da água para consumo humano

Parâmetros (mg/L)	Valor Máximo Permitido (VMP)
Dureza Total (CaCO ₃)	500
Sódio (Na ⁺)	200
Ferro Total (Fe)	0,3
Sulfato (SO ₄ -)	250
Cloreto (Cl-)	250
Nitrato (NO ₃ -)	10
Nitrito (NO ₂ -)	1
Sólidos Totais Dissolvidos (STD) a 180°C	1.000

Fonte: Portaria GM/MS N° 888 (BRASIL, 2021).

Utilizando-se o software QGIS® 3.38 e a interpolação por Modelagem B-Spline (MBS) através do plugin SAGA® os dados dos IQRDp's obtidos foram geoespacializados e recortados conforme os limites da área de estudo (IBGE, 2021).

A classificação do Índice Relativo de Qualidade foi inferida por modelo paramétrico simplificado utilizando linguagem algébrica através da calculadora *raster* do QGIS® (Equação 2).

$$IRQD = (SA/NA) \text{ (Eq.2)}$$

Onde: IRQD = Índice Relativo de Qualidade Água de Dessalinizador; SA = somatório dos atributos: Dureza Total (CaCO₃), Sódio (Na⁺), Ferro Total (Fe), Sulfato (SO₄-), Cloreto (Cl-), Nitrato (NO₃-), Nitrito (NO₂-), Sólidos Totais Dissolvidos (STD); NA = número de atributos.

Este modelo adaptado de Fernandes e Loureiro (2006), considera que variáveis/atributos da água proveniente de dessalinizador têm como valores de 0 a 1,2 onde a resultante classe 1 indica qualidade excelente - Classe Muito Alta (0 - 0,3), classe 2 indica qualidade Boa - Classe Alta (0,3 - 0,6), classe 3 infere classe Média (0,6 - 0,9) de água de qualidade Razoável, classe 4 infere Classe Baixa (0,9 - 1,2) de qualidade Ruim para consumo, e a classe 5 denota Muito Baixa (>1,2), classificada como de Péssima qualidade para consumo humano.

Tabela 2. Índice relativo de qualidade de água para consumo humano

Varição	Qualidade	Classe
0,0 - 0,3	Excelente	Muito Alta (1)
0,3 - 0,6	Boa	Alta (2)
0,6 - 0,9	Razoável	Média (3)
0,9 - 1,2	Ruim	Baixa (4)
> 1,2	Péssima	Muito Baixa (5)

Fonte: adaptado de Fernandes e Loureiro (2006).

Utilizando os dados das amostras e a planilha eletrônica do Excel® foi realizado o cálculo para a Classificação Simplificada da Água para o Consumo Humano (CSACH), em que foi adotado a Resolução CONAMA N° 20 (Tabela 3) para calcular os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) das amostras utilizando o CE da água modificada (Equação 3) (Fernandes & Loureiro, 2006).

De acordo com Hem (1970), os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) corresponde ao peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume. Onde, à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados à água, a condutividade elétrica aumenta. Portanto, existe uma relação de proporcionalidade entre a condutividade elétrica, CE, e os sólidos totais dissolvidos, STD. Esta relação é expressa pela Equação 3.

$$STD = \beta \times CE \text{ (Eq.3)}$$

Onde: STD = Concentração de Sólidos Totais Dissolvidos na água (mg/L); CE = condutividade elétrica da água em µS/cm; β= fator empírico de correlação igual a 0,65.

Tabela 3. Classificação simplificada da água para consumo humano

Classe de Água	Salinidade (‰)	STD (mg/L)	CE (µS/cm) para β=0,65
Doce	0 - 0,5	0 - 500	0 - 750
Salobra	0,5 - 30	500 - 30.000	750 - 45.000
Salina	> 30	>30.000	> 45.000

Fonte: Fernandes e Loureiro (2006).

Utilizando o QGIS® 3.38 e plugin SAGA® 9.3.1 foi realizada a interpolação pelo algoritmo B-Spline Multinível dos dados dispersos (LEE et al., 1997) da classificação simplificada das águas para consumo humano, e recortados conforme os limites da área de estudo (IBGE, 2021). Para os cálculos de áreas foi utilizada o plugin GRASS® 8.3.2. *r.report*.

No tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados e o teste de normalidade utilizando o software RStudio® v.2024. Para verificar se as amostras procediam de uma determinada distribuição de probabilidade, foram usados os testes de hipóteses não paramétricos Shapiro-Wilk (1965), Anderson-Darling (1954), Lilliefors (1967) e Jarque-Bera (1987). Na elaboração de correlação paramétrica foi utilizado a metodologia de correlação de Pearson (1895) (PCC).

3 Resultados e discussão

Na Figura 2, pode-se observar a distribuição espacial das amostras em que sua maioria se encontra na região semiárida com menor precipitação, demonstrando sua real importância para a região. As maiores concentrações ocorrem nos Estados de Pernambuco, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Bahia e Alagoas, respectivamente.

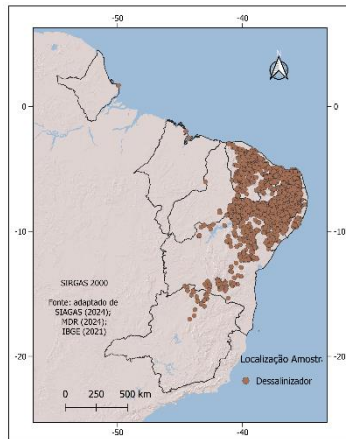


Figura 2. Distribuição espacial das amostras de dados de dessalinizadores. Fonte: adaptado de SIAGAS (2024); MDR (2024); IBGE (2021).

Pela Figura 3 pode-se observar o resultado do mapeamento e a distribuição das variáveis em estudo, quanto as variáveis químicas das águas produzidas por dessalinizadores, e na Tabela 5 sua equivalência em área e porcentagem.

Quanto a Dureza Total (CaCO_3) (Figura 3a), verifica-se que apresenta 95,17% da área (Tabela 5) acima do Valor Máximo Permitido (VMP) recomendado para o consumo humano, com exceção de áreas localizadas nos Estados de

Alagoas e Paraíba e pequenas áreas na Bahia e Ceará (4,83%). No mapeamento do Sódio (Na^+) (Figura 3b) observa-se que 49,18% da área encontra-se até o VMP e 50,82% acima do valor, distribuída por toda a área de estudo com ênfase na região norte da Bahia. A variável Ferro Total (Fe) (Figura 3c), pode-se observar que 92,46% da área de estudo apresenta-se abaixo do VMP, com destaque aos maiores valores no interior do Estado da Bahia.

A variável Sulfato (SO_4) (Figura 3d) apresenta 63,61% de sua área até o VMP e acima do valor em 36,39% com destaque no interior de Sergipe e na divisa com Pernambuco, e no sul da Bahia divisa com Minas Gerais. Quanto a variável Cloreto (Cl^-) (Figura 3e), observa-se que 95,51% apresenta-se acima do VMP distribuído por toda a área e somente 4,49% abaixo do VMP localizado em pequenas áreas nos Estados da Bahia, Alagoas, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. A variável Nitrato (NO_3^-) (Figura 3f), apresenta 67,75% acima do VMP com destaque entre as divisas de Pernambuco e Paraíba, e até o VMP distribuído em 32,25% da área apresentando valores mais baixos em pequenas áreas no interior da Bahia, Sergipe, Alagoas, Paraíba e Ceará.

Quanto ao Nitrito (NO_2^-) (Figura 3g), verifica-se que 95,56% do total encontra-se até o VMP e somente 4,44% acima do limite localizado em pequena área na região central da Bahia e na divisa com Sergipe. Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) (Figura 3h) apresenta-se acima do VMP em 86,10% da área de estudo e em 13,90% abaixo do VMP localizado em Minas Gerais, em pequenas áreas na região central da Bahia, na região litorânea de Alagoas, Pernambuco, Paraíba até Rio Grande do Norte.

Tabela 5. Distribuição espacial dos parâmetros

Parâmetros	Valor Máximo Permitido (mg/L)	Área (km^2) até Limite	(%)	Área (km^2) acima Limite	(%)
Dureza Total (CaCO_3)	500	110.138	4,83	2.171.022	95,17
Sódio (Na^+)	200	1.121.886	49,18	1.159.274	50,82
Ferro Total (Fe)	0,3	2.109.100	92,46	172.060	7,54
Sulfato (SO_4)	250	1.451.095	63,61	830.065	36,39
Cloreto (Cl^-)	250	102.412	4,49	2.178.748	95,51
Nitrato (NO_3^-)	10	735.601	32,25	1.545.559	67,75
Nitrito (NO_2^-)	1	2.179.796	95,56	101.304	4,44
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	1.000	317.129	13,90	1.964.031	86,10

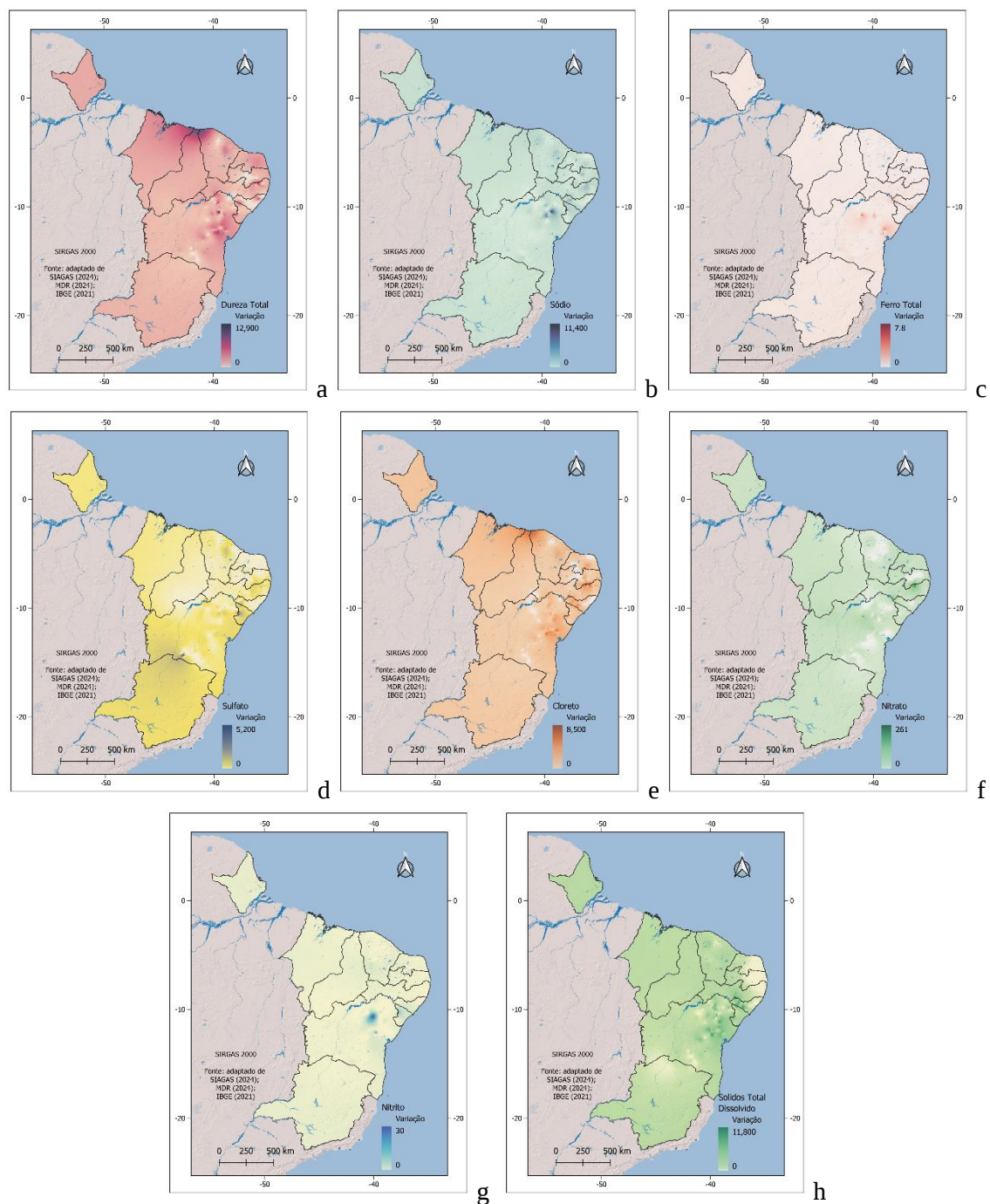


Figura 3. (a) Dureza Total (CaCO_3), (b) Sódio (Na^+), (c) Ferro Total (Fe), (d) Sulfato (SO_4^-), (e) Cloreto (Cl^-), (f) Nitrato (NO_3^-), (g) Nitrito (NO_2^-), (h) Sólidos Totais Dissolvidos (STD). Fonte: adaptado de SIAGAS (2024); MDR (2024); IBGE (2021).

Na Figura 4a observa-se o mapeamento da Classificação simplificada da água para consumo humano, em que, se pode verificar a distribuição espacial, onde 84,27% (Tabela 6) classifica-se como Água Doce (0 – 750) ($\text{CE } \mu\text{S/cm}$) espacializada por toda área de estudo, e 15,73%

como Água Salobra (750 - 45.000) localizada na região central da Bahia, no Sertão de Sergipe, no Agreste do Estado da Paraíba e próximo a região litorânea do Rio Grande do Norte e em pequenas áreas próximo ao litoral do Ceará.

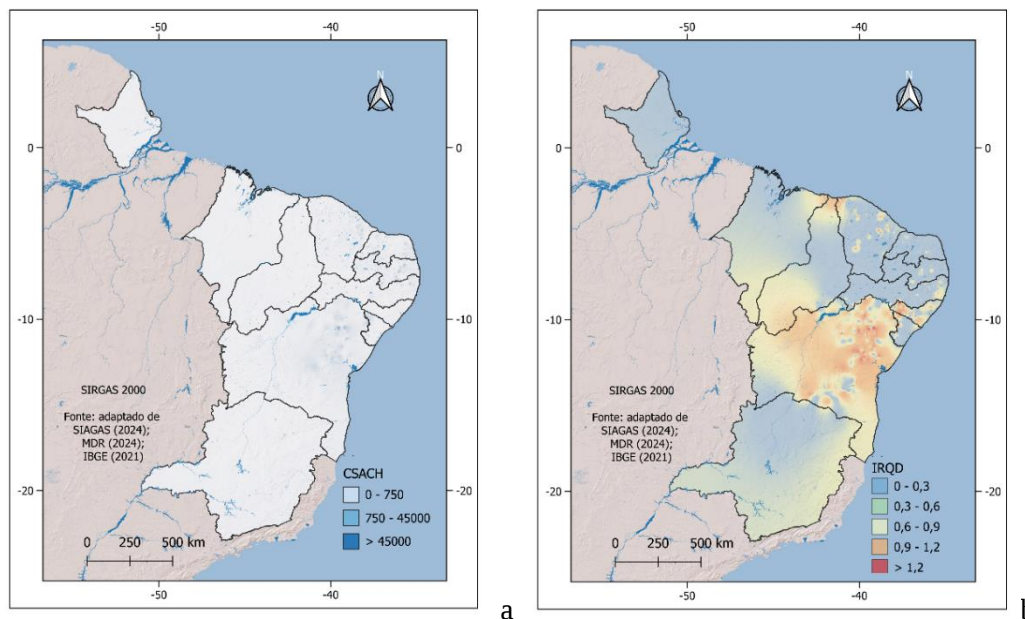


Figura 4. (a) Classificação simplificada da água para consumo humano, (b) Índice relativo de qualidade de água de dessalinizadores para consumo humano. Fonte: adaptado de SIAGAS (2024); MDR (2024); IBGE (2021).

Tabela 6. Distribuição espacial da classificação simplificada da água para consumo humano

Classe Água	CE (µS/cm)	Área (km ²)	(%)
Doce	0 - 750	1.922.285	84,27
Salobra	750 - 45.000	358.875	15,73
Salina	> 45.000	0	0
Total		2.281.160	100

Quanto ao índice relativo de qualidade de água de dessalinizadores para consumo humano (Figura 4b) sua distribuição espacial (Tabela 7) na classe Muito Alta (0-0,3) ocorre em 69,69% da área de estudo representando água de excelente qualidade para o consumo. A classe Alta (0,3-0,6) ocorre em 11,31% da área representando boa qualidade. As classes Média (0,6-0,9) e Baixa (0,9-1,2) totalizam 13,27% da área de estudo representando de razoável a ruim para o consumo. Já a classe Muito Baixa (>1,2), de péssima qualidade para o consumo, representa somente 5,73% da área total, estas distribuídas na região central do Estado da Bahia, no sertão em Sergipe e Alagoas, e em diversas pequenas áreas com destaque ao litoral do Ceará divisa com Piauí.

Tabela 7. Distribuição espacial do índice relativo de qualidade de água de dessalinizadores para consumo humano

Classe	Qualidade	Varição	Área (km ²)	(%)
Muito Alta	Excelente	0,0 - 0,3	1.589.796	69,69
Alta	Boa	0,3 - 0,6	257.901	11,31
Média	Razoável	0,6 - 0,9	154.056	6,75
Baixa	Ruim	0,9 - 1,2	148.646	6,52
Muito Baixa	Péssima	> 1,2	130.761	5,73
Total			2.281.160	100

Em relação a classe Muito Baixa identificada no Estado da Bahia, está relacionada conforme Guerra e Negrão (1996), em águas provenientes de aquíferos da província litológica de domínio do Embasamento Cristalino que apresenta maior salinidade das águas. Montenegro et al. (2000) afirmam que, as águas do cristalino são, via regra, salinas, requerendo tratamento antes de sua utilização em abastecimento humano, dessedentação animal, e irrigação. Oliveira et al. (2007) mapeamento dos aquíferos do estado da Bahia utilizando o índice de qualidade natural das águas subterrâneas obtiveram resultados similares a este trabalho para o Estado.

Quanto as áreas desta classe no Estado de Sergipe, Montenegro et al. (2000), observaram que as águas subterrâneas da região do Xingó, identificada neste trabalho, apresentam em geral, elevados teores de sais dissolvidos e caracterizam-se como águas salobras de baixa ou nenhuma potencialidade para usos convencionais diretos. Resultado similar a este trabalho.

Trabalhos realizados em diversos locais dos Estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte elaborados por Silva et al. (2014), Oliveira et al. (2017), Silva et al. (2019), e Amaral e Navoni (2023) estão de acordo com os resultados obtidos por este trabalho quanto a qualidade da água proveniente de dessalinizadores.

Na Tabela 8, dos dados estatísticos, pode-se observar que a maior média e mediana em mg/L ocorre no Cloreto, o valor máximo na variável Sódio e o maior desvio padrão no Cloreto. A maior

curtose ocorre na variável Nitrito. Quanto aos dados adimensionais da classificação simplificada da água apresenta média de 2.047,06 e do índice

relativo com mediana em 0,96 e desvio padrão de 1,84.

Tabela 8. Dados estatísticos das variáveis

Atributo/Variável	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desv. Pad.	Curtose	1st Quart	3rd Quart
Dureza Total (CaCO ₃)	2,17	0,44	0	24,70	3,80	10,46	0,00	2,64
Sódio (Na ⁺)	1,79	0,50	0	58,09	5,26	63,24	0,00	1,36
Ferro Total (Fe)	0,00	0,44	0	25,00	1,65	131,11	0,00	0,33
Sulfato (SO ₄ -)	0,49	0,20	0	24,48	1,53	150,16	0,00	0,48
Cloreto (Cl-)	4,31	1,51	0	35,00	6,27	3,79	0,08	5,90
Nitrato (NO ₃ -)	0,95	0,01	0	27,00	2,54	55,06	0,00	1,07
Nitrito (NO ₂ -)	0,26	0,00	0	30,21	2,15	169,17	0,00	0,20
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	2,19	1,20	0	12,34	2,79	1,61	0,20	3,16
CSACH	2.047,06	1.087,13	0	30.468,7	3.172,0	21,98	9,76	2.739,7
IRQD	1,57	0,96	0	9,46	1,84	3,38	0,20	2,15

Pela Tabela 9 pode-se verificar que os resultados dos testes de normalidade de Shapiro-Wilk, Anderson-Darling, Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) e Jarque-Bera apresentam-se semelhantes entre si para todas as variáveis com p-

valor <2,2e⁻¹⁶, o que leva a aceitar a hipótese de normalidade nos dados.

Nas caixas qqplots dos quantis das variáveis utilizados neste trabalho (Figura 6a a 6h) e do CSACH e do IRQD (Figura 7a e 7b) observa-se a regularidade dos dados.

Tabela 9. Testes de normalidade

Variável\Teste	Shapiro-Wilk		Anderson-Darling		Lilliefors		Jarque-Bera	
	W	p-valor	A	p-valor	D	p-valor	X ²	p-valor
Dureza Total (CaCO ₃)	0,61661	<2,2e ⁻¹⁶	51,502	<2,2e ⁻¹⁶	0,28413	<2,2e ⁻¹⁶	2.548	<2,2e ⁻¹⁶
Sódio (Na ⁺)	0,34854	<2,2e ⁻¹⁶	83,080	<2,2e ⁻¹⁶	0,36665	<2,2e ⁻¹⁶	74.029	<2,2e ⁻¹⁶
Ferro Total (Fe)	0,24456	<2,2e ⁻¹⁶	94,451	<2,2e ⁻¹⁶	0,39301	<2,2e ⁻¹⁶	310.528	<2,2e ⁻¹⁶
Sulfato (SO ₄ -)	0,30333	<2,2e ⁻¹⁶	79,541	<2,2e ⁻¹⁶	0,37342	<2,2e ⁻¹⁶	405.360	<2,2e ⁻¹⁶
Cloreto (Cl-)	0,72269	<2,2e ⁻¹⁶	40,434	<2,2e ⁻¹⁶	0,24588	<2,2e ⁻¹⁶	524	<2,2e ⁻¹⁶
Nitrato (NO ₃ -)	0,39005	<2,2e ⁻¹⁶	75,104	<2,2e ⁻¹⁶	0,35424	<2,2e ⁻¹⁶	56.432	<2,2e ⁻¹⁶
Nitrito (NO ₂ -)	0,09065	<2,2e ⁻¹⁶	140,850	<2,2e ⁻¹⁶	0,45234	<2,2e ⁻¹⁶	515.967	<2,2e ⁻¹⁶
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	0,78249	<2,2e ⁻¹⁶	30,917	<2,2e ⁻¹⁶	0,21595	<2,2e ⁻¹⁶	209	<2,2e ⁻¹⁶
CSACH	0,64405	<2,2e ⁻¹⁶	26,108	<2,2e ⁻¹⁶	0,19598	<2,2e ⁻¹⁶	9.487	<2,2e ⁻¹⁶
IRQD	0,79084	<2,2e ⁻¹⁶	36,735	<2,2e ⁻¹⁶	0,25935	<2,2e ⁻¹⁶	430	<2,2e ⁻¹⁶

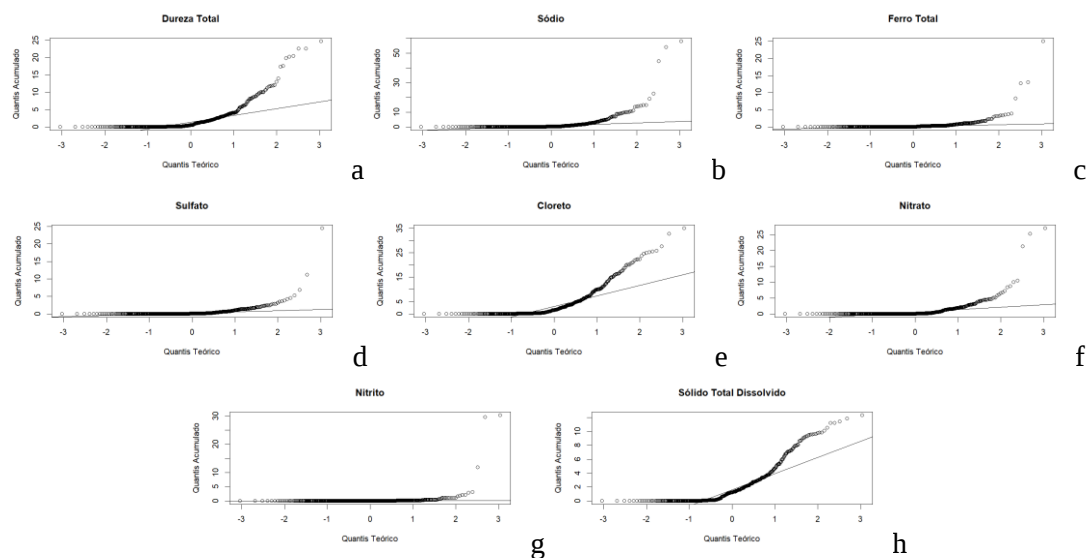


Figura 6. Quantis das variáveis (a) Dureza Total (CaCO₃), (b) Sódio (Na⁺), (c) Ferro Total (Fe), (d) Sulfato (SO₄-), (e) Cloreto (Cl-), (f) Nitrato (NO₃-), (g) Nitrito (NO₂-), (h) Sólidos Totais Dissolvidos (STD).

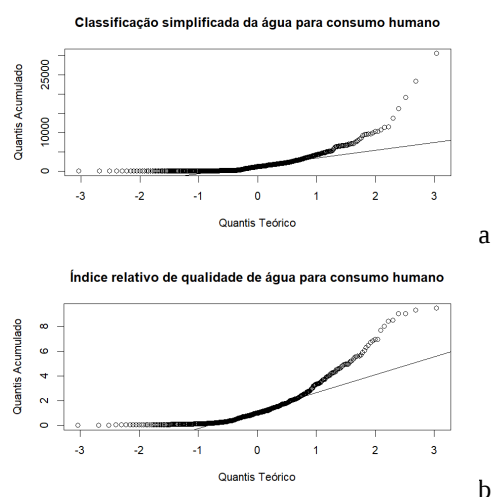


Figura 7. Quantis da (a) Classificação simplificada da água para consumo humano (CSACH), (b) Índice relativo de qualidade de água de dessalinizadores para consumo humano (IRQD).

Observa-se na Figura 8 que, a correlação de Pearson positiva entre o CSACH e o IRQD apresenta um coeficiente linear de $R=0,56$ com $p\text{-valor} < 2,2e^{-16}$, estando de acordo com os demais testes realizados anteriormente. De acordo com Cohen (1992) uma correlação que apresenta $r = |\pm 0,50|$, portanto se considera uma correlação forte.

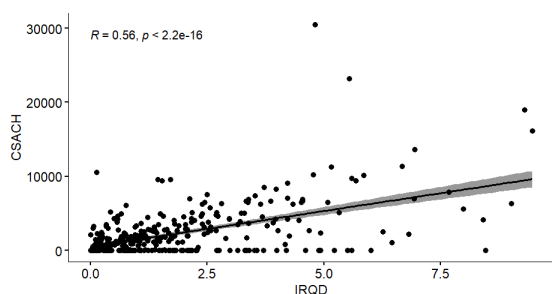


Figura 8. Correlação entre a CSACH e o IRQD.

4 Conclusão

A aplicação da modelagem B-spline proporcionou resultados eficazes no mapeamento dos dados coletados, alcançando rapidamente resultados precisos quanto a qualidade da água de dessalinizadores.

O modelo paramétrico simplificado utilizado para geração do índice relativo da qualidade de água provida de dessalinizadores para o consumo humano apresentou resultados satisfatório demonstrando que 87,75% apresentaram qualidade Razoável a Excelente.

Na classificação simplificada da água para consumo humano provida de dessalinizador somente 15% apresentou Água Salobra.

Os testes de normalidade das variáveis demonstraram que os dados são normalmente distribuídos.

A correlação entre o índice relativo de qualidade de água de dessalinizadores e a classificação simplificada da água apresentou-se positiva e forte.

Maior quantidade de dados provindo de dessalinizadores poderia melhorar o mapeamento de sua distribuição.

Referências

- Almeida, F.F.M. de; Hasui, Y.; Neves, B.B. de B.; Fuck, R.A. 1981. Brazilian structural provinces: An introduction. *Earth-Science Reviews* 17(1-2) 1-29.
- Almeida, R.A.S.; Oliveira, I.B. 2008. Aplicação do Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS) destinado ao uso para consumo humano. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15, 2008, Natal. *Anais...Natal*
- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22(6) 711-728.
- Amaral, K.D.S.; Navoni, J.A. 2023. Desalination in rural communities of the Brazilian semi-arid region: Potential use of brackish concentrate in local productive activities. *Process Safety and Environmental Protection* 169 61-70.
- Anderson, T.W.; Darling, D.A. 1954. A test of goodness of fit. *Journal of American Statistical Association* 49 765-769.
- Athayde, C.M.; Athayde, G.B.; Licht, O.A.B.; Rosa Filho, E.F. da. 2014. Índice relativo de risco, ferramenta de tomada de decisão em bacias hidrográficas destinadas ao abastecimento público. *Boletim Paranaense de Geociências* 71(1) 21-36.
- Basaran, G.M. 1979. Establecimiento de una metodologia para conocer la calidad del agua. *Boletín Informativo del Medio Ambiente* 30-49.
- Bayer, C. 2004. Manejando os solos agrícolas para alta qualidade em ambientes tropicais e subtropicais. In: FERTBIO, 26, 2004, Lages. *Anais...Lages*.
- Bernardes, R.S.; Abreu, L.M.; Dornas, M. 1999. O índice da qualidade da água distribuída à população do Distrito Federal. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20, 1999, Rio de Janeiro. *Anais...Rio de Janeiro*.
- Bley JR., C. 1999. Erosão Solar: riscos para a agricultura nos trópicos. *Ciência Hoje* 25(148) 24-29.

- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 12 de agosto de 2024.
- Brown, R.M.; Mclelland, N.I.; Deininger, R.A.; Tozer, R.G.A. 1970. Water quality index – Do we dare? *Water & Sewage Works* 339-343.
- Cadilhac, L.; Albinet, M. 2003. SEQ - Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines: rapport de présentation. Agences del' Eau. 75p.
- Campos, C.W.M.; Ponte, F.C.; Miura, K. 1974. Geology of the Brazilian Continental Margin. In: Burk, C.A.; Drake, C.L. (eds). *The Geology of Continental Margins*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.0, Technical Report. In: *Canadian Environmental Quality Guidelines*, 1999. Winnipeg: Environment Canada, 2001. Disponível em: https://unstats.un.org/unsd/envaccounting/cee/a/archive/Water/CCME_Canada.PDF. Acesso em: 13 de agosto de 2024.
- Cohen, J. 1992. Statistical power analysis. *Current Directions in Psychological Science* 1(3) 98–101.
- Coutinho, J.V.; Almeida, C.N.; Gadelha, C.L.M.; Targino, D.F.; Linhares, F.M.; Coelho, V.H.R. 2013. Avaliação integrada da qualidade da água subterrânea em uma bacia hidrográfica representativa do litoral da região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 18(4) 197-212.
- CPRH. Companhia Pernambucana de Controle da Poluição Ambiental e de Administração de Recursos Hídricos. Índice de Água. Índice e indicadores de qualidade da água – Revisão da Literatura. PNMA. 2006. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume1.pdf>. Acesso em: 13 de agosto de 2024.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Diretoria de Geologia e Recursos Minerais. Geologia do Brasil. 2004. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/4de151f5-6d20-4e87-b49c-c9b0ea65440c>. Acesso em: 22 de maio de 2024.
- Cristo, V.; Menezes, J.M.; Silva Junior, G.C. 2009. Comparação entre índices de qualidade de água. In: *Simpósio de Geologia do Sudeste*, 11, 2009, São Pedro. Anais...São Pedro.
- Deshpande, A.W.; Raje, D.V. 2003. Fuzzy logic applications to environment management systems: case studies. In: *IEEE International Conference on Industrial Informatics*, 2003, Banff. Anais...Banff.
- Fancicani, V.R.; Moraes, I.P.S.; Nariyoshi, M.A.C.; Onofre, R.M.S.; Orsatti, W.A. 1999. Índice geral de qualidade de água distribuída pela Sabesp-IGQA. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 20, 1999, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro
- Fernandes, R.A. 2005. Gestão integrada de águas subterrâneas: critérios gerais orientadores para definição e caracterização de áreas estratégicas de abastecimento. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 494f
- Fernandes, R.A.; Loureiro, C.O. 2006. Índice relativo de qualidade (IRQ): um método para caracterização e hierarquização do potencial qualitativo das águas subterrâneas. In: *Congresso Brasileiro de Água Subterrânea*, 14, 2006, Curitiba. Anais...Curitiba.
- Ferreira L.L.N.; Oliveira Júnior, R.F.; Arruda, L.E.V.; Vale, C.N.C.; Lemos Filho, L.C.A. 2015. Dependência espacial da qualidade da água para irrigação em reservatório superficial do semiárido. In: *INOVAGRI Internacional Meeting*, 3, 2015, Fortaleza. Anais...Fortaleza.
- Ferreira, L.M.; Ide, C.N. 2001. Avaliação comparativa da sensibilidade do IQA-NSF, IQA-Smith e IQA-Horton, aplicados ao Rio Miranda, MS. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 21, 2001, João Pessoa. Anais...João Pessoa.
- Gibrilla, A.; Bam, E.K.P.; Adomako, D.; Ganyaglo, S.; Osae, S.; Akiti, T.T.; Kebede, S.; Achoribo, E.; Ahiale, E.; Ayanu, G.; Agyeman, E.K. 2011. Application of water quality index (WQI) and multivariate analysis for groundwater quality assessment of the Birimian and cape coast granitoid complex: densu river basin of Ghana. *Water Quality, Exposure and Health* 3(2) 63-78.
- GRASS-GIS. Geographic Resource Analysis Support System. 2024. Disponível em: <http://grass.osgeo.org>
- Guerra, A.M.; Negrão, F.I. 1996. Domínios Hidrogeológicos do Estado

- 30f da Bahia. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 9, 1996, Salvador. Anais...Salvador.
- Hem, J.D. 1970. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters. U. S. Geol. Survey. Water Supply Paper 1473. 363p.
- Horton, R.K. 1965. An index number system for rating water quality. *Journal WPCF* 37 300-305.
- Hyndman, R.J.; Fan, Y. 1996. Sample Quantiles in Statistical Packages. *The American Statistician* 50(4) 361-365.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas Territoriais. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 10 de abril de 2024
- Jarque, C.M.; Bera, A.K. 1987. A test for normality of observations and regression residuals. *International Statistical Review* 55 163-172.
- Khan, A.A.; Paterson, R.; Khan, H. 2004. Modification and application of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for the communication of drinking water quality data in Newfoundland and Labrador. *Canadian Water Quality Research Journal* 39(3) 285-293.
- Landwehr, J.M.; Deininger, R.A. 1976. A comparison of several water quality indices. *Journal of Water Pollution of Control Federation* 48(5) 954-958.
- Lee, S.; Wolberg, G.; Shin, S. 1997. Scattered data interpolation with multilevel bsplines. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 3(3) 228-244.
- Lilliefors, H.W. 1967. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association* 62(318) 399-402.
- Lopes, L.B.; Teixeira, A.S.; Andrade, E.M.; Aquino, D.N.; Araújo, L.F.P. 2008. Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e geoprocessamento. *Revista Ciência Agrônômica* 39(3) 392-402.
- Lumb, A.; Halliwell, D.; Sharma, T. 2006. Application of CCME water quality index to monitor water quality: a case study of the Mackenzie River basin, Canada. *Environmental Monitoring and Assessment* 113(1-3) 411-429
- MDR. Ministério do Desenvolvimento Regional. Programa Água Doce. Disponível em: <http://aguadoce.mdr.gov.br/>. Acesso em: 13 de agosto de 2024.
- Menezes, J.M. 2009. Índice de qualidade de água subterrânea aplicado em área de aquíferos cristalinos com uso agrícola: bacia do rio São Domingos-RJ. Tese (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 189f.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Programa Água Doce. Resumo Executivo Planos Estaduais do Programa Água Doce 2010-2019. Brasília, 2020. 376p. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/programa-agua-doce/resumo_executivo_PAD1.pdf. Acesso em: 4 de agosto de 2024.
- Molina, P.M.; Hernandez, F.B.T.; Vanzela, L.S. 2006. Índice de qualidade de água na microbacia degradada do Córrego Água da Bomba—município de Regente Feijó—SP. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 16, 2006, Goiânia. Anais...Goiânia.
- Monteiro, A.F.M.; Yamamoto, A.L.C.; Silva, P.N.; Reboita, M.S. 2021. Conhecer a complexidade do sistema climático para entender as mudanças climáticas. *Terra Didática* 17 1-12.
- Montenegro, A.; Montenegro, S.; Silva, V. de P.E.; Marinho, I. de S.; Silva, J.G. da; Bezerra, R.; Barros, M.K. 2000. Uso múltiplo da água subterrânea nas áreas de domínio do programa Xingó, com ênfase no desenvolvimento de halófitas. In: Joint World Congress on Groundwater, 1, 2000, Fortaleza. Anais...Fortaleza.
- Oliveira, A.M. de; Dias, N. da S.; Freitas, J.J.R. de; Martins, D.F.F.; Rabelo, L.N. 2017. Avaliação físico-química das águas do processo de dessalinização de poços salobros e salinos em comunidades rurais do oeste potiguar. *Águas Subterrâneas* 31(2) 58-73.
- Oliveira, I.B. de; Negrão, F.I.; Silva, A.G.L.S. 2007. Mapeamento dos aquíferos do Estado da Bahia utilizando o índice de qualidade natural das águas subterrâneas – IQNAS. *Águas Subterrâneas* 21(1) 123-137.
- Prati, L.; Pavanello, R.; Pesarin, F. 1971. Assessment of surface water quality by a single index of pollution. *Water Research* 5 741-751.
- QGIS. Development Team. 2022. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.
- Reboita, M.S.; Ambrizzi, T. 2022. Climate system in a nutshell: An overview for understanding Climate change. *International Journal of Development Research* 12 e53365-53378.

- Reboita, M.S.; Gan, M.A.; Rocha, R.P. da; Ambrizzi, T. 2010. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia* 25 185-204.
- Rizzi, N.E. 2001. Índices de qualidade de água. *Revista Técnica da Sanepar* 15 11-20.
- Rosa, R.; Brito, J.L.S. 1996. Introdução ao geoprocessamento: Sistema de Informações Geográficas. Universidade Federal de Uberlândia. 142p
- RSTUDIO. 2023. Posit Software. Disponível em: <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>
- SAGA. System for Automated Geoscientific Analyses. 2024. Disponível em: <https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html>. Acesso em: 24 de janeiro de 2024.
- Saia, A.; Jonnes, D.; Lima, J.T. 2015. Componente de Obras Civis. In: Orientações Técnicas dos Componentes do Programa Água Doce para Implantação dos Sistemas de Dessalinização. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Brasília. 70p. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/programa-agua-doce/programa-agua-doce-1>. Acesso em: 4 de agosto de 2024.
- Sánchez, E.; Colmenarejo, M.F.; Vicente, J.; Rubio, A.; García, M.G.; Travieso, L.; Borja, R. 2007. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. *Ecological Indicators* 7(2) 315-328.
- Sena, M.C.; Rocha, S.R.A.G.; Martins, M.A.L.; Callado, N.H.; Harry, N.M.M.M. 2005. Monitoramento da qualidade da água no riacho das Águas do Ferro em Maceió/AL. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16, 2005, João Pessoa. Anais...João Pessoa.
- SGB. 2024. Serviço Geológico do Brasil. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. SIAGAS WEB. Disponível em: <https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/>. Acesso em: 14 de agosto de 2024.
- Shapiro, A.S.S.; Wilk, M.B. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52(3-4) 591-611.
- Silva, J.V. de M.; Nascimento, J.L.G. do; Brito, A.I.B. da S.; Santos, D. de A.; Baydum, V.P.A. 2019. Análise físico-química da qualidade do permeado e concentrado do processo de dessalinização para fins de potabilidade. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 30, 2019, Natal. Anais...Natal.
- Silva, M.M. da; Silva, V.N.L.; Brito, A.M.S.S.; Silva, H.K.P. da. 2014. Avaliação da qualidade da água de dessalinizadores no município de Passira – Pernambuco. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 12, 2014, Natal. Anais...Natal.
- Simões, F.S.; Yabe, M.J.S.; Moreira, A.B.; Bisinoti, M.C. 2007. Avaliação do efeito da piscicultura em sistemas aquáticos em Assis e Cândido Mota, São Paulo, por indicador de qualidade da água e análise estatística multivariada. *Química Nova* 30(8) 1835-1841.
- Smith, D.G. 1987. A new form of water quality index for rivers and streams. *Water Science Technology* 21(2) 123-127.
- Sousa, I.V.A.; Souza, R.O.; Paulino, W.D. 2007. Cálculo do índice de qualidade de água em reservatórios tropicais com estudo de caso no Acarape do Meio. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17, 2007, São Paulo. Anais...São Paulo.
- Sousa, T.C.L. de. 2021. Índice relativo de qualidade (IRQ) de água subterrânea usada para abastecimento de piscicultura semi-intensiva, nordeste paraense. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Pesca). Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém.
- Stigter, T.Y.; Ribeiro, L.; Carvalho Dill, A.M.M. 2006. Application of a groundwater quality index as an assessment and communication tool in agro-environmental policies – two portuguese case studies. *Journal of Hydrology* 327 578-591.
- WORDCLIM. Historical climate data. 2024. Disponível em: <https://worldclim.org/data/worldclim21.html>. Acesso em: 5 de abril de 2024.
- Zuffo, A.C.; Genovez, A.M. 2006. Método multicriterial utilizado como indicador da qualidade de água. In: Congreso Latinoamericano de Hidráulica, 22, 2006, Ciudad de Guavana. Anais...Ciudad de Guavana.