

# Análise espacial e temporal da qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Cachoeira, Bahia

Jaielle Rodrigues Nascimento<sup>1\*</sup> , Nadson Ressayé Simões<sup>2</sup> 

1 Programa de Pós-Graduação em Sistemas Aquáticos Tropicais, Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB, Praça José Bastos - Centro, Itabuna - BA, 45600-923

2 Centro de Formação em Ciências Agroflorestais, Universidade Federal do Sul da Bahia - UFSB, Praça José Bastos, s/n - Centro, Itabuna - BA, 45600-923

\*Autor para correspondência: [jaiellerodrigues@hotmail.com](mailto:jaiellerodrigues@hotmail.com)

Recebido em 19 de junho de 2023.

Aceito em 28 de agosto de 2023.

Publicado em 31 de agosto de 2023.

**Resumo** - Este trabalho objetivou analisar a variação espaço-temporal da qualidade das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, Bahia. Análise de uso e cobertura da terra, testes estatísticos multivariados e não paramétricos foram utilizados para avaliar 17 parâmetros físico-químicos e microbiológicos de 9 estações de monitoramento, entre 2008 e 2020. A bacia apresentou predominância de áreas de Pastagem e Formação Florestal, ambas reduzidas em 2020. A Formação Savânica, Mosaico de Usos e áreas Urbanas variaram positivamente. Todos os pontos violaram o Valor Máximo Permitido de Coliformes Termotolerantes, conforme Resolução CONAMA 357/2005. O Ribeirão Salomé apresentou o menor percentual de violações. Os resultados das análises de tendência Mann-Kendall sugeriram que Sólidos Suspensos foi o parâmetro com maior número de tendências de elevação na bacia. A Análise de Componentes Principais mostrou que os parâmetros com maior variabilidade temporal foram: coliformes termotolerantes, sólidos (totais, suspensos e dissolvidos), demanda bioquímica de oxigênio e condutividade elétrica. Ao longo de toda a bacia, foi observada a degradação da qualidade da água durante o período estudado, principalmente relacionada ao lançamento de esgotos domésticos e ausência de mata ciliar, evidenciando a necessidade de medidas mitigadoras, visando a conservação e manutenção deste recurso.

**Palavras-chave:** Estatística multivariada. Monitoramento. Poluição.

## Spatial and temporal analysis of water quality in the Cachoeira River basin, Bahia

**Abstract** - This work aimed to analyze the space-time variation of surface water quality in the Cachoeira River Basin, Bahia. Land use and land cover analysis, multivariate and non-parametric statistical tests were used to evaluate 17 physical-chemical and microbiological parameters of 9 monitoring stations, between 2008 and 2020. The basin showed predominance of areas of Pasture and Forest Formation, both reduced in 2020. The Savanna Formation, Mosaic of Uses and Urban Areas varied positively. All

points violated the Maximum Permissible Value of Thermotolerant Coliforms, according to CONAMA Resolution 357/2005. Ribeirão Salomé had the lowest percentage of violations. The results of the Mann-Kendall trend analysis suggested that Suspended Solids was the parameter with the highest number of elevation trends in the basin. Principal Component Analysis showed that the parameters with the greatest temporal variability were: thermotolerant coliforms, solids (total, suspended and dissolved), biochemical oxygen demand and electrical conductivity. Throughout the basin, degradation of water quality was observed during the period studied, mainly related to the release of domestic sewage and the absence of riparian vegetation, evidencing the need for mitigation measures, aiming at the conservation and maintenance of this resource.

Keywords: Multivariate statistics. Monitoring. Test Mann-kendall.

## **Análisis espacial y temporal de la calidad del agua en la cuenca del Río Cachoeira, Bahia**

**Resumen** - Este trabajo tuvo como objetivo analizar la variación espacio-temporal de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Cachoeira, Bahía. Se utilizaron análisis de uso y cobertura del suelo, pruebas estadísticas multivariadas y no paramétricas para evaluar 17 parámetros físico-químicos y microbiológicos de 9 estaciones de monitoreo, entre 2008 y 2020. La cuenca mostró predominio de áreas de Pastizal y Formación Forestal, ambas reducidas en 2020. La Formación Sabana, Mosaico de Usos y Áreas Urbanas varió positivamente. Todos los puntos violaron el Valor Máximo Permissible de Coliformes Termotolerantes, según Resolución CONAMA 357/2005. Ribeirão Salomé tuvo el porcentaje más bajo de violaciones. Los resultados del análisis de tendencias de Mann-Kendall sugirieron que los Sólidos Suspendidos fueron el parámetro con el mayor número de tendencias de elevación en la cuenca. El Análisis de Componentes Principales mostró que los parámetros con mayor variabilidad temporal fueron: coliformes termotolerantes, sólidos (totales, suspendidos y disueltos), demanda bioquímica de oxígeno y conductividad eléctrica. En toda la cuenca, se observó degradación de la calidad del agua durante el período estudiado, principalmente relacionada con la liberación de aguas residuales domésticas y la ausencia de vegetación ribereña, evidenciando la necesidad de medidas de mitigación, orientadas a la conservación y mantenimiento de este recurso.

**Palabras clave:** Estadística multivariante. Supervisión. Contaminación.

## **Introdução**

A água é um bem essencial a todos os seres vivos e seu manejo é fundamental para garantir a qualidade necessária para consumo (Barbosa et al. 2022). No entanto, diversas fontes de poluição da água, em muitos casos, diretamente associadas a atividades antropogênicas, dificultam a sua conservação. As fontes mais comuns de poluição têm sido através de matéria orgânica biodegradável, sólidos em suspensão, nutrientes, patógenos, matéria orgânica não biodegradável e metais pesados

(Kilic 2021). Uma das formas de analisar a qualidade da água é através de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, os quais, segundo o Ministério da Saúde (Brasil 2011), conferem potabilidade e asseguram que a água não ofereça riscos à saúde nem ao meio ambiente, o que enfatiza a importância do monitoramento dos corpos d'água.

O monitoramento da qualidade das águas é um dos principais instrumentos que sustentam a gestão dos recursos hídricos (Veras 2020). Esse acompanhamento permite conhecer o comportamento da qualidade das águas, tornando possível avaliar sua evolução e como fatores externos (e.g. impactos antropogênicos) podem estar alterando suas condições naturais de funcionamento. E para identificar padrões de heterogeneidade espaço-temporal de corpos d'água, ferramentas estatísticas associadas a análises de uso e cobertura da terra têm sido amplamente utilizadas para desenvolver estudos que subsidiem a gestão dos recursos hídricos (Grieco *et al.* 2017; Santos *et al.* 2019; Cerqueira *et al.* 2020; Prado *et al.* 2021; Martins *et al.* 2022).

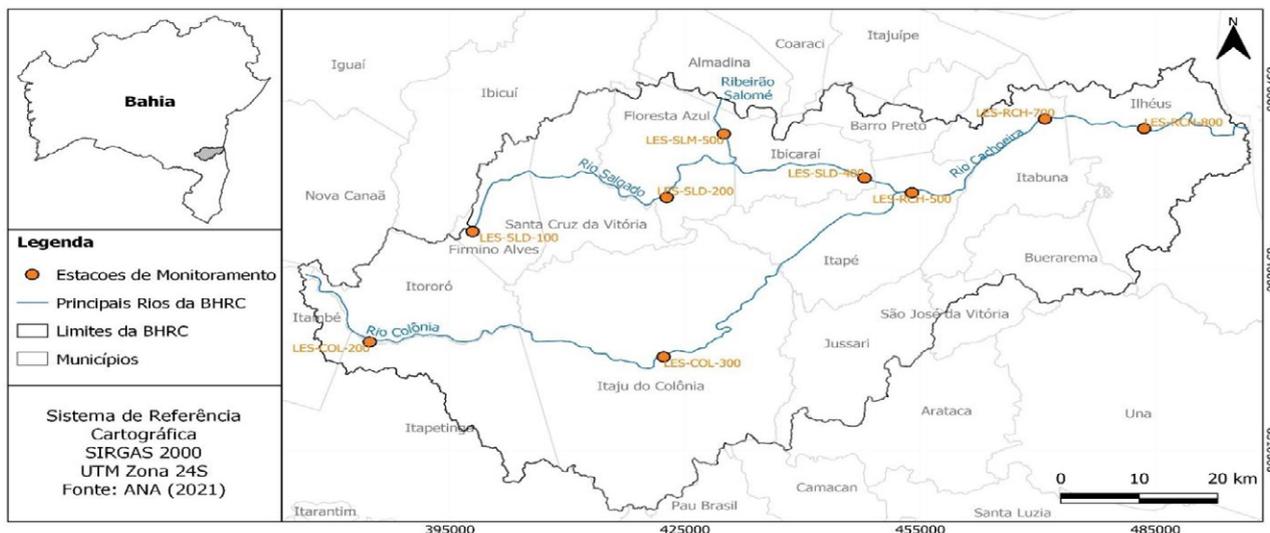
Conforme a Lei nº 9433/1997, bacia hidrográfica é a unidade de planejamento territorial, nas quais são implementadas políticas voltadas para sua gestão e proteção (Brasil 1997). A Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira (BHRC), monitorada desde 2008 pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA), é importante para o desenvolvimento socioeconômico da região, pois subsidia atividades como pesca, irrigação, dessedentação de animais e abastecimento público (Engelbrecht *et al.* 2019). No entanto, algumas fontes de poluição já foram registradas, tais como o lançamento indevido de efluentes domésticos, atividades agropecuárias, manejo inadequado do solo e a disposição inadequada de resíduos sólidos (Cerqueira *et al.* 2020; Lopes *et al.* 2021).

Nesse contexto, a variação da qualidade das águas superficiais da BHRC foi analisada a partir de um conjunto de dados de 12 anos e usada para explorar as seguintes questões: (i) qual a variação espaço-temporal da qualidade da água na bacia? (ii) quais parâmetros apresentam maiores porcentagens de violações, conforme regulamentação vigente? (iii) há parâmetros com tendências temporais? E, visto que não foram encontrados estudos anteriores com abordagem semelhante, os resultados aqui obtidos poderão servir de apoio na elaboração de futuros diagnósticos, capazes de subsidiar a fiscalização e a elaboração de ações político-administrativas em prol de uma gestão sustentável da bacia e de seus recursos.

## Material e Métodos

A BHRC está situada no Litoral Sul da Bahia, limitada pelas bacias dos rios Contas, Almada, Pardo e Una e pelo Oceano Atlântico, possuindo uma área de drenagem de aproximadamente 4830 km<sup>2</sup> (Flores-Lopes e Silva 2020). A bacia abrange 12 municípios, sendo o rio Cachoeira o seu principal afluente, nascendo na Serra de Ouricana, no município de Itororó, com o nome de rio Colônia e se formando na cidade de Itapé, na confluência do rio Colônia com o rio Salgado, atingindo extensão de 181 km numa amplitude de 720 m de altitude (Figura 1) (Engelbrecht *et al.* 2019). O clima na BHRC, segundo a classificação de Köppen (1936), varia de leste a oeste, passando de clima tropical úmido (Af), a clima de monção (Am) e clima tropical com estação seca de inverno (Aw). Apresenta precipitação média de 2400 a 900 mm anuais, sendo bem distribuída durante todo o ano, temperatura média anual de 24°C e umidade relativa do ar média em torno de 80% (Cerqueira *et al.* 2020; Teramoto e Chang 2020).

**Figura 1.** Localização geográfica da BHRC e das estações de monitoramento do INEMA, selecionadas para este estudo.



Os dados de monitoramento da BHRC realizados pelo INEMA (Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos) são disponibilizados no Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos (SEIA). Para este estudo, foram consideradas as estações de monitoramento com as maiores séries históricas, abrangendo os anos de 2008 a 2020, sendo: duas estações no Rio Colônia (LES-COL-200, LES-COL-300); três no Rio Salgado (LES-SLD-100, LES-SLD-200 e LES-SLD-400); três no Rio Cachoeira (LES-RCH-500, LES-RCH-700 e LES-RCH-800); e uma no Ribeirão Salomé (LES-SLM-500) (Figura 1). Para as análises de qualidade da água nas nove estações de monitoramento, foram selecionados 17 parâmetros físico-químicos e biológicos, sendo eles: coliformes termotolerantes, clorofila-*a*, salinidade, condutividade elétrica (CE), sólidos totais (ST), sólidos totais dissolvidos (STD), sólidos suspensos (SS), temperatura da água, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), oxigênio dissolvido (OD), pH, fósforo total (PT), nitrato, nitrogênio total (NT) e alcalinidade total.

As tendências temporais de aumento ou decréscimo de cada parâmetro foram avaliadas por meio do teste não paramétrico de Mann-Kendall com a média anual de cada variável. Previamente, os parâmetros foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, a partir do qual verificou-se que nenhum possuiu distribuição normal. O nível de significância adotado foi de 0,10. Os valores de Tau de Kendall, derivado do teste Mann-Kendall, indicam a intensidade da tendência e o sinal, indicam o sentido da tendência temporal, podendo ser de elevação (valores de Tau positivos) ou tendência de redução (valores de Tau negativos) (Mann 1945; Kendall 1975). Os resultados foram plotados em gráficos para melhor visualização das tendências dos parâmetros analisados. Para identificar os principais parâmetros indicadores da degradação ambiental, levando-se em consideração os Valores Máximos Permitidos (VMP) para os parâmetros de qualidade da água Classe II, foi realizada a Análise do Percentual de Violações conforme os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 (Tabela 1).

**Tabela 1.** Parâmetros utilizados na Análise do Percentual de Violações e seus respectivos VMP, conforme Resolução CONAMA 357/2005, para águas de classe 2.

	<b>Parâmetro</b>	<b>Valor Máximo Permitido</b>
<b>Biológicos</b>	coliformes termotolerantes	Máximo 1.000 UFC/100mL
	clorofila- <i>a</i>	Máximo 30 µg/L
<b>Físicos</b>	turbidez	Máximo 100 NTU
	STD	Máximo 500 mg/L
<b>Químicos</b>	DBO	Máximo 5 mg/L
	OD	Mínimo 5 mg/L
	pH	Entre 6-9
	P total	Máximo 0,10000 mg/L
	nitrato	Máximo 10 mg/L

A Análise de Componentes Principais (ACP) foi realizada para caracterizar as variações espaciais e expressar a relação entre variáveis abióticas e os pontos monitorados. Os dados foram padronizados com a matriz de correlação e para selecionar os eixos significativos, foi aplicado o Critério de Broken-Stick. Para esta análise, os dados foram separados por rio com a finalidade de diminuir a fonte de variabilidade espacial e dar mais evidência para as variações temporais. O uso de métodos estatísticos multivariados tem se mostrado como ótimas ferramentas para a análise exploratória para dados como estes, sendo utilizados com frequência em conjunto com análises de tendência (Trindade et al. 2017). Todas as análises estatísticas foram realizadas no Software R versão 4.1.0 (R Core Team 2021), utilizando os pacotes ggplot2 para os gráficos de tendência (Wickham H 2016) e factoextra (Kassambara e Mundt 2020) e FactoMineR para a ACP (Husson et al. 2007).

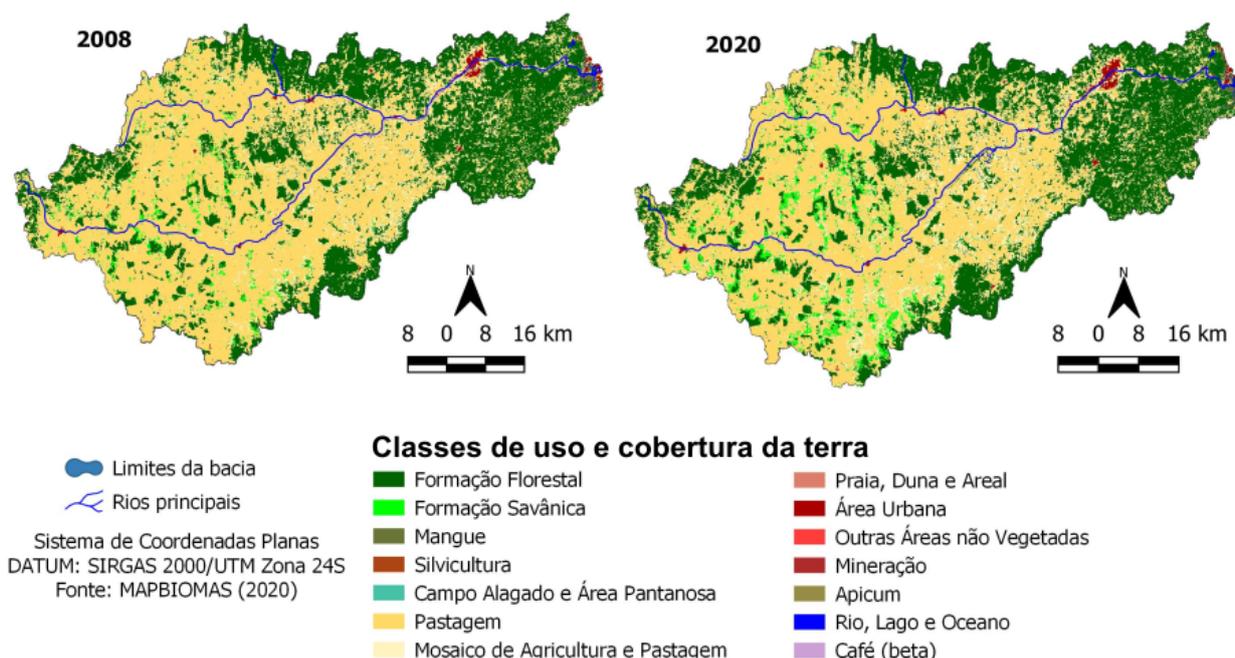
Os mapas de uso e cobertura da terra da BHRC foram elaborados a partir de imagens do sensor LANDSAT, com resolução espacial de 30 metros, geradas a partir do desenvolvimento de códigos na linguagem de programação JavaScript com aplicação do algoritmo Random Forest para classificação dos usos, disponibilizadas gratuitamente pela plataforma do MAPBIOMAS (<https://mapbiomas.org/>). Foram utilizados dados da Coleção 7.0 para as séries históricas anuais de 2008 e 2020. Os mapas foram avaliados quanto a área em km<sup>2</sup>, utilizando o software QGIS 3.16, e a comparação entre as classes de uso e cobertura da terra foi realizada com base no percentual de cada categoria, a fim de avaliar as taxas de aumento ou redução dos diferentes usos dentro do intervalo de tempo analisado.

## Resultados

A análise de uso e cobertura da terra da BHRC para os anos de 2008 e 2020 evidenciou 14 categorias de uso, sendo predominante, para os dois anos, as áreas de Pastagem, seguida da Formação Florestal, Mosaico de Usos (agricultura, pastagem, etc), Formação Savânica e Áreas Urbanizadas. Não houve mudança nas classes de uso entre os anos analisados, embora variações tenham sido observadas. As áreas de Formação Florestal, já muito reduzidas em 2008, diminuíram cerca de 1,33%; as áreas de Pastagem reduziram, aproximadamente, 9,14%, a classe Rio, Lago e Oceano apresentou uma redução de 26,58% e Campo Alagado e Área Pantanosa 21,82% (Figura 2).

Por outro lado, as classes com maior aumento ao longo dos 12 anos analisados foram a Silvicultura (5.454,19%) e a cultura do café (664,23%). Outras Áreas Não Vegetadas, Formações Savânicas e Áreas Urbanizadas também aumentaram cerca de 131,60%, 113,82% e 31,97%, respectivamente. As áreas que compreendem o Ribeirão Salomé e o Rio Cachoeira são as que apresentam maior percentual de floresta, embora o último apresente também a maior concentração de área urbana (Figura 2).

**Figura 2.** Mapa de uso e cobertura da terra da BHRC para os anos de 2008 e 2020 e suas respectivas classes, com área em km<sup>2</sup> e variação ao longo dos 12 anos.



Classes	Área (km <sup>2</sup> )		Variação (%)	Classes	Área (km <sup>2</sup> )		Variação (%)
	2008	2020			2008	2020	
Silvicultura (monocultura)	0,0038	0,2134	5454,1919	Mangue	8,6623	8,4900	-1,9886
Agricultura (Café)	0,0058	0,0440	664,2285	Rio, Lago e Oceano	13,5106	9,9200	-26,5761
Praia, Duna e Areal	0,0192	0,0061	-68,4521	Área Urbanizada	26,7033	35,2400	31,9688
Apicum	0,1239	0,0251	-79,7494	Formação Savânica	90,3837	193,2600	113,8217
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,1748	0,1367	-21,8254	Mosaico de Usos	492,1161	644,9100	31,0484
Mineração	0,3073	0,3955	28,6805	Formação Florestal	1638,5166	1616,6900	-1,3321
Outras Áreas não Vegetadas	0,3995	0,9253	131,5982	Pastagem	2583,2303	2347,0500	-9,1428

\*Valores com sinal negativo (-) indicam redução da área da classe correspondente.

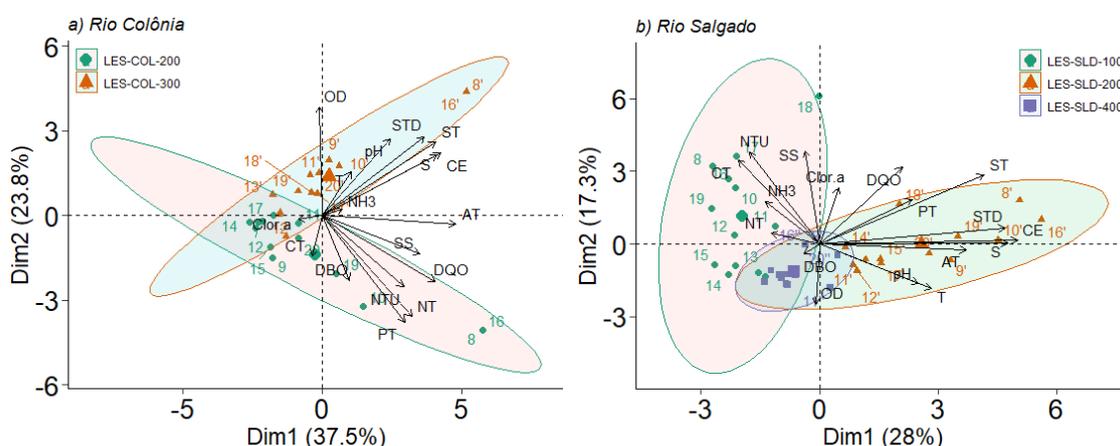
Para o Rio Colônia (Figura 3a), o eixo 1 da ACP explicou 37,1% e o eixo 2, 25,4% da variabilidade dos dados. As variáveis com maior destaque no eixo 1 foram alcalinidade total, DQO e CE, demonstrando a variação temporal. Este eixo demonstra a variação temporal com, em média, maiores valores de alcalinidade total, CE e DQO e menores de OD nos anos de 2008, 2010 e 2016; e maiores valores de OD e menores de alcalinidade total, CE e DQO nos anos de 2009, 2011, 2012, 2013, 2014 e 2015. Para o eixo 2, as variáveis com maior destaque foram OD, STD e SS, ordenando as estações monitoradas entre as regiões superior e inferior da ACP. LES-COL-200 apresentou maior poluição, com altas concentrações de nutrientes, elevada turbidez, DBO e DQO, e OD inversamente proporcional.

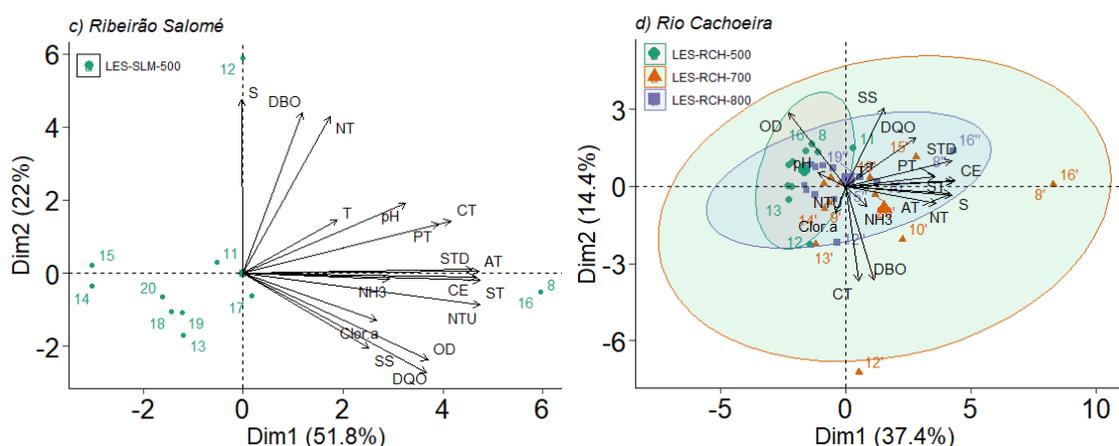
Para o Rio Salgado (Figura 3b), o eixo 1 da ACP explicou 26,7% e o eixo 2, 17,6% da variabilidade dos dados. As variáveis com maior destaque no eixo 1 foram a CE, STD, ST e alcalinidade total, ordenando as estações monitoradas. Os parâmetros da estação LES-SLD-100 apresentaram a maior carga de poluição orgânica, com altas concentrações de coliformes termotolerantes e de bases nitrogenadas, e com o OD inversamente proporcional. Para o eixo 2, as variáveis com maior destaque foram coliformes termotolerantes, turbidez, DBO e SS. Este eixo demonstra a variação temporal com, em média, maiores valores de coliformes termotolerantes, turbidez, DBO e SS e menores de OD e pH nos anos de 2008, 2016, 2017 e 2018; e maiores valores de OD e pH e menores de coliformes termotolerantes, turbidez, DBO e SS no ano de 2013.

No Ribeirão Salomé (Figura 3c), com apenas uma estação de monitoramento, o eixo 1 da ACP explicou 51,8% e o eixo 22% da variabilidade dos dados. As variáveis com maior destaque no eixo 1 foram os sólidos, alcalinidade total, CE, turbidez e coliformes termotolerantes. Para o eixo 2, as variáveis com maior destaque foram salinidade, DBO, DQO, OD e NT. A variação temporal, apresentou em média, maiores valores dos sólidos (STD, ST e SS), alcalinidade total, CE, turbidez e coliformes termotolerantes nos anos 2008 e 2016 e menores valores nos anos de 2013, 2014, 2015, 2018, 2019 e 2020.

E para o Rio Cachoeira (Figura 3d), o eixo 1 da ACP explicou 38,6% e o eixo 2, 13,7% da variabilidade dos dados. As variáveis com maior destaque no eixo 1 foram a CE, ST e alcalinidade total, principalmente, ordenando as estações monitoradas. Os dados da estação LES-RCH-700 apresentaram a maior carga de poluição, com altas concentrações de DBO, coliformes termotolerantes e clorofila-*a*, com o OD inversamente proporcional. Para o eixo 2, as variáveis com maior destaque foram OD, SS, DBO e coliformes termotolerantes. Este eixo demonstra a variação temporal com, em média, maiores valores de OD e SS e menores de DBO e coliformes termotolerantes nos anos de 2008, 2010 e 2011; e menores valores de OD e SS e maiores de DBO e coliformes termotolerantes nos anos de 2012 e 2013.

**Figura 3.** Análise de Componentes Principais para as estações de monitoramento do Rio Colônia, Rio Salgado, Ribeirão Salomé e Rio Cachoeira no período de 2008 a 2020, sendo: OD = oxigênio dissolvido; DBO = demanda bioquímica de oxigênio; DQO = demanda química de oxigênio; SS = sólidos suspensos; STD = sólidos totais dissolvidos; CE = condutividade elétrica; NTU = turbidez; PT = fósforo total; ST = sólidos totais; NT = nitrogênio total; S = salinidade; AT = alcalinidade total; T = temperatura; Clor.a = clorofila-*a*; CT = coliformes termotolerantes; NH<sub>3</sub> = nitrato; pH = potencial hidrogeniônico. 8 = 2008; 9 = 2009; 10 = 2010; 11 = 2011; 12 = 2012; 13 = 2013; 14 = 2014; 15 = 2015; 16 = 2016; 17 = 2017; 18 = 2018; 19 = 2019; 20 = 2020. As aspas que acompanham os anos diferenciam, apenas, as estações de monitoramento.





A correlação de Mann-Kendall demonstrou que duas das estações de monitoramento, LES-SLD-100 e LES-RCH-800, não apresentaram tendência de alteração dos parâmetros ao longo do período estudado. Já a estação LES-SLD-200 apresentou tendência de aumento para os parâmetros clorofila-*a*, DBO e OD. A estação LES-SLD-400 apresentou tendência de aumento para os SS os e de redução para o NT. Os SS tiveram uma tendência de elevação também nas estações LES-COL-300, LES-RCH-700 e LES-RCH-500, tendo a última apresentado ainda uma tendência de redução da CE. Em COL-300, os parâmetros temperatura e salinidade, e em LES-COL-200, os coliformes termotolerantes, que apresentaram uma tendência de redução ao longo do tempo (Tabela 2). Na Figura 4 pode-se visualizar gráficos de linha, representando as tendências temporais identificadas pelo teste de Correlação de Kendall.

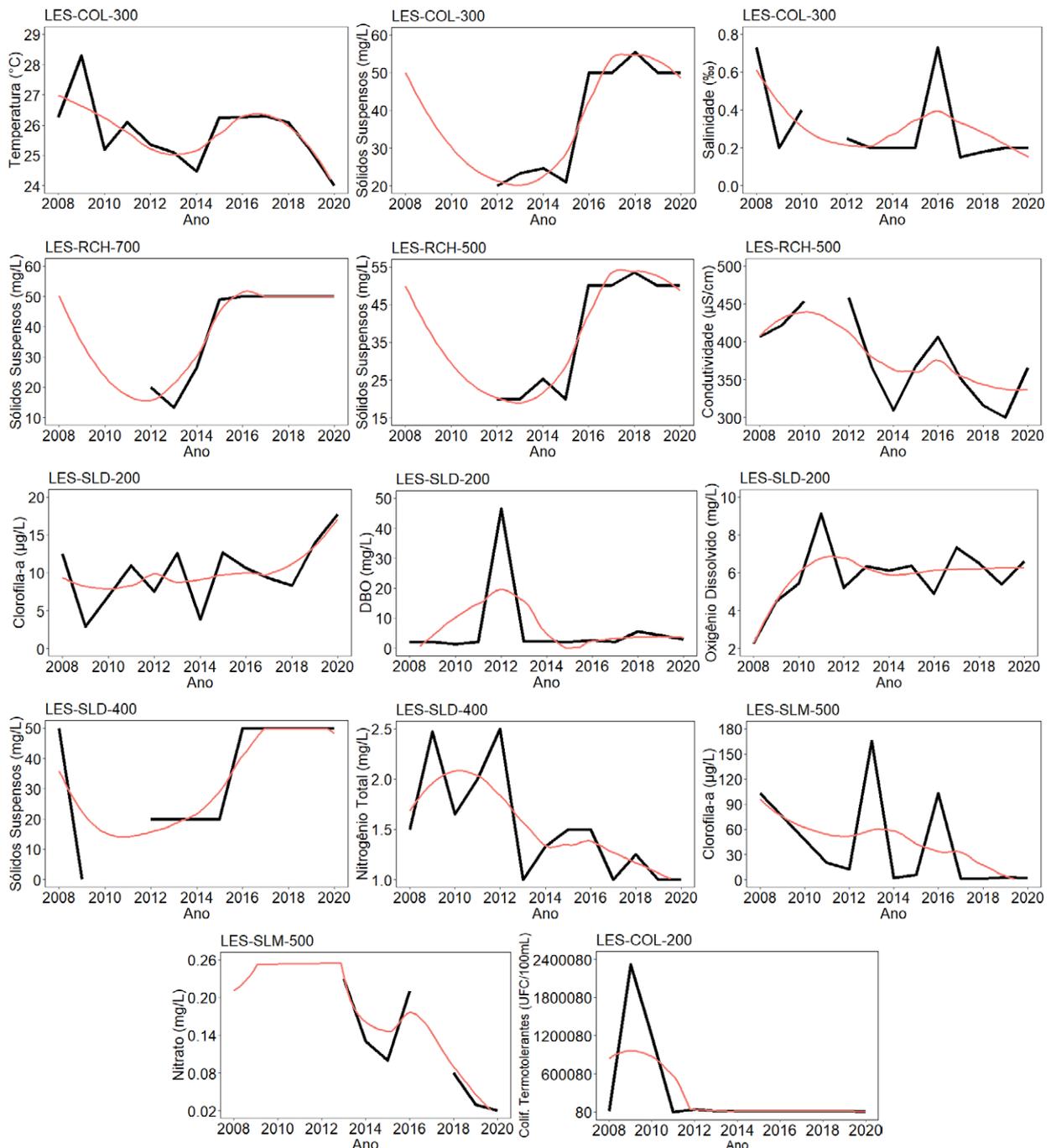
**Tabela 2.** Teste de Correlação de Mann-Kendall para os parâmetros físico-químicos e biológicos das nove estações de monitoramento analisadas.

Parâmetros	LES-SLD-100	LES-SLD-200	LES-SLD-400	LES-RCH-500	LES-RCH-700	LES-RCH-800	LES-COL-200	LES-COL-300	LES-SLM-500
	tau								
Alcalinidade Total	0,26	-0,12	-0,11	0,41	0,11	-0,14	0,02	0,05	-0,23
Colif. Termo.	-0,12	-0,03	0,04	0,32	-0,09	-0,17	-0,47**	0,06	-0,11
Clorofila- <i>a</i>	0,04	0,36*	0,19	-0,01	0,12	0,17	0,06	0,09	-0,48**
CE	-0,02	-0,30	-0,29	-0,50**	-0,17	-0,20	-0,08	-0,11	-0,14
DBO	0,10	0,21*	0,34	0,33	0,05	0,24	-0,21	0,05	-0,26
DQO	0,22	0,27	0,19	0,17	-0,14	-0,14	-0,17	0,06	0,12
Salinidade	-0,19	-0,36	-0,37	-0,25	-0,23	-0,33	0,2	-0,42*	-0,35
STD	-0,18	-0,03	-0,20	-0,11	0,23	-0,11	0,15	0,23	0,06
SS	0,30	0,47	0,56**	0,47*	0,54**	0,47	0,26	0,48*	0,21
ST	0,06	-0,21	0,00	-0,30	-0,09	-0,30	-0,03	-0,12	-0,18
Turbidez	0,17	0,10	0,17	0,12	0,01	-0,01	-0,12	0,22	-0,11
OD	0,09	0,39*	0,25	-0,12	0,32	-0,01	0,27	0,06	-0,04
pH	-0,25	-0,03	0,10	0,01	0,12	-0,04	0,06	-0,17	0,00

T	-0,04	0,26	0,14	-0,04	0,22	0,12	0,09	-0,40*	-0,22
PT	0,01	0,26	0,19	-0,06	-0,16	0,16	-0,01	-0,04	-0,21
Nitrato	-0,24	-0,61	-0,25	-0,39	-0,45	-0,09	-0,43	-0,30	-0,76
NT	-0,27	-0,03	-0,53**	-0,26	0,06	-0,05	-0,06	-0,93	-0,51

Nota: Colif. Termo. = coliformes termotolerantes. \*\* (p valor < 0,05); \* (p valor entre 0,05 e 0,1). Os resultados em azul indicam tendência de aumento; e os resultados em vermelho indicam tendência de redução do parâmetro ao longo do tempo.

Figura 4. Médias anuais dos parâmetros que apresentaram tendências temporais pelo teste de correlação de Kendall (em preto) e tendência temporal (em vermelho).



Quanto a comparação dos parâmetros com os VMP's definidos na Resolução CONAMA 357/2005 para o período estudado, a presença de Coliformes Termotolerantes apresentou violação em todos os pontos analisados, sobretudo em LES-COL-200, LES-RCH-500 e LES-RCH-700. Os valores de DBO apresentaram violações em LES-COL-200, LES-RCH-500 e LES-RCH-800. Os valores de STD estiveram acima do aceitável em três pontos; a turbidez e o pH em um ponto e o nitrato em nenhum. Já os valores de OD e PT estiveram dentro do VMP em apenas dois pontos, sendo o PT o único parâmetro a apresentar violação de 100%, compreendendo as estações de monitoramento LES-RCH-700 e LES-RCH-800 (Tabela 3).

Tabela 3. Porcentagem de Violações dos parâmetros para cada estação de monitoramento instaladas na BHRC.

Estações de Monitoramento	Colif. termo.	DBO	STD	Turbidez	OD	pH	PT	Nitrato
LES-COL-200	92,31%	69,23%	0%	0%	76,92%	0%	0%	0%
LES-COL-300	76,92%	23,08%	15,38%	0%	38,46%	0%	92,31%	0%
LES-RCH-500	92,31%	0%	0%	0%	0%	0%	84,62%	0%
LES-RCH-700	92,31%	0%	15,38%	0%	76,92%	0%	100%	0%
LES-RCH-800	53,85%	15,38%	0%	0%	15,38%	0%	100%	0%
LES-SLD-100	76,92%	0%	0%	46,15%	53,85%	7,69%	53,85%	0%
LES-SLD-200	30,77%	15,38%	91,67%	0%	23,08%	0%	84,62%	0%
LES-SLD-400	46,15%	7,69%	0%	0%	15,38%	0%	84,62%	0%
LES-SLM-500	38,46%	30,77%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Nota: Colif. termo. = coliformes termotolerantes.

## Discussão

Segundo o INEMA, as águas da BHRC enquadram-se na Classe 2, da qual, conforme a Resolução CONAMA 357/2005, pode ser destinada ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer - com os quais o público possa vir a ter contato direto; à aquicultura e atividade de pesca. No entanto, os resultados aqui encontrados indicam o comprometimento deste recurso tanto para a balneabilidade quanto para o consumo humano. Outros autores como Pessoa et al. (2018) e Póvoas et al. (2020), avaliando a qualidade da água na BHRC, também constataram que a classificação atual se encontra desatualizada, uma vez que parâmetros como coliformes termotolerantes, OD, DBO e PT apresentam, de forma recorrente, valores superiores ao determinado pela Resolução.

A clorofila-*a*, que apresentou tendência de aumento na estação LES-SLD-200, é frequentemente utilizada como indicadora da biomassa fitoplanctônica devido ao seu enriquecimento por nutrientes (e.g. nitrogênio e fósforo). Este resultado reforça o valor de PT acima do VMP para o trecho. O fósforo aparece na água por fontes naturais (e.g. dissolução das rochas, compostos do solo, decomposição da matéria orgânica), porém, fontes antrópicas (e.g. lançamento de efluentes domésticos, industriais e águas de drenagem agropastoris e urbanas) podem desequilibrar o seu ciclo (Wang et al. 2023), tal

como evidenciado pelo uso e cobertura da terra na BHRC. Estudos como o desenvolvido Cadoná et al (2018) mostram que nutrientes em excesso interferem no consumo direto ou mesmo recreativo da água. Isso porque, uma vez que sua entrada ocorre, geralmente, de forma irregular, ocasiona ondas de crescimento fitoplanctônico, seguidas por períodos de consumo excessivo, diminuindo a disponibilidade do OD, levando a um aumento na taxa de mortalidade de peixes e outros organismos aeróbicos.

De Paula et al. (2012) identificaram elevados valores de fósforo e nitrogênio por toda a extensão da BHRC. Pessoa et al. (2018) e Cerqueira et al. (2020) associaram a alta concentração de PT na BHRC ao descarte de efluentes não tratados, elucidando que embora haja uma dominância de áreas de pastagem, como visto na análise de uso e cobertura da terra da bacia no intervalo de tempo estudado, sobretudo na área de influência da estação LES-SLD-200, a densidade populacional das áreas urbanas fornece um maior enriquecimento do fósforo. Lopes et al. (2021) demonstraram ainda que a BHRC apresenta alto grau de antropização e degradação associada ao aumento de nutrientes quando comparada com bacias vizinhas, Rio Una e Rio Almada, as quais apresentam porcentagens significativas de sistemas agroflorestais cacau-cabruca e remanescentes florestais, respectivamente. No Extremo Sul da Bahia, além de efluentes não tratados, atividades agrícolas também foram consideradas causas para o aumento do fósforo nos corpos d'água (Bifano et al. 2020).

A estação LES-SLD-200 demonstrou também uma tendência inesperada de elevação de OD, o que pode ser explicado pelo aporte de oxigênio no início das florações fitoplanctônicas, já que neste ponto do rio o curso d'água não apresenta regiões turbulentas que possam promover a aeração e, conseqüentemente, a entrada de oxigênio. Bem como a tendência de elevação da DBO para este mesmo ponto, pois quanto maior a DBO menor será a quantidade de OD no meio. Lúcio (2010) encontrou, em um trecho mais abaixo na bacia, uma relação inversa do OD com a DBO, assim como Pessoa et al. (2018), que obteve resultado semelhante para o Rio de Contas em Jequié-BA e para o Rio Principal em Feira de Santana-BA. Isso ocorre porque a DBO funciona como um indicador que determina indiretamente a concentração de matéria orgânica biodegradável na água. Poersch et al. (2019), em um estudo no Rio São Francisco Verdadeiro (Paraná), identificou valores de clorofila-*a* também inversamente proporcionais aos da DBO, sugerindo que ambientes com elevadas concentrações de DBO podem vir a limitar o estabelecimento da nova comunidade fitoplanctônica, o que não ocorreu na estação LES-SLD-200.

No entanto, em outro ponto de amostragem do Rio Salgado, no LES-SLD-400, o NT apresentou uma tendência de redução. Apesar desta estação de amostragem estar próxima a habitações, o rio percorre um bom trecho longe de áreas urbanas, sendo rodeado por fragmentos florestais, até chegar neste ponto. A presença de vegetação próxima ao leito do rio contribui para um bom funcionamento das bacias hidrográficas, ajudando na retenção de sedimentos evitando o assoreamento nas margens dos rios e servindo de abrigo e fonte de alimentação para a fauna terrestre e aquática (Lopes et al. 2021). Dessa forma, a preservação e a restauração da mata ciliar favorecem também o crescimento e a manutenção de espécies nativas, bem como as trocas gênicas (Teles et al 2022).

Na estação LES-SLM-500 no ribeirão Salomé, a clorofila-*a* apresentou tendência de redução. O que pode ser corroborado pela ausência de violação do VMP para o OD e para o PT, apesar de poder ser encontrado nesta área diversas atividades antrópicas que influenciam diretamente nestes parâmetros. Podendo-se assim inferir que, neste trecho o ribeirão Salomé apresenta uma boa capacidade de autodepuração, principalmente pela presença de mata ciliar em toda a sua extensão, de forma que

estes impactos não interferem de forma significativa no mesmo. Sobretudo, ao comparar esta estação com os outros pontos estudados, pois apresentou o melhor resultado quanto ao percentual de violação dos parâmetros e com uma maior representatividade de formação florestal e menor de área urbana. Portanto, recomenda-se que os possíveis impactos na região não venham a ultrapassar as condições já atingidas, a fim de não superar a capacidade suporte, de forma a promover a deterioração do ambiente.

Em contrapartida, a estação LES-COL-200 do Rio Colônia no município de Itororó com quase 100% de contaminação por coliformes termotolerantes, indica uma qualidade da água imprópria para os fins enquadrados na Classe 2, apresentando risco à saúde pública, mesmo apresentando uma tendência de redução ao longo do tempo. Ademais, este parâmetro foi o que apresentou o maior percentual de violações em todos os pontos de monitoramento. Póvoas et al. (2020) encontrou resultados semelhantes para trechos do rio entre Itabuna e Ilhéus. Outros estudos realizados no Estado da Bahia que também apresentam altas concentrações de coliformes foram desenvolvidos por Cunha et al. (2010) no Rio Itanhém (Teixeira de Freitas), por Moraes et al. (2012) (Salvador), Pessoa et al. (2018) nos rios Jequiracá (Mutuípe), Contas (Jequié e Ubaitaba), Principal (Feira de Santana), Almas e Rio Preto (Wenceslau Guimarães), dentre outros. Nesses estudos, as altas concentrações de coliformes foram todas atribuídas ao despejo irregular de efluente nos rios.

Para o Rio Cachoeira, trecho da bacia com maior percentual de área urbana, este resultado também pode ser atribuído a frequente carga de esgoto lançada sem o devido tratamento. Segundo a Agência Nacional de Águas (2019), apenas quatro dos municípios dentro da BHRC possuem serviços de coleta e tratamento de efluentes, embora em nenhum desses o índice de atendimento com coleta e tratamento alcance 100%. Os municípios que apresentam os maiores índices são: Itajú do Colônia (80%), Ilhéus (66%) e Itabuna (12%). Há ainda os municípios que realizam apenas o procedimento de coleta, como em Itororó, e outros que não realizam nenhuma das etapas. Lopes et al. (2019) relataram que existe uma relação direta entre as culturas agrícolas e a perda da qualidade da água e que existe uma correlação entre a área urbana e a degradação da qualidade da água.

A estação LES-RCH-700, que se encontra na área urbana de Itabuna, apresenta presença de despejo de esgotamento sanitário de forma indevida em diversos pontos, além de apresentar forte odor de poluição. No entanto, os valores temporais de coliformes termotolerantes, outro parâmetro indicativo de poluição, não apresentaram tendência. O que pode sugerir que este ponto já vem sofrendo impactos antrópicos desta natureza há muitos anos sem nenhuma intervenção. Dessa forma, torna-se necessário uma análise com uma série maior de dados, utilizando outros parâmetros de confronto, uma vez que, autores como Lúcio (2010) identificou altas concentrações de nitrogênio e fósforo nestes mesmos trechos do rio, justamente pelo despejo de esgotos domésticos.

Em estudo semelhante, analisando a tendência de parâmetros da qualidade da água de uma sub-bacia em Minas Gerais, Trindade et al (2017) atribuíram a falta de saneamento como causa para a tendência de elevação expressiva dos Coliformes nos pontos analisados. Já Silva et al (2022) avaliando a qualidade das águas captadas de uma represa, chegaram à conclusão que o crescimento populacional e as mudanças do uso do solo foram os principais fatores de influência sobre os parâmetros de qualidade das águas. A área urbana de Itabuna não apresenta mata ciliar representativa, embora sua presença pudesse favorecer a diminuição da concentração de coliformes termotolerantes nesse trecho do rio, como sugerido por De Freitas Andrade e Teixeira (2020), ao verificar redução significativa desses contaminantes após instituição de uma Área de Proteção Ambiental (APA) na área de influência de um corpo hídrico.

Em Itapé, na estação de amostragem LES-RCH-500, a condutividade elétrica apresentou uma tendência de redução. Além disso, os SS também apresentaram tendência (elevação) neste mesmo trecho do rio. Sampaio *et al.* (2007) em seu estudo com águas residuárias, identificou baixa relação entre a CE e os SS, sugerindo que esse comportamento se deve pelas partículas em suspensão apresentarem tamanhos superiores a 1  $\mu\text{m}$ , podendo possivelmente dificultar a leitura da CE. Os SS apresentam tendência de aumento também nos pontos LES-RCH-800, LES-SLD-400 e LES-COL-300. Segundo Estevam *et al.* (2019), os SS e a turbidez apresentam uma forte correlação positiva, de forma que, para baixos valores de turbidez, baixos também serão os valores dos SS. No entanto, foi verificado que para todas as estações de monitoramento onde houve tendência de aumento dos SS, os valores de turbidez estavam dentro do VMP. Os SS são um problema para águas utilizadas no abastecimento público, pois a sua presença implica diretamente na qualidade da mesma, visto que apresenta grande capacidade de adsorção de contaminantes, como aqueles oriundos de esgoto não tratado (Montagnera *et al.* 2017). Assim, em quantidade excessiva, contribui negativamente nos parâmetros de cor, turbidez e microbiológicos. E o resultado aqui encontrado pode também estar relacionado a ausência de mata ciliar, como também evidenciado por Meneghelli (2016).

A silvicultura, que apresentou um aumento expressivo na bacia ao longo dos 12 anos, pode prejudicar o funcionamento ecossistêmico de rios e riachos. Isso ocorre devido a interface entre os ambientes aquático-terrestres e a forte dependência da matéria orgânica derivada da terra, altamente sensíveis às mudanças na cobertura vegetal (Ferreira *et al.* 2019). Os impactos da silvicultura incluem redução da largura canal, perda da qualidade da água para abastecimento e lazer humano, consumo animal, irrigação de cultura agrícolas e pesca (Guerino *et al.* 2022), por isso a importância da preservação da vegetal nativa.

Com a pecuária ocupando a maior parte da paisagem da BHRC em 2020, a bacia apresenta pouco ou nenhum revestimento florestal ou vegetação natural dentro de seus limites, condições estas que impactam negativamente na qualidade da água. Isso se dá, dentre outros fatores, porque estas práticas contribuem para o aumento de sólidos em suspensão no leito do rio, propiciando processos erosivos, e, conseqüentemente, o assoreamento e a poluição do mesmo. A situação se torna ainda mais preocupante quando somado à disponibilidade hídrica, reduzida de 2008 para 2020, e a taxa de reposição por recarga da bacia também limitada, indicando que o volume de água disponível para captação sustentável, superficial e subterrânea, encontra-se ameaçada (Engelbrecht *et al.* 2019).

## Conclusão

A Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira apresentou maior predominância de áreas de Pastagem nos anos de 2008 e 2020, com uma redução de 9,14% entre 2008 e 2020. Apresentou também redução das áreas de Formação Florestal (1,33%) e de Rios, Lagos e Oceanos (26,58%) e aumento de Outras Áreas Não Vegetadas, Formação Savânica e Mosaico de Usos, somando 276,47%. A classe Área Urbana apresentou maior concentração na cidade de Itabuna, trecho que compreende o rio Cachoeira. As áreas urbanas corresponderam ainda a aumento de 31,97% quando comparadas com 2020. Os parâmetros com maior variabilidade temporal na bacia foram: coliformes termotolerantes, sólidos (STD, ST e SS), DBO e CE.

Todos os pontos de amostragem apresentaram parâmetros acima do VMP, constituindo-se um risco à saúde pública em caso de contato direto com a água sem um tratamento prévio, principalmente

na estação LES-RCH-700, no Rio Cachoeira. Os parâmetros com maiores percentuais de violações nas estações monitoradas foram PT e coliformes termotolerantes. Já o SS foi o parâmetro com maior número de tendências, sendo estas de elevação, ao longo dos 12 anos analisados, indicando perda de mata ciliar ao longo tempo. E caso essa tendência continue, a perda da biodiversidade na BHRC será alavancada, ameaçando até mesmo espécies endêmicas, principalmente sem um manejo adequado da bacia. Outros parâmetros com tendência foram clorofila-*a*, DBO e OD, coliformes termotolerantes, salinidade, T, NT e nitrato em diferentes estações de monitoramento.

Foi notável o efeito de atividades antrópicas impactando negativamente a qualidade da água. Tais impactos foram relacionados a atividades agrícolas, industriais, pastejo, a extensão de áreas urbanas, perda de áreas verdes e despejo irregular de efluentes. Dessa forma, torna-se necessário ações político-administrativas visando a implementação de instrumentos de fiscalização e de medidas mitigadoras da poluição, tais como: a implantação de sistemas de coleta e tratamento para 100% do esgoto gerado; zoneamento ambiental, com o incentivo de boas práticas de manejo na agropecuária; controle de áreas de preservação permanente; e o aumento de áreas verdes, como parques e jardins públicos nas áreas urbanas.

Ressalta-se ainda a importância de informações atualizadas pelos órgãos competentes quanto a classificação da água, conforme critérios estabelecidos na resolução CONAMA 357/2005. Uma vez que os resultados aqui obtidos mostraram que as águas da BHRC não se enquadram na Classe 2, tal como é classificada. E com isso, que sejam criadas medidas de fomento à difusão do conhecimento de dados da qualidade da água da bacia à sociedade civil, a qual se beneficia direta ou indiretamente dos serviços ecossistêmicos gerados por ela.

## Agradecimentos

Nós agradecemos: ao INEMA pelo fornecimento dos dados oriundos da plataforma SEIA. Ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental e da Sustentabilidade da UFSB, A professora Dr. Rita de Cascia Avelino Suassuna e ao professor Dr. Vinícius de Amorim Silva pela revisão. NRS agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade.

**Participação dos autores:** JRN - Curadoria de dados; Análise formal; Investigação; Metodologia; Recursos; Programas; Validação; Visualização; Escrita - rascunho original; Redação - revisão e edição; NRS - Conceituação; Análise formal; Investigação; Metodologia; Administração de projetos; Recursos; Programas; Supervisão; Validação; Visualização; Redação - revisão e edição.

**Aprovação ética ou licenças de pesquisa:** para o presente estudo não foi preciso aprovação e consentimento éticos.

**Disponibilidade dos dados:** o manuscrito teve como base dados disponibilizados pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - INEMA, no portal do Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos – SEIA (<http://monitoramento.seia.ba.gov.br/login.xhtml>)

**Fomento:** esta pesquisa não recebeu nenhum subsídio específico de agências de financiamento dos setores público, comercial ou sem fins lucrativos.

**Conflito de Interesses:** Esta pesquisa não apresenta conflito de interesses.

## Referências

- ANA – Agência Nacional de Água. 2017. Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas. Brasília: ANA. Disponível em: <<http://snirh.gov.br/usos-da-agua/>>. Acesso em: 04 jan. 2022.
- ANA – Agência Nacional de Água. 2019. Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil. Brasília: ANA. Disponível em: <<http://snirh.gov.br/usos-da-agua/>>. Acesso em: 04 jan. 2022.
- Ata da Audiência Pública da Comissão de Meio Ambiente Seca e Recursos Hídricos da Assembleia Legislativa da Bahia - ALBA: Revitalização do Rio Cachoeira. Ilhéus-BA, 08 de out. de 2021.
- Bahia. 2017. Plano de Revitalização do Rio Cachoeira. Bahia: Secretaria do Meio Ambiente (SEMA). Disponível em: <[http://www.meioambiente.ba.gov.br/arquivos/File/Projeto\\_Cachoeira/RF\\_Plano\\_Estrategico\\_de\\_Revitalizacao\\_da\\_Bacia\\_do\\_Rio\\_Cachoeira1.pdf](http://www.meioambiente.ba.gov.br/arquivos/File/Projeto_Cachoeira/RF_Plano_Estrategico_de_Revitalizacao_da_Bacia_do_Rio_Cachoeira1.pdf)>. Acesso em: 04 jan. 2022.
- Barbosa EC, de Eça MAC, Portela FS, dos Santos TA, Silva RM, Amorim, AT. 2022. Análise físico-química e microbiológica da água de poços artesianos em condomínios no município de Vitória da Conquista-BA. Research, Society and Development 11(7): e47411730380-e47411730380. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i7.30380>
- Bifano RBA, Marcolin CR, Crepaldi MOS, Quinelato RV, Okumura ATR, da Silva AG, de Ferreira Bandeira MLS. 2020. Avaliação da Qualidade da Água em Microbacias Hidrográficas do Extremo Sul da Bahia, Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física 13(05):2447-2461.
- Brasil. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento 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: 1997.
- Brasil. Ministério da Saúde. Portaria n.º 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília-DF: 2011.
- Cadoná EA, Lourenzi CR, de Souza EL, Rampinelli EC, dos Santos ML, Sete PB, Soares CRFS. 2018. Contaminação por nitrogênio e fósforo de águas destinadas ao consumo humano em região com intensa atividade suinícola. Geosciences= Geociências, 37(4):883-891. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v37i4.12274>
- Calasans NAR, Levy MCT, Moreau MS. 2002. Interrelações entre clima e vazão. In: Schiavetti A; Camargo AF. Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações. Ilhéus-BA, Editus, 293p
- Cerqueira TC, Mendonça RL, Gomes RL, de Jesus RM, da Silva DML. 2020. Effects of urbanization on water quality in a watershed in northeastern Brazil. Environmental Monitoring and Assessment 192(65):1-17. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-8020-0>
- Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. 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: MMA.
- Cunha AH, Tartler N, Santos RB, Fortuna JL. 2010. Análise microbiológica da água do rio Itanhém em Teixeira de Freitas-BA. Revista Biociências 16(2): 86-93.
- da Silva TA, Duarte ML, de Paula Coelho CM, Guandique MEG, Costa HS. 2022. Uso da terra e sua influência na qualidade da água em uma represa de abastecimento de água no município de Sorocaba-SP. Revista do Departamento de Geografia 42:e188984-e188984. DOI: <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2022.188984>
- de Freitas Andrade RM, Teixeira CA. 2020. Análise temporal da qualidade da água e informações geográficas na bacia hidrográfica do Rio Passaúna. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais 11(6): 315-331. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.006.0026>

De Paula FCF, Silva DML, Souza CM. 2012. Tipologias Hidroquímicas das Bacias Hidrográficas do Leste da Bahia. *Revista Virtual de Química* 4:365- 373.

Engelbrecht BZ, Gonçalves RD, Teramoto EH, Chang HK. 2019. Disponibilidade hídrica e balanço hídrico da Bacia do Rio Cachoeira na região de Itabuna/BA. *Geosciences = Geociências* 38(3):731-740. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v38i3.13806>

Estevam M, da Silva AW, da Silva FF. 2019. Análise física da água de entrada no sistema agroindustrial de curtume em Maringá-Paraná. *Ciência e Natura* e16-e16. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X36610>

Fábio FL, Silva Augusta M. 2020. Fish as indicators of environmental quality in a stretch of the Cachoeira river, Bahia, Brazil. *Intern. J. Zool. Invest*, 6(2):272-288. DOI: <https://doi.org/10.33745/ijzi.2020.v06i02.006>

Ferreira V, Boyero L, Calvo C, Correa F, Figueroa R, Gonçalves JF, Goyenola G, Graça MAS, Hepp LU, Kariuki S, López-Rodríguez A, Mazzeo N, M'Erimba C, Silvia M, Peil A, Pozo J, Rezende R, Teixeira-de-Mello F. 2019. A global assessment of the effects of eucalyptus plantations on stream ecosystem functioning. *Ecosystems*, 22, 629-642. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10021-018-0292-7>

Guerino RMG, Morais IL de, Santos AB da S, Campos RM. 2022. Expansion and socio-environmental impacts of the culture of *Eucalyptus* spp. (Myrtaceae) in Brazil: a literature panorama. *Research, Society and Development*, 11(3), e48811326751, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26751>

Grieco AA, Fregonesi BM, Tonani KADA, Silva T V, Celere BS, Trevilato TMB, ... Alves RIDS. 2017. Diagnóstico espacial e temporal de condições físico-químicas e microbiológicas do Córrego do Tanquinho, Ribeirão Preto, SP, Brasil. *Revista Ambiente & Água* 12:282-298. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1837>

Husson, F. et al. 2020. FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining. Disponível em: < <https://cran.r-project.org/web/packages/FactoMineR/index.html>>. Acesso em: 04 jan. 2022.

Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA. 2021. Manual do Usuário - Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos. Salvador: INEMA.

Kassambara A, Mundt F. 2020. Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses. R Package Version 1.0.7. Disponível em: < <https://CRAN.Rproject.org/package=factoextra>>. Acesso em: 04 jan. 2022.

Kendall MG. 1975. Rank Correlation Measures. Ed. London: Charles Griffin.

Kilic Z. 2021. Water Pollution: Causes, Negative Effects and Prevention Methods. *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 3(2):129-132. DOI: <https://doi.org/10.47769/izufbed.862679>

Lopes OF, de Jesus RM, de Sousa LF, Rocha FA, da Silva DML, Amorim AF, Silva VHC, Navoni, JA. 2021. Comparison between water quality indices in watersheds of the Southern Bahia (Brazil) with different land use. *Environmental Science and Pollution Research* 28:12944-12959. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10941-7>

Lopes OF, Rocha FA, de Sousa LF, da Silva DML, Amorim AF, Gomes RL, Silva-Junior ALS, de Jesus RM. 2019. Influence of land use on trophic state indexes in northeast Brazilian river basins. *Environmental monitoring and assessment* 191(77):1-14. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7188-7>

Lúcio MZTPQL. 2010. Biogeoquímica do rio Cachoeira (Bahia, Brasil). Ilhéus - BA: UESC.

Mann HB. 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica* 13:245-259.

Marcolin MOSC, Quinelato RV, Okumura ATR, da Silva AG, de Ferreira Bandeira MLS. 2020. Avaliação da Qualidade da Água em Microbacias Hidrográficas do Extremo Sul da Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 13(05):24447-2461. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.5.p2447-2461>

Martins MV, Kapusta SC. 2022. Variação espaço-temporal e nictemeral dos parâmetros limnológicos no Delta do Jacuí, Lago Guaíba, RS, Brasil. *Ciencia e natura* 44:e31. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X63821>

- Meneghelli C, Monaco PAVL, Correa JM, Birchler R, Loss JB. 2016. Qualidade da água do rio Santa Maria do Doces para fins de irrigação. *Enciclopédia Biosfera* 13(24). DOI: [https://doi.org/10.18677/EnciBio\\_2016B\\_083](https://doi.org/10.18677/EnciBio_2016B_083)
- Metzger JP. 2003. Como restaurar a conectividade de paisagens fragmentadas? In: Kageyama PY, Oliveira RE, Moraes LFD, Engel VL, Gandara FB. Ed. *Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais* Botucatu: FEPAF, 9-76.
- Montagner CC, Vidal C, Acayaba RD. 2017. Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. *Química Nova* 40: 1094-1110. DOI: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170091>
- Moraes LRS, Álvares MLP, Santos FP, Costa N. 2012. Saneamento e Qualidade das Águas dos Rios em Salvador, 2007- 2009. *Revista Interdisciplinar de Gestão Social* 1(1):47-60. DOI: <http://dx.doi.org/10.9771/23172428rigs.v1i1.12067>
- Paula FCF, da Silva DML, Souza CM. 2012. Tipologias hidroquímicas das bacias hidrográficas do Leste da Bahia. *Revista Virtual de Química* 4(4): 365-373. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20120028>
- Pessoa JO, Orrico SRM, Lordêlo MS. 2018. Qualidade da água de rios em cidades do Estado da Bahia. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* 23(4):687-696. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018166513>
- Poersch ACC, Sebastien NY, Taborda J, Neto JC, Caovilla MM, da Fonseca CAA Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e possíveis fatores de influência nos processos em águas superficiais do Rio São Francisco Verdadeiro–Paraná. 2019. *Acta Iguazu* 8(5):45-51. DOI: <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v8i5.23790>
- Póvoas LV, de Oliveira Leão J, da Silva JMS, Mariano APM, de Carvalho LR, Campos Filho PC. 2020. Avaliação físicoquímica e microbiológica da qualidade da água do rio Cachoeira, Bahia, BR. *Brazilian Journal of Development* 6(8):61258-61269. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-516>
- Prado JRS, de Figueiredo DM, de Carvalho Dores EFG, Hongyu K, Delfino AJG, Rodrigues, DVB. 2021. Variação da qualidade da água em relação à sazonalidade e ao uso da terra no sul da região amazônica. *Caderno Prudentino de Geografia* 2(43):159-184.
- R Core Team. 2021. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- Sampaio SC, Silvestro MG, Frigo EP, Borges CM. 2007. Relação entre série de sólidos e condutividade elétrica em diferentes águas residuárias. *IRRIGA [S. l.]* 12(4):569–574. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2007v12n4p569-574>
- Santos GD, Santos JLO, Leite OD. 2019. Variação espaço-temporal da qualidade da água nos canais de irrigação do Projeto Formoso em Bom Jesus da Lapa – Bahia. *Revista de Gestão de Água da América Latina* 16:e3. DOI:<https://dx.doi.org/10.21168/rega.v16e3>
- Schiavetti A, Schilling AC Oliveira HT. 2005. Caracterização socioambiental da bacia hidrográfica do Rio Cachoeira, sul da Bahia, Brasil. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. *Conceito de bacias hidrográficas: teorias e aplicações*. Ed. Ilhéus-BA: Editus, p.289.
- Teles RR, Santos JC, Pinheiro ECNM. 2022. A importância da preservação de matas ciliares: The importance of preserving riparian forests. *Brazilian Journal of Development* 8(11):75348-75360. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n11-309>
- Teramoto EH, Chang HK. 2020. Avaliação de processos naturais de salinização de águas subterrâneas na porção leste da bacia do rio Cachoeira, Bahia. *Revista do Instituto Geológico (Descontinuada)* 41(2):15-32. DOI: <https://doi.org/10.33958/revig.v41i2.680>
- Thomaz D, Centeno LN, Tolentino Ceconello, S. 2023. Avaliação espaço-temporal da qualidade da água do Rio Comandaí, através do Índice de Qualidade da Água. *Revista Thema*, 22(1):79–103, 2023. DOI: <https://doi.org/10.15536/thema.V22.2023.79-103.3068>

Trindade ALC, Almeida KCDB, Barbosa PE, Oliveira SMAC. 2017. Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. Engenharia Sanitária e Ambiental 22(1)13-24. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016131457>

Veras ACM. 2020. Análise da contaminação por metais pesados na água e em sedimentos na bacia hidrográfica do rio Doce / Ana Carla Martins Veras. Ed. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE.

Wang T, Sun Y, Wang T, Wang Z, Hu S, Gao S. 2023. Dynamic spatiotemporal change of net anthropogenic phosphorus inputs and its response of water quality in the Liao river basin. Chemosphere, 331, 138757. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138757>



Esta obra está licenciada com uma *Licença Creative Commons Atribuição Não-Comercial 4.0 Internacional*.