



Qualidade da água em bacia hidrográfica do nordeste brasileiro: aplicação do IQA CCME e do índice de poluição de Nemerow

Water quality in the northeast brazilian watershed: application of CCME WQI and Nemerow pollution index

Calidad del agua en una cuenca hidrográfica del nordeste de Brasil: aplicación del IQA CCME y del índice de contaminación de Nemerow

DOI: 10.55905/revconv.17n.3-001

Originals received: 01/02/2024

Acceptance for publication: 02/16/2024

Yanka Wandréia Nogueira Moreira

Mestranda em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Ceará (UFC)

Endereço: Fortaleza – Ceará, Brasil

E-mail: yanka.ifce8@gmail.com

Fernando José Araújo da Silva

Doutor em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Ceará (UFC)

Endereço: Fortaleza – Ceará, Brasil

E-mail: fjas@deha.ufc.br

Andrea Limaverde de Araújo

Doutora em Geologia

Instituição: Superintendência Estadual de Meio Ambiente (SEMACE)

Endereço: Fortaleza – Ceará, Brasil

E-mail: andrea.limaverde@semace.ce.gov.br

Gustavo Ross Ribeiro Lima

Doutorando em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Ceará (UFC)

Endereço: Fortaleza – Ceará, Brasil

E-mail: gustavo_ks4@hotmail.com

RESUMO

A qualidade das águas superficiais na bacia do Salgado, Estado do Ceará, nordeste do Brasil, foi avaliada no período de 2018 a 2022. O estudo compreendeu nove pontos de amostragem com o emprego do Índice de Qualidade da Água CCME (IQA CCME) e do Índice de Poluição de Nemerow (NPI). Os resultados de monitoramento foram cotejados com os padrões estabelecidos para corpos de Água Doce, Classe 2, definidos na Resolução do CONAMA n.º 357/2005. De modo geral, os resultados mostraram que a qualidade da água, na área de estudo, variou entre “Ligeiramente Poluído” a “Fortemente Poluído”, de acordo com NPI, e entre “Bom” e “Ruim”,



segundo IQA CCME. Os pontos SA5 (rio Salgadinho, em Juazeiro do Norte) e SA6 (rio Salgadinho, em Crato) apresentaram maior comprometimento da qualidade da água, indicado pelas classes apontadas pelos índices, que na maioria dos anos foi “Fortemente Poluído” (NPI) e “Ruim” (IQA CCME). Os resultados mostraram que esses locais estavam mais antropizados quando comparado aos demais pontos. Como índice agregado o NPI foi mais sensível e restritivo que o IQA CCME. O NPI enfatiza o efeito de poluentes de maior concentração. Recomenda-se a utilização do IQA CCME para os programas de monitoramento de rotina, e o NPI, de forma cautelosa, para investigações aprofundadas sobre áreas poluídas, como perícias em investigações de crimes ambientais.

Palavras-chave: índice de qualidade da água, índice de poluição, nordeste brasileiro.

ABSTRACT

The quality of surface waters in the Salgado basin, State of Ceará, northeast Brazil, was evaluated from 2018 to 2022. The study comprised nine sampling stations using the both CCME Water Quality Index (CCME WQI) and the Nemerow Pollution Index (NPI). Monitoring data were compared with the Brazilian standards for freshwater bodies, Class 2, defined in CONAMA Directive N°. 357/2005. As a whole findings pointed out water quality in the study area varied between “Slightly Polluted” to “Heavily Polluted”, according to NPI, and between “Good” and “Poor”, according to CCME WQI. Sampling stations SA5 (Salgadinho river, in Juazeiro do Norte) and SA6 (Salgadinho river, in Crato) showed higher water pollution as indicated by both indices, which in most years was “Heavily Polluted” (NPI) and “Poor” (CCME WQI). Also, results showed that these monitoring stations were more anthropized compared to other points. As aggregate index the NPI was more sensitive and restrictive than the CCME WQI. The NPI emphasizes the effect of higher concentration pollutants. It is recommended to use the CCME WQI for routine monitoring programs and the NPI, cautiously, for in-depth investigations into polluted areas, such environmental forensics.

Keywords: water quality index, pollution index, Brazilian northeast.

RESUMEN

Se evaluó la calidad de las aguas superficiales de la cuenca del Salgado, estado de Ceará, nordeste de Brasil, entre 2018 y 2022. El estudio comprendió nueve puntos de muestreo utilizando el Índice CCME de Calidad del Agua (IQA CCME) y el Índice Nemerow de Contaminación (NPI). Los resultados del monitoreo fueron comparados con los estándares establecidos para cuerpos de agua dulce Clase 2, definidos en la Resolución CONAMA 357/2005. En general, los resultados mostraron que la calidad del agua en el área de estudio osciló entre "Ligeramente contaminada" y "Muy contaminada", según el NPI, y entre "Buena" y "Mala", según el IQA CCME. Los sitios SA5 (río Salgadinho, en Juazeiro do Norte) y SA6 (río Salgadinho, en Crato) presentaron mayor deterioro de la calidad del agua, indicado por las clases indicadas por los índices, que en la mayoría de los años fueron "Muy contaminado" (NPI) y "Malo" (IQA CCME). Los resultados mostraron que estos lugares estaban más antropizados en comparación con los demás puntos. Como índice agregado, el IPN era más sensible y restrictivo que el IQA CCME. El IPN acentúa el efecto de los contaminantes de mayor concentración. Recomendamos utilizar el IQA CCME para los programas de vigilancia rutinarios y el NPI, con precaución, para las investigaciones en profundidad de zonas contaminadas, como las investigaciones forenses de delitos medioambientales.



Palabras clave: índice de calidad del agua, índice de contaminación, nordeste de Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A água desempenha um papel crucial na sustentação da vida e no suporte às diversas atividades produtivas e energéticas em todo o mundo. No contexto brasileiro, sua significância é ainda mais acentuada, considerando a vocação agrícola do país e a predominância de uma matriz energética hidroelétrica (Melo; Dia; Oliveira, 2022). Nesse sentido, alinhado à Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei n.º 9433/1997), torna-se de suma importância assegurar a disponibilidade desse recurso, tanto em termos de quantidade quanto de qualidade, para atender plenamente às demandas específicas associadas.

A qualidade das águas superficiais pode ser alterada por múltiplos fatores, incluindo processos naturais, como a variação do regime pluviométrico, intemperismo de rochas e erosão (Soares; Pinto; Oliveira, 2020). É inegável contudo, que fatores antropogênicos desempenham papel significativo na deterioração desse recurso (Zhang *et al.*, 2021). Também, o gerenciamento inadequado de efluentes domésticos e industriais, bem como de resíduos urbanos e agrícolas tem influenciado o processo de degradação (Rahman; Jahanara; Jolly, 2021; Uddin *et al.*, 2023).

A deterioração da qualidade das águas superficiais não apenas ameaça a vida aquática, mas também repercute de maneira adversa na qualidade das águas subterrâneas, potencialmente impactando a saúde humana (Wats *et al.*, 2019) e as atividades produtivas. É fundamental, então, a verificação regular do estado da qualidade da água, avaliando suas características físicas, químicas e biológicas por meio de programas de monitoramento (Maranho *et al.* 2017; Siddique *et al.*, 2022). Isso possibilita diagnosticar problemas de poluição e projetar estratégias eficazes de prevenção e mitigação nas decisões relacionadas à gestão do recurso hídrico (Maia; Silva; Libânio, 2019).

Os programas de monitoramento devem empregar índices agregados, que convertem um conjunto de variáveis, expressas como parâmetros físico-químicos e biológicos, em uma pontuação de valor único. Dessarte, tais modelos facilitam a compreensão do estado da qualidade da água, tornando possível avaliar, expressar, comparar e comunicar a qualidade geral de qualquer fonte de água de forma intelegível (Carvalho *et al.*, 2011; Andrade *et al.*, 2020).

A literatura oferece diversos índices para avaliar a qualidade dos ambientes aquáticos, com destaque para os Índices de Qualidade da Água (IQA) (Aljanabi; Al-Obaidy; Hassan, 2021;



Verma; Loganathan; Bhatt, 2022). Dentre os amplamente utilizados em todo mundo estão o IQA da Fundação Nacional de Saneamento dos Estados Unidos (*National Sanitation Foundation - NSF*) e o IQA do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (*Canadian Council of Ministers of the Environment - CCME*), conforme destacam Sutadian *et al.* (2016).

Adicionalmente, os Índices de Poluição também têm sido empregados para avaliar o nível de poluição em ambientes aquáticos (Zhang; Hou; Qian, 2020; Suriadikusumah *et al.*, 2021), embora com menor frequência. Destacam-se, nesse âmbito, o Índice Abrangente de Poluição (*Comprehensive Pollution Index-CPI*) (e.g., Imneisi; Aydin, 2018; Matta *et al.*, 2020; Tesseme; Vinti; Vaccari, 2022) e o Índice de Poluição de Nemerow (*Nemerow Pollution Index-NPI*) (e.g., Su *et al.*, 2022; Niyongabo *et al.*, 2023; Al-Bahathy *et al.*, 2023).

É importante reconhecer que a maioria dos índices desenvolvidos, especialmente os IQAs, possuem limitações implícitas, sobretudo relacionadas à subjetividade em sua formulação. A subjetividade é evidenciada em etapas padrões como: (1) seleção de parâmetros; (2) geração de subíndices; (3) ponderação dos parâmetros; e (4) cálculo da pontuação final (Kachroud *et al.*, 2019; Uddin; Nash; Olbert, 2021; Panagopoulos *et al.*, 2022).

Por outro lado, há modelos de índices que não incorporam etapas de ponderação e geração de subíndices e respondem essencialmente pelo conjunto de variáveis e grau de conformidade dos critérios de qualidade. Incorporam nas funções matemáticas de agregação final, valores padrões de referência para os parâmetros analisados, que podem ser baseados na legislação. Este é o caso do IQA CCME, que já foi aplicado em estudos no Brasil (e.g., Lopes *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2021; Val; Moleiro; Oliveira, 2022) e do NPI, que até o presente momento parece ter aplicação insipiente no país.

Tais índices são independentes de um determinado conjunto rígido de parâmetros de qualidade, e possibilitam aplicação sob diversas combinações de variáveis, conforme a necessidade ou disponibilidade. Além disso, permitem incorporar padrões legais de qualidade em seus cálculos, de maneira a se tornarem ferramentas com potencial de serem amplamente utilizadas para verificação de conformidades, considerando variados objetivos de uso da água.

Diante do exposto, o presente estudo propõe-se a avaliar a qualidade das águas superficiais em sistemas lóticos na bacia do Salgado, estado do Ceará, nordeste do Brasil, explorando, comparativamente, o IQA CCME e o Índice de Poluição de Nemerow.

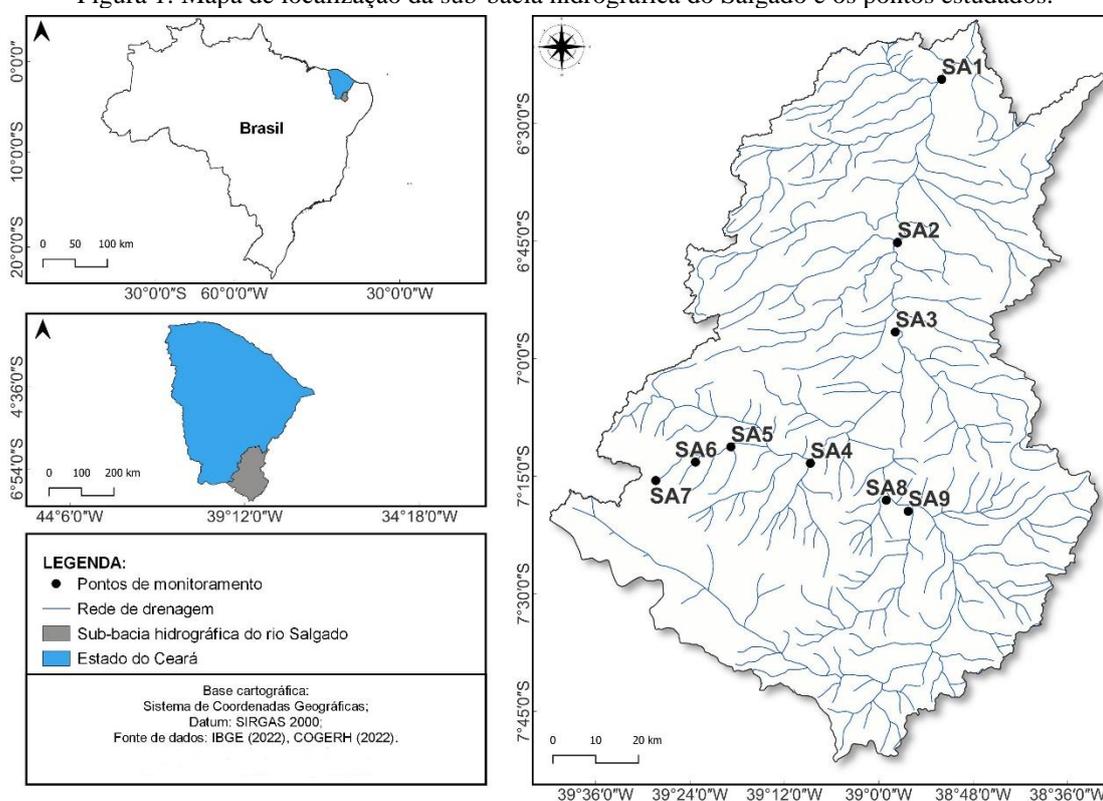


2 METODOLOGIA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DADOS UTILIZADOS

Para a pesquisa, foram considerados os pontos monitorados em ambientes lóticos localizados na sub-bacia hidrográfica do rio Salgado (SA), integrante da grande bacia hidrográfica do rio Jaguaribe. Essa sub-bacia fica situada na região sudeste do estado do Ceará, conforme mostrado na Figura 1, que destaca ainda os pontos de monitoramento do estudo.

Figura 1: Mapa de localização da sub-bacia hidrográfica do Salgado e os pontos estudados.



Fonte: Autores, 2023.

Essa região hidrográfica abrange uma extensão territorial de 12739 km², percorrendo 308 km e atravessando 23 municípios. Segundo a classificação de Köppen, essa região apresenta dois padrões climáticos distintos: semiárido quente (BSh) e tropical com inverno seco (Aw). As temperaturas médias anuais rondam os 26°C, com taxas de evaporação total atingindo até 2244 mm/ano, enquanto as precipitações médias anuais variam entre 800 e 1200 mm. Os principais usos da água nessa sub-bacia envolvem abastecimento humano, dessedentação animal e irrigação, além de atividades como turismo, lazer, aquicultura e indústria (COGERH, 2022). Informações detalhadas sobre esses pontos monitorados estão resumidas na Tabela 1.



Tabela 1: Sumário de informações dos pontos de monitoramento utilizados no estudo.

Pontos	Município	Corpo Hídrico	Localização (E)-(N)	Altitude (m)
SA1	Icó	Rio Salgado	514697-9291895	153
SA2	Lavras da Mangabeira	Rio Salgado	504362-9253486	237
SA3	Aurora	Rio Salgado	503872-9232470	283
SA4	Missão Velha	Riacho Salgadinho	484047-9201620	360
SA5	Juazeiro do Norte	Rio Salgadinho	465473-9205476	377
SA6	Crato	Riacho Salgadinho	457201-9201887	400
SA7	Crato	Nascente do Rio Batateiras	447947-9197546	525
SA8	Milagres	Riacho dos Porcos	501756-9192914	350
SA9	Milagres	Riacho dos Porcos	506885-9190322	337

Fonte: Autores, 2023.

A Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), autarquia responsável pela supervisão da qualidade da água de ambiente lóticos no Ceará, forneceu os dados de monitoramento referente ao período de 2018 a 2022. Os parâmetros analíticos do monitoramento foram: temperatura do ar (TAr), temperatura da água (TH₂O), pH, condutividade elétrica (CE), turbidez (TURB), sólidos dissolvidos totais (SDT), cor verdadeira (COR_v), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio padrão (DBO), nitrato (NO₃⁻), nitrito (NO₂⁻), nitrogênio amoniacal (NAM), fósforo total (P) e coliformes termotolerantes (CTT). As amostras foram coletadas trimestralmente durante o período matutino (entre 8h e 11h). Os procedimentos analíticos e de coleta seguiram as técnicas descritas no manual da APHA (2005).

2.2 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA CCME

O índice de Qualidade da Água (IQA) CCME foi proposto pelo Conselho Canadense de Ministros de Meio Ambiente (*Canadian Council of Ministers of the Environment - CCME*) (CCME, 2001) e sua difusão ocorre em razão da fácil aplicação e seleção flexível dos parâmetros e padrões de qualidade da água a serem envolvidos no modelo (Uddin; Nash; Olbert, 2021; Alexakis, 2022). Esse índice incorpora em sua formulação a comparação das observações com um valor alvo ou diretriz, que pode ser um padrão de qualidade da água referente a um objetivo específico (Al-Janabi *et al.*, 2012).

O cálculo do IQA CCME exige que pelo menos quatro parâmetros sejam amostrados no mínimo quatro vezes (Al-Obaidy; Khalaf; Hassan, 2022). O modelo se baseia na combinação de três medidas ou fatores de conformidade, estabelecidas para o padrão de qualidade de água requerida conforme o objetivo de uso, quais sejam (CCME, 2017):



- a) Escopo (F_1): representa a porcentagem de parâmetros que não atendem às suas diretrizes (parâmetros não conformes), durante o período considerado, em relação ao número total de parâmetros monitorados;
- b) Frequência (F_2): representa a porcentagem de testes individuais que não atendem às diretrizes (testes não conformes) em relação ao número total de testes;
- c) Amplitude (F_3): representa o valor pelo qual os valores de testes não conformes não atendem às diretrizes.

Após definição dos parâmetros e padrões de qualidade, bem como do período de monitoramento, o referido índice pode ser obtido por meio das formulações descritas pelas Equações de números 1 a 7 (CCME, 2001; CCME, 2017).

O F_1 (Escopo) e F_2 (Frequência) são calculados por meio das Eq. (1) e (2), respectivamente:

$$F_1 = \frac{\text{Número de parâmetros não conformes}}{\text{Número total de parâmetros}} \times 100 \quad \text{Eq. (1)}$$

$$F_2 = \frac{\text{Número de testes não conformes}}{\text{Número total de testes}} \times 100 \quad \text{Eq. (2)}$$

O F_3 é sequencialmente obtido em três etapas. A primeira consiste na determinação do número de vezes em que uma concentração individual é superior (ou inferior, quando a diretriz é mínima) à diretriz. Esse parâmetro é denominado “excursão” e é expresso pela Eq. (3), quando o valor do teste não deve exceder a diretriz, e pela Eq. (4), quando o valor do teste não deve ficar abaixo da diretriz.

$$\text{excursão}_i = \left(\frac{\text{Valor do teste não conforme}_i}{\text{Objetivo}_j} \right) - 1 \quad \text{Eq. (3)}$$

$$\text{excursão}_i = \left(\frac{\text{Objetivo}_j}{\text{Valor do teste não conforme}_i} \right) - 1 \quad \text{Eq. (4)}$$

Na sequência, para obtenção do F_3 , a partir da Eq. (6), é feita a soma normalizada das excursões, parâmetro denominado “nse” (*normalized sum of excursions*), calculado pela Eq. (5).



$$nse = \frac{\sum_1^n excursão_i}{\text{Número de testes}} \quad \text{Eq. (5)}$$

$$F_3 = \frac{nse}{0,01(nse)+0,01} \quad \text{Eq. (6)}$$

Uma vez, obtidos os fatores F_1 , F_2 e F_3 , o IQA CCME pode ser calculado através da Eq. (7), somando os fatores como se fossem vetores.

$$IQA\ CCME = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right) \quad \text{Eq. (7)}$$

O fator 1,732, matematicamente igual a $3^{1/2}$, é um argumento para normalizar os valores resultantes em intervalo entre 0 e 100, uma vez que os fatores individuais (F_1 , F_2 e F_3) podem chegar até 100, fazendo com que o comprimento do vetor possa chegar a 173,2 (Lumb; Halliwell; Sharma, 2006).

2.3 ÍNDICE DE POLUIÇÃO DE NEMEROW

O Índice de Poluição de Nemerow (*Nemerow's Pollution Index - NPI*) foi desenvolvido por Nemerow e Sumitomo (1970) (Al-Othman, 2019) em nome da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Reta *et al.*, 2019). Em seu método de avaliação, combina o valor médio dos poluentes com o valor máximo (Ren; Zhang; Qian, 2021). Fornece informações sobre a extensão da poluição para um determinado parâmetro de qualidade da água, ao incorporar como referência, o seu valor padrão (Swathi; Umesh, 2015).

Essa métrica é considerada uma abordagem eficaz para avaliar a qualidade da água, pois possui procedimento matemático simples, efeito integrado satisfatório. Também, destaca a influência do efeito de poluentes de alta concentração (Mohammed; Al-Obaidi, 2021). Possui flexibilidade na seleção de parâmetros, bem como na escolha dos padrões e diretrizes de qualidade da água a serem utilizados como referência, segundo seu propósito.

As formulações matemáticas para determinação do NPI são representadas pelas Equações de números 8 a 12 (Nemerow; Sumitomo, 1970; Purnamasari, 2017; Suriadikusumah *et al.*, 2020). O referido índice pode ser calculado por meio da Eq. (8):



$$NPI = \sqrt{\frac{\left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)_{MAX}^2 + \left(\frac{C_i}{L_{ij}}\right)_{MED}^2}{2}} \quad \text{Eq. (8)}$$

Em que:

C_i é a concentração medida dos parâmetros de qualidade da água; L_{ij} é a diretriz padrão de qualidade da água para cada parâmetro no propósito específico de qualidade da água (j); $(C_i/L_{ij})_{MAX}$ e $(C_i/L_{ij})_{MED}$ configuram o valor máximo e médio desse fator, respectivamente.

Para parâmetros que, quanto menor sua concentração, maior o grau de poluição, como é o caso do Oxigênio Dissolvido (OD), o fator (C_i/L_{ij}) é representado por meio da Eq. (9), em que C_{im} é a concentração de saturação:

$$\frac{C_i}{L_{ij}} = \frac{(C_{im} - C_i)}{(C_{im} - L_{ij})} \quad \text{Eq. (9)}$$

Adicionalmente, no caso de parâmetros que possuem uma faixa padrão de recomendação em suas diretrizes, como o pH, o fator (C_i/L_{ij}) pode ser representado por meio da Eq. (10), se $C_i < \overline{L_{ij}}$, e da Eq. (11), se $C_i > \overline{L_{ij}}$, em que $\overline{L_{ij}}$ é a média dos valor mínimo $((L_{ij})_{MIN})$ e máximo $((L_{ij})_{MAX})$ recomendado.

$$\frac{C_i}{L_{ij}} = \frac{C_i - \overline{L_{ij}}}{(L_{ij})_{MIN} - \overline{L_{ij}}} \quad \text{Eq. (10)}$$

$$\frac{C_i}{L_{ij}} = \frac{C_i - \overline{L_{ij}}}{(L_{ij})_{MAX} - \overline{L_{ij}}} \quad \text{Eq. (11)}$$

No caso de algum dos parâmetros envolvidos no índice, o fator (C_i/L_{ij}) calculado for maior que 1 (um), um novo fator deve ser determinado por meio da Eq. (12):

$$\frac{C_i}{L_{ij}} = 1 + P \cdot \text{Log}_{10} \left(\frac{C_i}{L_{ij}} \right) \quad \text{Eq. (12)}$$



Em que:

P é uma constante, normalmente representada pelo valor 5. Essa última equação é usada para melhorar uma dificuldade inerente do índice, relacionada à interpretação e determinação dos danos ao corpo d'água quando os valores de C_i/L_{ij} estiverem próximos do valor de referência de 1,0 ou se existirem diferenças muito grandes entre estes (Suriadikusumah *et al.*, 2020).

2.4 ABORDAGEM

Inicialmente, para cada ponto de monitoramento apresentou-se um resumo descritivo. A análise descritiva concentrou-se na comparação com os valores de referência descritos em normativa brasileira. Em seguida determinou-se o IQA CCME e o NPI. Para o cálculo, foram considerados os dados dos ciclos anuais de monitoramento da qualidade da água (período de 2018 a 2022) na área de estudo. Os valores de referência utilizados para efeito de comparação na análise descritiva, bem como na determinação dos índices, foram embasados na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) n.º 357/2005, uma das principais normativas brasileira sobre qualidade da água. Considerou-se os padrões estabelecidos para corpos de Água Doce Classe 2.

A seleção dos parâmetros para compor os índices considerou a disponibilidade nos registros do banco de dados providos pela SEMACE, bem como existência de padrão de qualidade referidos pela Resolução do CONAMA n.º 357/2005. Os parâmetros selecionados foram: pH, TURB, COR_v, SDT, DBO, OD, NO₂⁻, NO₃⁻, NAM, P e CTT, e os respectivos padrões de referência são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2: Padrões de qualidade para corpos de Água Doce, Classe 2 (CONAMA 357/2005).

Parâmetro	Unidade	Padrão
pH	-	6,0 – 9,0
TURB	UNT	≤ 100
SDT	mg/L	≤ 500
COR _v	mg Pt/L	≤ 75
OD	mg/L	≥ 5,0
DBO	mg/L	≤ 5,0
NO ₃ ⁻	mg N/L	≤ 10,0
NO ₂ ⁻	mg N/L	≤ 1,0
NAM	mg N/L	3,7 ^a ; 2,0 ^b ; 1,0 ^c ; 0,5 ^d
P	mg P/L	≤ 0,1
CTT	NMP/100mL	≤ 1000

^apH ≤ 7,5; ^b7,5 < pH ≤ 8,0; ^c8,0 < pH ≤ 8,5; ^dpH > 8,5

Fonte: Brasil, 2005.



Para fins de comparação entre o IQA CCME e o NPI foi necessário estabelecer uma associação entre as suas categorias de qualidade. Isso foi feito através da ordenação das respectivas classes, começando pelas de melhor qualidade e terminando pelas de pior qualidade, o que possibilitou uma correspondência direta, a qual está resumida na Tabela 3.

Tabela 3: Classe e faixas de qualidade dos índices NPI e IQA CCME.

Nível da Classe	Classes NPI	Faixas de Classe NPI	Classes CCME	Faixas de Classe CCME
1	Praticamente não poluído	$NPI < 0,7$	Excelente	95-100
2	Ligeiramente poluído	$0,7 \leq NPI < 1,0$	Bom	80-94
3	Levemente poluído	$1,0 \leq NPI < 2,0$	Mediana	65-79
4	Moderadamente poluído	$2,0 \leq NPI < 3,0$	Marginal	45-64
5	Fortemente poluído	$NPI \geq 3,0$	Ruim	0-44

Fonte: CCME, 2017; Kapelewska *et al.*, 2018; Reta *et al.*, 2019; Yari; Varvani; Zare, 2021; Ren; Zhang; Qian, 2021; Rao *et al.*, 2023.

Com base na Tabela 3, é possível observar que, apesar dos intervalos numéricos variarem substancialmente, há certa correspondência entre as classes. Estas possuem uma linguagem oposta, tendo vista que um categoriza a água quanto a qualidade e o outro quanto à poluição, o que racionalmente leva ao mesmo objetivo, já que a qualidade da água é a ausência de poluição.

Ao final a análise de *cluster* foi utilizada para agrupar os pontos de monitoramento de acordo com os resultados dos índices (IQA CCME e NPI), com intuito de verificar semelhanças da qualidade sob o ponto de vista espacial.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Na Tabela 4 está uma síntese descritiva, com média e desvio padrão (entre parênteses), dos parâmetros de qualidade da água em cada ponto monitorado na sub-bacia hidrográfica do Salgado durante o período de 2018 a 2022.

Os valores de temperatura média das amostras de água (TH₂O) variaram de 25,4 a 30,7° C. As temperaturas médias do ar (TAr) no momento das coletas variaram 24,57 a 29,7° C. Esses limites corresponderam exatamente aos pontos de maior e menor altitude, SA7 e SA1, respectivamente.



Tabela 4: Resumo descritivo dos parâmetros de qualidade da água nos pontos de monitoramento na sub-bacia do Salgado, Ceará (2018 a 2022).

Parâmetro	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6	SA7	SA8	SA9
pH	8,2	8,1	7,9	7,9	7,5	7,5	5,5	7,5	7,9
(-)	(0,7)	(0,8)	(0,5)	(0,4)	(0,3)	(0,3)	(0,7)	(0,3)	(0,6)
TURB	26	41	34	54	12	19	1	47	52
(UNT)	(45)	(74)	(54)	(63)	(11)	(18)	(1)	(18)	(72)
STD	218	194	249	226	351	321	70	208	191
(mg/L)	(90)	(72)	(109)	(108)	(87)	(57)	(95)	(38)	(56)
CORv	60	85	96	76	121	95	7	150	119
(mg Pt/L)	(57)	(86)	(118)	(44)	(114)	(50)	(8)	(75)	(88)
OD	8,2	7,0	7,2	7,0	2,3	3,2	6,7	5,1	7,2
(mg/L)	(1,5)	(2,2)	(3,5)	(1,4)	(1,1)	(1,4)	(0,5)	(1,5)	(2,4)
DBO	3,7	5,5	6,1	2,8	22,0	22,2	2,7	7,2	5,7
(mg/L)	(3,2)	(6,3)	(5,3)	(1,7)	(19,9)	(19,0)	(2,2)	(5,0)	(4,2)
NO₃⁻	0,56	0,85	0,68	0,66	0,91	1,19	0,20	0,90	0,88
(mg N/L)	(0,46)	(0,90)	(0,66)	(0,52)	(1,09)	(1,61)	(0,17)	(0,23)	(0,82)
NO₂⁻	0,03	0,07	0,01	0,03	0,02	0,34	< 0,01	0,04	0,04
(mg N/L)	(0,06)	(0,18)	(0,01)	(0,06)	(0,02)	(1,13)	(< 0,01)	(0,05)	(0,10)
NAM	0,4	0,5	0,4	0,5	8,5	18,9	0,1	0,8	0,6
(mg N/L)	(0,2)	(0,6)	(0,3)	(0,5)	(8,0)	(15,8)	(0,1)	(0,3)	(0,7)
P	0,2	0,3	0,2	0,2	1,4	2,0	0,1	0,4	0,3
(mg P/L)	(0,2)	(0,3)	(0,2)	(0,1)	(2,2)	(2,8)	(0,1)	(0,3)	(0,3)
CTT	1,9E+3	5,6E+3	2,3E+3	2,8E+3	9,9E+3	2,1E+4	1,4E+1	1,8E+3	1,4E+2
(NMP/100mL)	(5,5E+3)	(9,3E+3)	(5,5E+3)	(6,4E+3)	(1,1E+4)	(8,8E+3)	(9,0E+0)	(2,3E+3)	(2,3E+2)

Fonte: Autores, 2023.

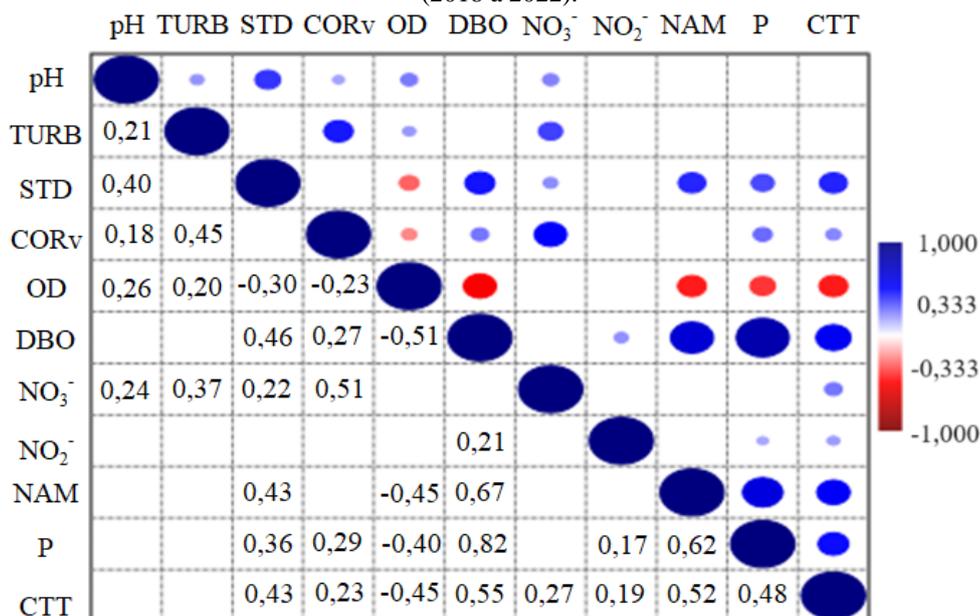
Os resultados médios revelaram maior grau de não conformidade, entre os pontos de monitoramento, para as variáveis P, CTT, CORv e DBO, considerando os padrões de enquadramento para corpos de Água Doce, Classe 2, conforme a Resolução CONAMA n.º 357/2005. Em contraposição, as variáveis que apresentaram maior grau de conformidade entre os pontos monitorados foram TURB, STD, NO₃⁻ e NO₂⁻, com todos os valores médios abaixo dos limites de referência em todos os pontos.

Sob perspectiva espacial, os pontos com maior número de variáveis não conformes, considerando os valores médios, foram os SA5 e SA6 com seis parâmetros não conformes (CTT, P, NAM, OD DBO e CORv) e em seguida os pontos SA2, SA3 e SA8 com quatro parâmetros não conformes (CTT, P, DBO e CORv). O ponto com melhor qualidade foi o SA7, em que apenas a variável pH esteve não conforme, em razão do seu caráter levemente ácido. Nesse caso cabe destacar que o ponto SA7 é uma nascente e, dessa forma, a característica da água é compreendida em seu aspecto natural. O ponto pode ser classificado como água de Classe Especial, conforme definido no Artigo 4º, inciso I da Resolução CONAMA n.º 357/2005.



A Figura 2 mostra a matriz de correlação entre as variáveis empregadas no cômputo dos índices. Optou-se por considerar os resultados das amostras individuais (*i.e.*, $n = 152$). Correlações mais representativas foram apontadas pelas variáveis CTT, DBO, OD e STD.

Figura 2: Matriz de correlação entre as variáveis do estudo sobre qualidade de água na bacia do Salgado, Ceará (2018 a 2022).



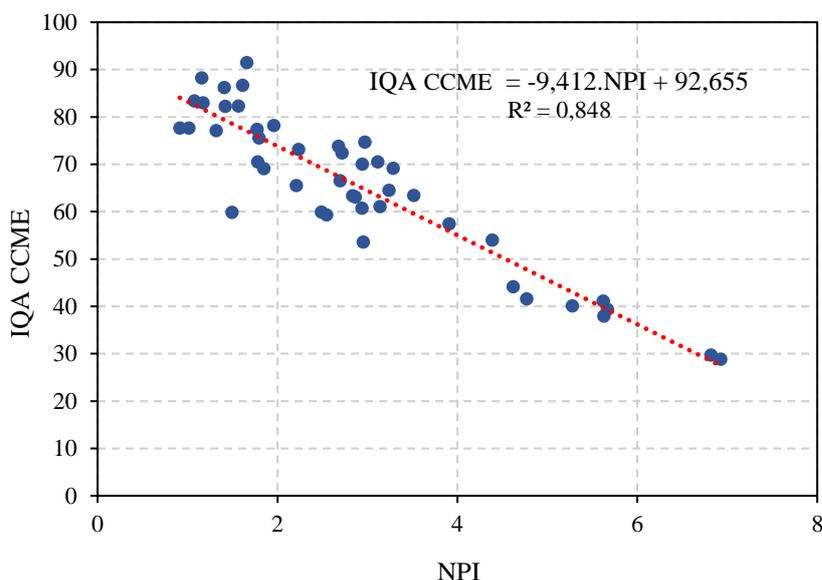
Fonte: Autores, 2023.

3.1 QUALIDADE DA ÁGUA POR MEIO DO IQA CCME E DO NPI

Em primeira análise determinou-se a correlação entre os dois índices com objetivo de verificar se ambos seguiram tendência similar na avaliação da qualidade da água. Para isso, gerou-se um gráfico de dispersão dos resultados do IQA CCME em função NPI (Figura 3) considerando o conjunto de índices obtidos. Abrangeram-se então os ciclos anuais e os nove pontos monitorados na sub-bacia hidrográfica do Salgado, totalizando 45 dados referentes ao conjunto de índices calculados.



Figura 3: Gráfico de dispersão do IQA CCME em função do NPI.



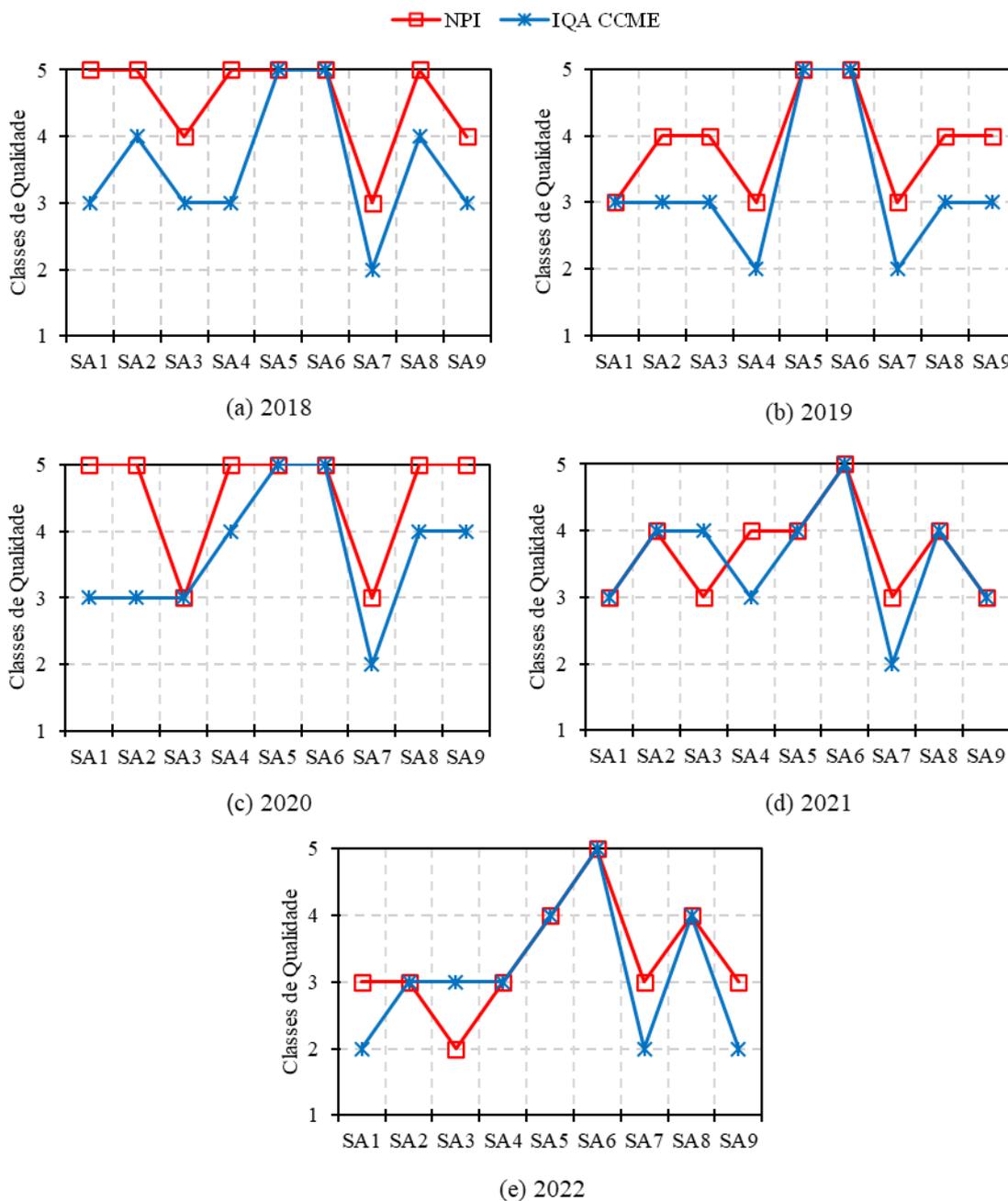
Fonte: Autores, 2023.

Em razão da associação inversa entre o IQA CCME e o NPI o coeficiente de correlação (r) foi -0,921 com nível de significância de 0,05. Assim, o IQA CCME pode ser explicado pela variação do NPI (com acurácia de cerca de 85%).

Em prosseguimento, ao se considerar uma análise espaço-temporal da qualidade da água, a Figura 4 apresenta a variação das classes de qualidade da água do IQA CCME e NPI nos nove pontos monitorados, ao longo do período estudado (2018 a 2022).



Figura 4: Variação anual das Classes de Qualidade conforme o IQA CCME e o NPI nos nove pontos da sub-bacia hidrográfica do Salgado, Ceará (2018 a 2022).



Nível da Classe	1	2	3	4	5
Classes IQA CCME	Excelente	Bom	Mediana	Marginal	Ruim
Classes NPI	Praticamente não Poluído	Ligeiramente Poluído	Levemente Poluído	Moderadamente Poluído	Fortemente Poluído

Fonte: Autores, 2023.



De modo geral é possível destacar que houve variação distinta entre os níveis de classes de qualidade obtidos pelo IQA CCME e o NPI. Esse último foi mais restritivo que o IQA CCME, classificando os pontos, ao longo dos anos, em sua maioria, no mesmo nível ou em nível de qualidade inferior. Para a maior parte dos ciclos anuais avaliados, o NPI classificou os pontos entre os níveis três (Levemente Poluído) a cinco (Fortemente Poluído), enquanto o IQA CCME, variou do nível dois (Bom) a cinco (Ruim), em todos os anos. Esse caráter restritivo do NPI, possivelmente se deve ao fato desse índice sobrevalorizar a influência do fator poluente mais grave, como apontado por Zhu *et al.* (2019).

Os pontos SA5 e SA6, nos anos de 2018 a 2020, foram classificados no nível cinco, “Fortemente Poluído” (NPI) e “Ruim” (IQA CCME). Já nos anos de 2021 e 2022, o ponto SA5 melhorou de classificação, estando no nível quatro, classes “Moderadamente Poluído” (NPI) e “Marginal” (IQA CCME), enquanto o ponto SA6 continuou nas mesmas classes dos anos anteriores. Um ponto, porém, se manteve estável com os dois índices. Trata-se do SA7 que foi classificado nos níveis três “Levemente Poluído” (NPI) e dois “Bom” (IQA CCME).

Em 2018, com o emprego do NPI, seis dos nove pontos monitorados (SA1, SA2, SA4, SA5, SA6 e SA8) foram classificados no nível cinco (Fortemente Poluído), enquanto o IQA CCME classificou a maioria dos pontos nos níveis três, “Mediana” (SA1, SA2, SA3, SA9) e quatro “Marginal” (SA2 e SA8). Nesse ano, o ponto SA7 foi considerado o de melhor qualidade, ou de menor nível de poluição, entre os pontos monitorados, segundo os dois índices.

No ano de 2019, houve uma leve melhora na classificação de alguns pontos, segundo os dois índices aplicados. O NPI classificou a maioria dos pontos nos níveis três (SA1, SA4 e SA7) e quatro (SA2, SA3, SA8 e SA9), com destaque para os pontos SA1 e SA4 que passaram para nível três (Levemente Poluído) e os pontos SA2 e SA8 que passaram para o nível quatro (Moderadamente Poluído). Por outro lado, o IQA CCME classificou a maioria dos pontos nos níveis dois (SA4 e SA7) e três (SA1, SA2, SA3, SA8 e SA9), com melhora na classe dos pontos SA2 e SA8 para o nível três (Mediana) e do ponto SA4 para o nível dois (Bom).

Não obstante a diminuta melhora na qualidade da água observada entre os anos de 2018 e 2019, no ano de 2020, observa-se piora nas classes de qualidade, sobretudo na classificação do NPI. Para essa métrica, a maioria dos pontos se enquadrou no nível cinco, “Fortemente Poluído”, devido a piora na qualidade dos pontos SA1, SA2, SA4, SA8 e SA9, os quais passaram para este nível. Já o IQA CCME voltou a enquadrar a maioria dos pontos nos níveis três e quatro, como



em 2018, em razão do decréscimo na qualidade dos pontos SA4, SA8 e SA9, que passaram para o nível quatro (Marginal).

Nos dois últimos anos, 2021 e 2022, houve uma tendência de melhora nas classes de qualidade da água, sobretudo apontado pelo NPI. O IQA CCME mostrou que apesar de redução da qualidade em SA2 e SA3 em 2021, nos demais pontos houve melhora. Essa tendência também foi observada em 2022.

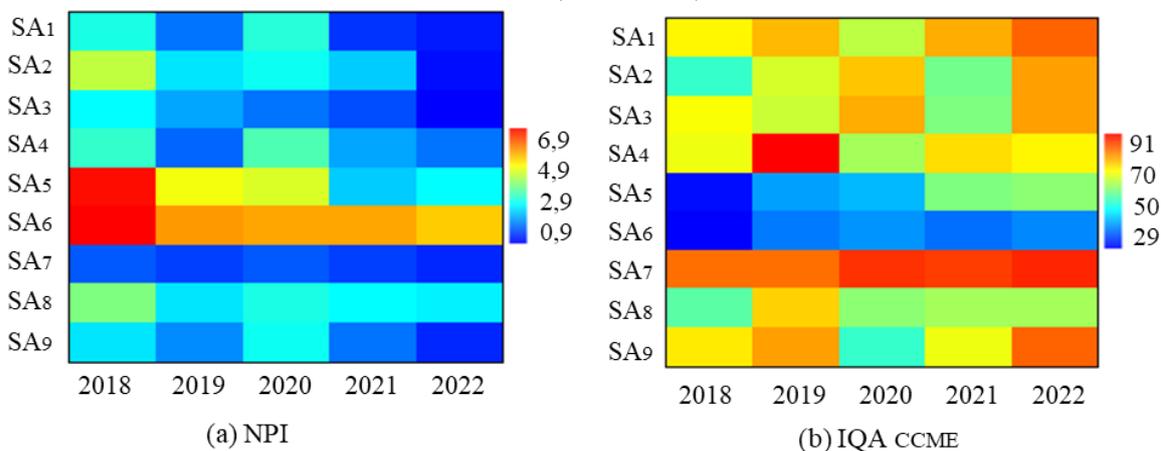
O NPI, em 2021, indicou melhora da classificação dos pontos SA1 e SA9 para o nível três (Levemente Poluído), e dos pontos SA2, SA4, SA5 e SA8 para o nível quatro (Moderadamente Poluído). Essa inclinação continuou em 2022, com o ponto SA3 classificando-se no nível dois (Ligeiramente Poluído) e os pontos SA2 e SA4 classificando-se no nível três (Levemente Poluído). Isso foi ratificado nos demais pontos (SA1, SA2, SA4, SA7 e SA8).

Relativamente ao IQA CCME, em 2021, houve melhora nas classes de qualidade dos pontos SA4 e SA9 para o nível três (Mediana) e do ponto SA5 para nível quatro (Marginal). Apesar disso, dois pontos, SA2 e SA3, indicaram redução da qualidade, classificando-se no nível quatro (Marginal). Contudo, em 2022, estes pontos apresentaram melhora, voltando para o nível três (Mediana). Em adição, a tendência de melhora se estendeu aos pontos SA1 e SA9 que se classificaram no nível dois (Bom), nesse ano.

Considerando, por fim, a totalidade de pontos monitorados e os cinco anos estudados, o ano de 2022 foi o que apresentou melhor cenário em termos de classes de qualidade da água, segundo os dois índices. A Figura 5 apresenta as pontuações de qualidade ao longo do período avaliado para os dois índices empregados.



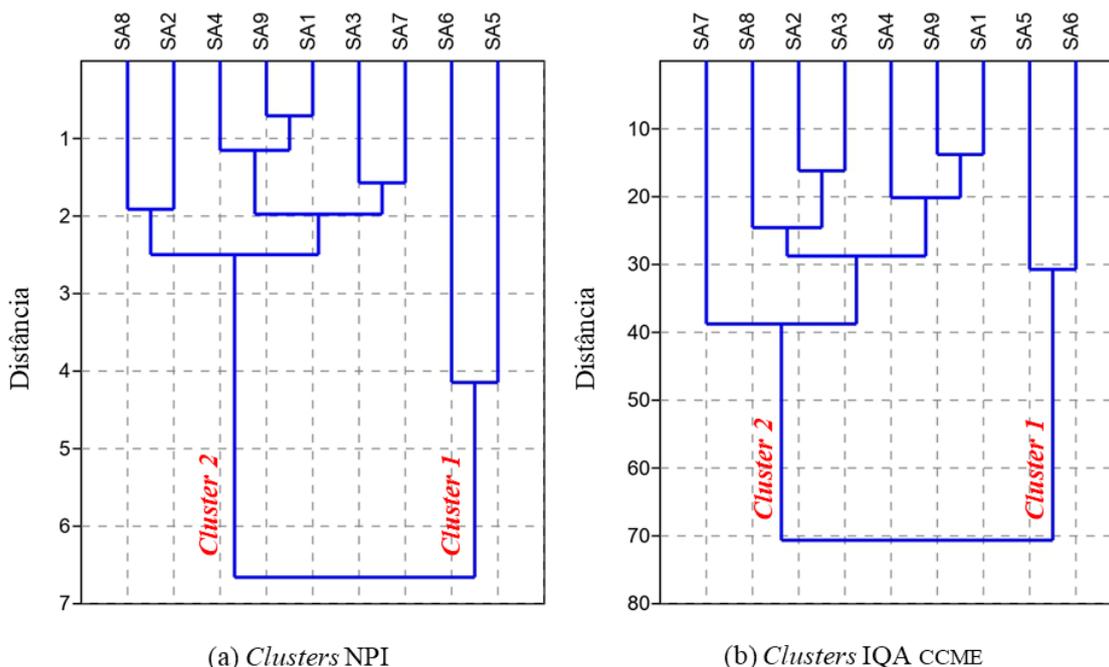
Figura 5: Variação anual dos índices NPI e IQA CCME nos pontos de monitoramento da sub-bacia do Salgado, Ceará (2018 a 2022).



Fonte: Autores, 2023.

Para concluir, o resultado da análise de *cluster* é apresentado no dendrograma da Figura 6. O método de agrupamento hierárquico da ligação média (*Unweighted Pair Group Method using Arithmetic Averages - UPGMA*) empregou a distância euclidiana como medida de dissimilaridade.

Figura 6: Dendrogramas de variação do IQA CCME e NPI.



Fonte: Autores, 2023.



Dois grupos, *Clusters* 1 e 2, foram formados a partir dos nove pontos de monitoramento, tanto para o IQA CCME como para o NPI. No *Cluster* 1, para os dois índices, foram agrupados os pontos SA5 e SA6, que tiveram as maiores pontuações no NPI e menores pontuações no IQA CCME ao longo dos anos (visto na Figura 5), classificando-se, na maioria dos anos, no nível cinco, “Fortemente Poluído” (NPI) e “Ruim” (IQA CCME).

O *Cluster* 2 foi constituído por dois *subclusters* para os dois índices, destacando um desses por ser constituído por um único ponto, o SA7, que teve as menores pontuações no NPI e maiores pontuações no IQA CCME, para maioria dos anos, categorizando-se, durante todo período avaliado, no nível três, classe “Levemente Poluído” (NPI) e dois “Bom” (IQA CCME). O segundo *subcluster* foi formado por dois novos *subclusters* com variações entre os pontos SA1, SA2, SA3, SA4, SA8 e SA9, os quais apresentaram qualidade intermediária aos pontos anteriormente citados.

4 CONCLUSÃO

O estudo mostrou que o Índice de Qualidade da Água (IQA) do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (*Canadian Council of Ministers of the Environment - CCME*) e o Índice de Poluição de Nemerow (*Nemerow's Pollution Index - NPI*) são importantes instrumentos auxiliares na compreensão da qualidade da água, sobretudo na análise de conformidades a padrões de qualidade. Os dois índices demonstraram correlação forte com tendências de variação semelhantes.

Sob uma perspectiva ampla, considerando a variação espaço-temporal e os padrões de qualidade estabelecidos para corpos de Água Doce Classe 2, definidos pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005, o estado da qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do Salgado esteve entre “Ligeiramente Poluído” (Nível 2) a “Fortemente Poluído” (Nível 5) de acordo com NPI, e entre “Bom” (Nível 2) e “Ruim” (Nível 5), segundo IQA CCME. Ademais, o ano de 2022 foi o que apresentou melhor cenário em termos de classes de qualidade da água, em razão da tendência de melhora de alguns pontos, especialmente nos últimos dois anos.

No período avaliado, entre os pontos de monitoramento, destacaram-se o SA5, rio Salgadinho em Juazeiro do Norte, e SA6, rio Salgadinho, em Crato, com estado da qualidade da água mais comprometido. Indicado não apenas pelas classes apontadas pelos índices, que na



maioria dos anos foi o nível cinco, “Fortemente Poluído” (NPI) e “Ruim” (IQA CCME), mas também pelas pontuações obtidas que destoaram das dos demais. Essa tendência de qualidade dos pontos mencionados foi reforçada pela análise de *cluster*, em que de dois *clusters* formados para os dois índices, o primeiro foi constituído pelos pontos SA5 e SA6.

Para concluir, o NPI demonstrou ser mais restritivo quanto a categorização das classes de qualidade do que o IQA CCME, possivelmente devido ao seu caráter de enfatizar os poluentes de maior concentração, ou ainda, decorrente da escala de classe com faixa reduzida. Dessarte, recomenda-se a utilização do IQA CCME para os programas de monitoramento da qualidade da água realizados rotineiramente, e o NPI, com cautela, para investigações aprofundadas sobre áreas poluídas, como perícias em investigações de crimes ambientais. Adicionalmente, sugere-se para pesquisas futuras o estudo de outras escalas de classificação do NPI que possam se revelar mais apropriadas em programas de monitoramento rotineiros.



REFERÊNCIAS

AL-BAHATHY, I. A. A. *et al.* Application of the Water Quality and Water Pollution Indexes for Assessing Changes in Water Quality of the Tigris River in the South Part of Iraq. **Ecological Engineering & Environmental Technology**, v. 24, n. 5, p. 177-184, 2023. <https://doi.org/10.12912/27197050/165901>

ALEXAKIS, D. E. Applying Factor Analysis and the CCME Water Quality Index for Assessing Groundwater Quality of an Aegean Island (Rhodes, Greece). **Geosciences**, v. 12, n. 10, p. 384, 2022. <https://doi.org/10.3390/geosciences12100384>

AL-JANABI, Z. Z. *et al.* Assessment of water quality of Tigris River by using water quality index (CCME WQI). **Al-Nahrain Journal of Science**, v. 15, n. 1, p. 119-126, 2012.

ALJANABI, Z. Z.; AL-OBAIDY, A.H.M. J.; HASSAN, F. M. A brief review of water quality indices and their applications. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2021. p. 012088. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/779/1/012088>

AL-OBAIDY, A. H. M. J; KHALAF, S. M.; HASSAN, F. M. Application of CCME Index to Assess the Water Quality of Tigris River within Baghdad City, Iraq. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2022. p. 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1088/1/012004>

AL-OTHTMAN, A.A. Evaluation of the suitability of surface water from Riyadh Mainstream Saudi Arabia for a variety of uses. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 12, n. 8, p. 2104-2110, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.01.001>

ANDRADE, A. P. *et al.* New Water and Biotic Quality Assessment Indices for a tropical reservoir based on fuzzy logic. **Revista Ambiente & Água**, v. 15, 2020. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2597>

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21st Edition, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Recursos Hídricos regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, n. 6, Seção 1, p. 470, 9 de janeiro de 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução Conama nº 357, 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF: **Diário Oficial da União**, n. 53, Seção 1, p. 58, 18 de março de 2005.



Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). **Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life**; CCME Water Quality Index User's Manual: Winnipeg, MB, Canada, 2001.

Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). **Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life**; CCME Water Quality Index User's Manual: Winnipeg, MB, Canada, 2017.

CARVALHO, A. P. *et al.* Determinação espacial e temporal do IQA do açude Soledade em Soledade-Paraíba. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 8, n. 2, p. 138-147, 2011.

Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH). **Diagnóstico da Região Hidrográfica do rio Salgado**. Fortaleza, COGERH, 2022.

IMNEISI, I. AYDIN, M. Water quality assessment for Elmali stream and karacomak stream using the comprehensive pollution index (CPI) in Karacomak Watershed, Kastamonu, Turkey. **Kastamonu, Turkey Fresenius Environmental Bulletin**, v. 27, n. 10, p. 7031-7038, 2018.

KACHROUD, M. *et al.* Water quality indices: Challenges and application limits in the literature. **Water**, v. 11, n. 2, p. 361, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11020361>

KAPELEWSKA, J. *et al.* Water pollution indicators and chemometric expertise for the assessment of the impact of municipal solid waste landfills on groundwater located in their area. **Chemical Engineering Journal**, v. 359, p. 790-800, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.11.137>

LOPES, O. F. *et al.* Comparison between water quality indices in watersheds of the Southern Bahia (Brazil) with different land use. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 12944-12959, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10941-7>

LUMB, A.; HALLIWELL, D.; SHARMA, Tribeni. Application of CCME Water Quality Index to monitor water quality: A case study of the Mackenzie River basin, Canada. **Environmental Monitoring and assessment**, v. 113, p. 411-429, 2006. <https://doi.org/10.1007/s10661-005-9092-6>

MAIA, K. P.; SILVA, G. A.; LIBÂNIO, M. Aplicação de análise multivariada no estudo da frequência de amostragem e do número de estações de monitoramento de qualidade da água. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 24, p. 1013-1025, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019175743>

MARANHO, L. A. *et al.* Avaliação da qualidade da água do Ribeirão Samambaia (São Pedro, São Paulo, Brasil) através de parâmetros físicos e químicos, índice de estado trófico e teste de toxicidade com *Daphnia magna*. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, p. 195-201, 2017. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017130372>



MATTA, G. *et al.* Water quality and planktonic composition of river Henwal (India) using comprehensive pollution index and biotic-indices. **Transactions of the Indian National Academy of Engineering**, v. 5, p. 541-553, 2020. <https://doi.org/10.1007/s41403-020-00094-x>

MELO, J. J.; DIA, M. J. M.; OLIVEIRA, A. U. A água e sua proteção legal no Brasil e Acre: considerações sobre a legislações dos recursos hídricos. **UÁQUIRI-Revista do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal do Acre**, v. 4, n. 1, 2022. <https://doi.org/10.29327/268458.4.1-5>

MOHAMMED, R.; AL-OBAIDI, B. Treatability influence of municipal sewage effluent on surface water quality assessment based on Nemerow pollution index using an artificial neural network. In: **IOP Conference series: earth and environmental science**. IOP Publishing, 2021. p. 012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/877/1/012008>

NEMEROW, N. L. SUMITOMO, H. 1970. **Benefits of water quality enhancement**. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, 1970.

NIYONGABO, A. *et al.* Water quality characteristics of Lake Tanganyika in Burundi and Lake Victoria in Uganda. **Water Practice & Technology**, v. 18, n. 8, p. 1756-1774, 2023. <https://doi.org/10.2166/wpt.2023.120>

OLIVEIRA, K. L. *et al.* Water quality index and spatio-temporal perspective of a large Brazilian water reservoir. **Water Supply**, v. 21, n. 3, p. 971-982, 2021. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.374>

PANAGOPOULOS, Y. *et al.* Implementing the CCME water quality index for the evaluation of the physicochemical quality of Greek rivers. **Water**, v. 14, n. 17, p. 2738, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14172738>

PURNAMASARI, D. E. Penentuan Status Mutu Air Kali Wonokromo Dengan Metode Storet Dan Indeks Pencemar. **Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember**, 2017.

RAHMAN, A.; JAHANARA, I.; JOLLY, Y. N. Assessment of physicochemical properties of water and their seasonal variation in an urban river in Bangladesh. **Water Science and Engineering**, v. 14, n. 2, p. 139-148, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2021.06.006>

RAO, M. *et al.* Trace elements in aquatic products from Shenzhen, China and their implications for human exposure. **Science of The Total Environment**, v. 885, p. 163726, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163726>

REN, W.; ZHANG, Q.; QIAN, H. Comprehensive assessment of water quality of ten rivers in Zhengzhou main urban area. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2021. p. 012197. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/647/1/012197>

RETA, G. *et al.* Application of Single Factor and Multi-Factor Pollution Indices Assessment for Human-Impacted River Basins: Water Quality Classification and Pollution Indicators. **Nature Environment & Pollution Technology**, v. 18, n. 3, 2019.



SIDDIQUE, M. A. B. *et al.* Multivariate statistics and entropy theory for irrigation water quality and entropy-weighted index development in a subtropical urban river, Bangladesh. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-20, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16343-7>

SOARES, A. L. C.; PINTO, C. C.; OLIVEIRA, S. C. Impacts of anthropogenic activities and calculation of the relative risk of violating surface water quality standards established by environmental legislation: a case study from the Piracicaba and Paraopeba river basins, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 14085-14099, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07647-1>

SU, K. *et al.* Water quality assessment based on Nemerow pollution index method: A case study of Heilongtan reservoir in central Sichuan province, China. **PloS one**, v. 17, n. 8, p. e0273305, 2022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0273305>

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. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2020.08.001>

SUTADIAN, A. D. *et al.* Development of river water quality indices—a review. **Environmental monitoring and assessment**, v. 188, p. 1-29, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-5050-0>

SWATHI, S.; UMESH, S. Nemerow's pollution index: For ground water quality assessment. **J. Environ. Sci. Pollut. Res**, v. 1, p. 23-31, 2015.

TESSEME, A. T.; VINTI, G.; VACCARI, M. Pollution potential of dumping sites on surface water quality in Ethiopia using leachate and comprehensive pollution indices. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 8, p. 545, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10217-2>

UDDIN, M. G. *et al.* Assessing the impact of COVID-19 lockdown on surface water quality in Ireland using advanced Irish Water Quality Index (IEWQI) Model. **Environmental Pollution**, v. 336, p. 122456, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122456>

UDDIN, M. G.; NASH, S.; OLBERT, A. I. A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. **Ecological Indicators**, v. 122, p. 107218, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>

VAL, H. M.; MOLEIRO, D. A.; OLIVEIRA, I. B. Stepwise aggregation method for the WQI-CCME to generate a water quality profile for a long river: case study—São Francisco River, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 2, p. 136, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14172738>

VERMA, M.; LOGANATHAN, V. A.; BHATT, V. K. Development of entropy and deviation-based water quality index: case of River Ganga, India. **Ecological Indicators**, v. 143, p. 109319, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109319>



WATS, R. K. *et al.* Status of surface water quality in river Markanda and its correlation with ground water quality and health of the residents of Shahabad, Kurukshetra, Haryana, India-A case study. **International Journal of Health and Economic Development**, v. 5, n. 1, p. 1-11, 2019.

YARI, A. A.; VARVANI, J.; ZARE, R. Assessment and zoning of environmental hazard of heavy metals using the Nemerow integrated pollution index in the vineyards of Malayer city. **Acta Geophysica**, v. 69, p. 149-159, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11600-020-00514-0>

ZHANG, P. *et al.* Antecedent rainfall and land use controlling the fate of nitrogen in karst urban rivers, elucidated by an isotopic approach. **Journal of Hydrology**, v. 592, p. 125803, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125803>

ZHANG, Y.; HOU, K.; QIAN, H. Water quality assessment using comprehensive water quality index and modified Nemerow index method: A case study of Jinghui Canal, North China. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2020. p. 012125. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/467/1/012125>

ZHU, S. *et al.* Assessing water quality for urban tributaries of the Three Gorges Reservoir, China. **Journal of Water Reuse and Desalination**, v. 9, n. 1, p. 105-114, 2019. <https://doi.org/10.2166/wrd.2018.010>