

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **ANÁLISE HIDROSEDIMENTOMÉTRICA E DE QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA DO RIO MANGARAÍ, ES**

*Mônica de Souza Mendes<sup>1</sup>; Lívia Luchi Rabello<sup>2</sup>; Antônio Sérgio Ferreira Mendonça<sup>1</sup>; Daniel Rigo<sup>1</sup>; Lorena Frasson Loureiro<sup>1</sup>; Bianca Silva Queiroz<sup>1</sup>; Yasmin da Silva Alves<sup>1</sup>; Gabriele Pedro Tottola<sup>1</sup> & Esther Amorim Coutinho dos Santos<sup>1</sup>*

**Abstract:** The present study aims to evaluate water quality and sediment yield in the Mangaraí River basin, where interventions, such as paving and drainage of rural roads, were carried out as part of the *Água e Paisagem* Program, funded by the World Bank and coordinated by Cesan. Land use and land cover maps were evaluated for the years 2019 (prior to the interventions) and 2024 (after the interventions). In both periods, the main land uses were related to agriculture, livestock, and forested areas. Daily monitoring included rainfall, streamflow, SSC, and DSC. Monthly field campaigns were conducted for hydro-sedimentological and water quality assessments. WQIs, discharges, and sediment yields were determined. Rainfall events led to a significant deterioration in water quality, with several parameters exceeding the respective legal thresholds. On an annual scale, the results indicate a substantial contribution of the Mangaraí River to the sediment load in the Santa Maria da Vitória River channel. Among the monitored sites, the point located in the Cachoeira da Fumaça River basin (P6) exhibited the highest sediment yield, expressed in t/(day.ha). The implementation of management actions in agricultural and livestock production areas is essential to reduce sediment transport and improve water quality in the Mangaraí River basin and in the downstream sections of the Santa Maria da Vitória River, where Cesan operates the main water intake for supplying the Vitória Metropolitan Region.

**Resumo:** O presente estudo tem como objetivo avaliar a qualidade da água e a produção de sedimentos na bacia do Rio Mangaraí, onde foram feitas intervenções, como pavimentação e drenagem de estradas vicinais, no âmbito do Programa Água e Paisagem, financiado pelo Banco Mundial e coordenado pela Cesan. Foram avaliados mapas de uso e ocupação do solo para os anos 2019 (antes do início de intervenções) e 2024 (após intervenções). Os principais usos do solo, nas duas ocasiões, estavam relacionados com agropecuária e florestas. Foram monitorados diariamente dados pluviométricos, fluviométricos, CSS e CSD. Mensalmente foram feitas campanhas hidrossedimentométricas e de qualidade de água. Foram determinados Índices de Qualidade de Água (IQAs), descargas e produções de sedimentos. Eventos de chuva resultaram em piora significativa na qualidade da água, com diversos parâmetros não conformes com respectivos limites legais. Em termos de produção anual, os resultados indicam a forte contribuição do Rio Mangaraí no aporte de sedimentos à calha do Rio Santa Maria da Vitória. Entre os pontos monitorados, o ponto na bacia do Rio Cachoeira da Fumaça (P6) apresentou a maior produção de sedimentos em t/(d.ha). A implementação de ações nas áreas de produção agrícola e pecuária é fundamental para reduzir o transporte de sedimentos e melhorar a qualidade da água na bacia do Rio Mangaraí e no trecho do Rio Santa Maria da Vitória a jusante da afluência do Mangaraí, onde se situa a captação de água para abastecimento da RMGV pela Cesan.

**Palavras-Chave** – monitoramento hidrossedimentométrico, uso e ocupação do solo, qualidade da água.

1) Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Ambiental. Av. Fernando Ferrari, 514, souzamonicamc@gmail.com.

2) Fundação Espírito Santense de Tecnologia. Av. Fernando Ferrari, 1080, livia.luchi.rabello@gmail.com.

## INTRODUÇÃO

A presença de estradas vicinais aumenta a produção de sedimentos em bacias hidrográficas e, portanto, a sua correta avaliação é de grande importância (Cao *et al.*, 2021). Essa avaliação pode ser realizada por meio de monitoramento ambiental, fundamental para acompanhar as variações nos parâmetros hidrológicos, na geração de sedimentos e nas dinâmicas de uso e cobertura do solo. Com base nessas informações, sistemas de alerta antecipado podem emitir avisos em tempo hábil às autoridades competentes sobre possíveis ameaças ambientais, possibilitando ações imediatas de resposta e mitigação (Muhangane *et al.*, 2024).

A preservação da qualidade da água exige que os sedimentos provenientes das estradas não sejam transportados para os rios. Por isso, conhecer a localização das estradas e a sua proximidade com os cursos d'água, bem como a adoção de medidas adequadas de manutenção, são essenciais para reduzir o transporte de sedimentos (Cunha *et al.*, 2014).

Esta pesquisa tem como área de estudo a bacia hidrográfica do Rio Mangaraí, que faz parte da bacia do Rio Santa Maria da Vitória, localizada na região central do Estado do Espírito Santo, cujo rio principal está entre os mananciais mais utilizados para o abastecimento da Região Metropolitana da Grande Vitória e de alguns municípios da região serrana do Estado, e, portanto, sua preservação é fundamental aos diferentes setores da população atendida pela bacia (Consórcio Synergia-TPFe, 2021). O Relatório de Avaliação Ambiental e Social do Programa de Gestão Integrada de Águas e da Paisagem (MMT, 2013) destaca que a bacia do Rio Mangaraí possui histórico de contribuição elevada na produção de sedimentos da bacia do Rio Santa Maria da Vitória, além de estar localizada próxima à captação de água pela Cesan no Rio Santa Maria.

Sendo assim, o presente estudo teve como objetivo realizar monitoramentos pluviométricos, hidrossedimentométricos e de qualidade de água na Bacia Hidrográfica do Rio Mangaraí, com a finalidade de subsidiar análise de influência de intervenções, como obras de pavimentação e drenagem de estradas vicinais (53,99 km de extensão) realizadas no âmbito do Programa Águas e Paisagem, do Governo do Estado do Espírito Santo, sobre a qualidade da água de rios da bacia do Rio Mangaraí.

## METODOLOGIA

### Caracterização da área de estudo

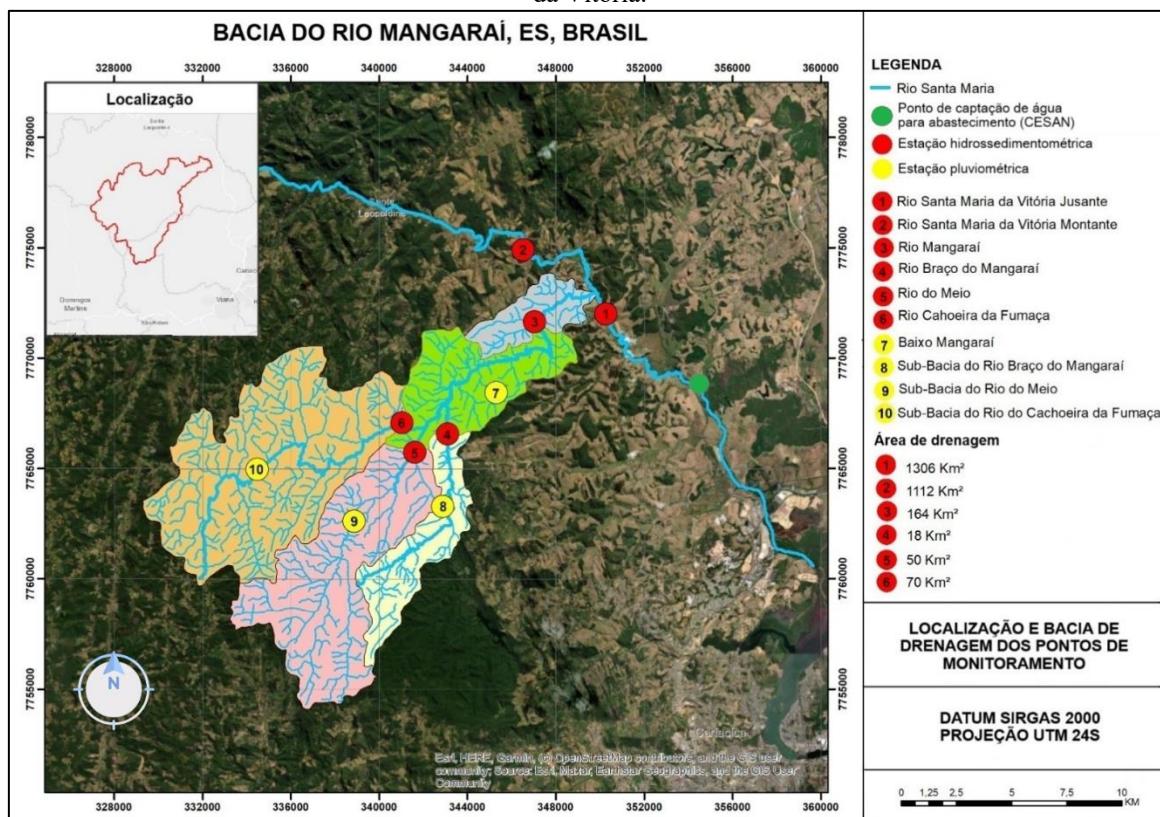
A bacia do Rio Mangaraí está localizada entre os municípios de Santa Leopoldina (87%) e Cariacica (13%), abrangendo uma área de 174 km<sup>2</sup>, sendo a área de drenagem relativa ao ponto de monitoramento P3, 164 km<sup>2</sup>. Segundo classificação de Koppen, o clima predominante varia entre o tropical úmido com estação seca (Am) e o subtropical úmido (Cfa). A bacia está localizada nas zonas naturais 2 e 4 correspondentes a terras de temperaturas amenas, acidentadas e chuvosas (AAC) e terras quentes, acidentadas e chuvosas (QAC), respectivamente. Há predominância de relevo montanhoso e fortemente ondulado, composto por solos como Cambissolos Háplicos e Latossolos Amarelos Distróficos típicos, (Pinto e Bianchi, 2024). Essas características influenciam na vulnerabilidade a processos erosivos.

### Monitoramento ambiental

Para o desenvolvimento do monitoramento, foram definidos seis pontos de monitoramentos hidrossedimentométricos e de qualidade da água, localizados dois na calha do Rio Santa Maria da Vitória, e quatro na bacia do Rio Mangaraí, sendo um no rio principal e três nos seus principais

afluentes, Rio Braço do Mangaraí, Rio do Meio e Rio Cachoeira da Fumaça. Também foram realizados monitoramentos pluviométricos em quatro pontos distribuídos na bacia do Rio Mangaraí e sub-bacias principais. Os pontos de monitoramento são apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Localização dos pontos de monitoramentos hidrossedimentométrico e de qualidade de água (P1, P2, P3, P4, P5 e P6) e pluviométrico (P7, P8, P9 e P10) na bacia hidrográfica do Rio Mangaraí e calha do Rio Santa Maria da Vitória.



Fonte: CESAN adaptado (2021)

Os registros diários de precipitações e níveis d'água foram feitas em blocos de anotações específicos e posteriormente inseridos em planilha eletrônica. Diariamente foram feitas coletas de amostras de água para determinações de concentrações de sedimentos suspensos e dissolvidos, analisados no Laboratório de Hidráulica e Monitoramento Ambiental (LABHIDRO – UFES). Mensalmente, de fevereiro/2024 a janeiro/2025, foram feitas campanhas de monitoramento hidrossedimentométrico e de coleta de amostras de água para determinações dos parâmetros: Turbidez, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Dissolvidos Totais, Sólidos Suspensos Totais, Condutividade Elétrica, Temperatura, pH, Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>), Nitrito, Nitrato, Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Orgânico, Nitrogênio Total Kjeldahl, Nitrogênio Total, Fósforo Total (PT) e Coliformes Termotolerantes (CT). Esses parâmetros foram avaliados considerando o enquadramento dos trechos analisados como Classe 1 da Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), conforme definido no Enquadramento dos corpos d'água da bacia hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória aprovado em 2020 (AGERH, 2016; 2021). Nove desses parâmetros foram utilizados para cálculo de Índices de Qualidade da Água (IQA - CETESB), que classifica águas brutas para captação e uso em abastecimento público, após tratamento convencional, nas seguintes faixas de qualidade: Ótima ( $79 < \text{IQA} \leq 100$ ), Boa ( $51 < \text{IQA} \leq 79$ ), Regular ( $36 < \text{IQA} \leq 51$ ), Ruim ( $19 < \text{IQA} \leq 36$ ) ou Péssima ( $\text{IQA} \leq 19$ ) (CETESB, 2024).

Foram feitas medições mensais de descargas líquidas com uso de *Flowtracker* ou *ADCP River Ray*, dependendo das condições hidrodinâmicas das seções de medições nos dias das campanhas. Também foram feitas coletas de amostras de mistura água/sedimento, pelo método Igual Incremento de Largura (IL), e de amostras de fundo com uso de draga, com armazenamento e recolhimento para análise no laboratório LABHIDRO. Nessas mesmas datas foram coletadas amostras de água para determinação de parâmetros de qualidade de água, com armazenamento e recolhimento para análise no laboratório Agrolab e determinações em campo com sonda multiparâmetros. As amostras foram analisadas conforme descrito no manual *Standard methods for the examination of water and wastewater*. (APHA *et al.*, 2021 e Carvalho, 2008).

As estimativas de descargas de sedimentos suspensos e totais foram feitas com uso do Método Simplificado de Colby (Carvalho, 2008).

Por último, foram formadas matrizes de correlação de Spearman com dados padronizados de parâmetros de qualidade de água, IQA, vazão, descargas de sedimentos e precipitação acumulada de sete dias.

### **Uso e Ocupação do Solo na Bacia**

Foram elaborados mapas de uso e ocupação do solo para a bacia do Rio Mangaraí, a partir de imagens satélites do Sentinel-2 (10 m) e da execução do código Random Forest (Mangussi Filho *et al.*, 2023), disponíveis gratuitamente na plataforma Google Earth Engine (GEE). Esse algoritmo utiliza um conjunto de árvores de decisões para realizar tarefas de classificação ou regressão, sendo amplamente utilizado em problemas ambientais, devido a sua alta velocidade de processamento e capacidade de identificar padrões com diversas variáveis. Os autores utilizaram o modelo do código para mapear o uso e ocupação do solo na região do rompimento da Barragem de Brumadinho, em Minas Gerais. Semelhantemente, o script disponibilizado foi adaptado para a elaboração dos mapas de uso e ocupação do solo da bacia do Rio Mangaraí, para os anos de análise e as classes de uso representativas na área de estudo.

Dessa forma, os mapas foram elaborados para os anos de 2019 e 2024, visto que compreendem período, respectivamente, anterior e posterior às intervenções (obras de drenagem e pavimentação). As classes de uso e ocupação do solo utilizadas foram: afloramento rochoso, agricultura (café, banana, coco-da-baía e cana de açúcar), área alagada (massa d'água e brejo), área florestada (mata nativa, mata nativa em estágio inicial de recuperação, macega e reflorestamento de eucalipto), pastagem, solo exposto e outros.

## **RESULTADOS**

### **Uso e Ocupação do Solo**

Os usos do solo predominantes na bacia do Rio Mangaraí foram agricultura e área florestada. Apenas na região do Baixo Mangaraí foi observado percentual elevado também para o uso pastagem. As classes de uso e ocupação não tiveram muitas alterações entre os anos de 2019 e 2024, considerando toda a bacia relativa ao P3, localizado no Rio Mangaraí. As principais diferenças foram observadas nas classes agricultura, com aumento de 3,89%, e área florestada, com redução de 6,21% (Tabela 1). Essa redução foi acompanhada por aumento nas áreas ocupadas com agricultura (+3,89%), pastagem (+0,87%) e solo exposto (+0,97%). As demais categorias de uso do solo mostraram variações inferiores a 0,5%. Na região do Baixo Mangaraí, a jusante dos pontos P4, P5 e P6 e a montante do ponto P3, a redução mais relevante foi observada na classe de pastagem (-2,73%), enquanto houve crescimento nos usos agricultura (+1,63%) e áreas alagadas (+1,09%). Essa região

manteve-se como a única que apresentou percentuais elevados de solo exposto, aproximadamente 6% tanto em 2019 como em 2024.

Tabela 1 - Áreas e porcentagens de classes de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Rio Mangaraí e suas principais sub-bacias, para os anos de 2019 e 2024.

Classes de uso e ocupação do solo	P3 - Rio Mangaraí Área (ha (%))		Baixo Mangaraí Área (ha (%))		P4 - Rio Braço do Mangaraí Área (ha (%))		P5 - Rio do Meio Área (ha (%))		P6 - Rio Cac. da Fumaça Área (ha (%))	
	2019	2024	2019	2024	2019	2024	2019	2024	2019	2024
<b>Aflor. rochosos</b>	727 (4,4%)	790 (4,58%)	55 (2,1%)	78 (3,0%)	77 (4,3%)	108 (6,0%)	205 (4,1%)	275 (5,5%)	389 (5,6%)	326 (4,7%)
<b>Agricultura</b>	3.387 (20,7%)	4.025 (24,5%)	651 (25,1%)	694 (26,7%)	351 (19,5%)	408 (22,6%)	1.056 (21,1%)	1.254 (25,1%)	1.334 (19,1%)	1.674 (23,9%)
<b>Área alagada</b>	751 (4,6%)	726 (4,4%)	114 (4,4%)	143 (5,5%)	84 (4,6%)	76 (4,2%)	236 (4,7%)	203 (4,1%)	317 (4,5%)	304 (4,3%)
<b>Área florestada</b>	8.695 (53,0%)	7.677 (46,8%)	969 (37,3%)	963 (37,0%)	1.000 (55,5%)	932 (51,8%)	2.728 (54,6%)	2.368 (47,4%)	3.985 (56,9%)	3.404 (48,6%)
<b>Pastagem</b>	1.482 (9,0%)	1.626 (9,9%)	487 (18,7%)	416 (16,0%)	168 (9,3%)	148 (8,2%)	388 (7,8%)	452 (9,0%)	446 (6,4%)	616 (8,8%)
<b>Solo exposto</b>	552 (3,4%)	711 (4,3%)	157 (6,0%)	166 (6,4%)	42 (2,9%)	48 (2,7%)	147 (2,9%)	192 (3,8%)	208 (3,0%)	308 (4,4%)
<b>Outros</b>	806 (4,9%)	845 (5,2%)	167 (6,4%)	142 (5,4%)	78 (4,3%)	80 (4,4%)	241 (4,8%)	256 (5,1%)	323 (4,6%)	369 (5,3%)

A sub-bacia do Rio Braço do Mangaraí (P4), 11% da bacia do Mangaraí, apresentou redução na cobertura de áreas florestadas (-3,75%), sendo estas substituídas, principalmente, por agricultura (+3,12%). Os dados indicam tendência de avanço das atividades agrícolas em detrimento das áreas vegetadas. Na sub-bacia do Rio do Meio (P5), 31% da bacia do Mangaraí, destaca-se uma queda substancial na cobertura de áreas florestadas (-7,21%), paralelamente ao aumento nas áreas destinadas ao cultivo (+3,96%) e pastagem (+1,28%). A sub-bacia do Rio Cachoeira da Fumaça (P6), 43% da área total da bacia, apresentou a maior perda de cobertura de áreas florestadas, passando de 56,9% em 2019 para 48,6% em 2024 (-8,29%). Por outro lado, observou-se aumento nas áreas correspondentes às classes agricultura (+4,85%), pastagem (+2,43%) e solo exposto (+1,42%). Mudanças no uso do solo entre 2019 e 2024, especialmente na região do Baixo Mangaraí, revelaram redução de áreas de pastagem e substituição por culturas agrícolas, frequentemente em locais anteriormente ocupados por áreas florestadas. Os quantitativos de áreas ocupadas pelos diferentes usos e ocupação do solo considerados nesse estudo estão apresentados na Tabela 1.

Dos 53,99 km de estradas pavimentadas, 23,03 km estão na sub-bacia do P6, 15,97 km na sub-bacia do P5, 10,03 km na região do Baixo Mangaraí e, apenas 4,28 na sub-bacia do P4.

### Qualidade da água e produção de sedimentos

Monitoramentos realizados entre fevereiro/2024 e janeiro/2025 demonstraram que resultados relacionados com nenhum ponto (P1 a P6) atendeu simultaneamente a todos os respectivos limites preconizados pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas doces Classe 1, em todas as campanhas.

Os valores dos parâmetros Sólidos Dissolvidos Totais, OD, Nitrito, Nitrato e Nitrogênio Amônacal permaneceram dentro dos limites legais. Por outro lado, os parâmetros Turbidez,  $\text{DBO}_5$ , Fósforo Total e CT apresentaram valores em não conformidade com os limites estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005. Valores elevados de Turbidez e Concentração de Sedimentos

Suspensos (CSS) estiveram relacionados a eventos de chuvas nas bacias de drenagem dos pontos monitorados.

Os parâmetros Turbidez, DBO<sub>5</sub> e Fósforo Total apresentaram valores mais elevados em campanhas pós-chuva, evidenciando a presença de fontes de poluição difusa. Os níveis de Coliformes Termotolerantes foram, em grande parte, superiores ao respectivo limite legal, indicando lançamento de esgotos sanitários sem tratamento ou com tratamento inadequado nos rios Santa Maria da Vitória e Mangaraí. As cargas de sedimentos em suspensão (CSS) também mostraram fortes picos em resposta à sazonalidade da precipitação, especialmente na sub-bacia do Rio Mangaraí e do Meio.

Considerando os valores de IQA obtidos (Tabela 2), a campanha de fevereiro/2024 apresentou os menores índices em todos os pontos, sendo as águas classificadas como “regulares para abastecimento público após tratamento convencional”, na maioria dos pontos. Nos meses subsequentes houve redução dos índices de precipitação pluviométrica o que promoveu melhoria dos valores de IQA, com as águas passando a serem classificadas como “boas para abastecimento público após tratamento convencional”. Os pontos P1 e P2, Rio Santa Maria da Vitória, e P4, Rio Braço do Mangaraí, apresentaram classificação de águas “ótimas para abastecimento público após tratamento convencional” em alguns meses do período seco. Os rios do Meio (P5) e Cacheira da Fumaça (P6) apresentaram mais regularidade nos valores de IQA, permanecendo na faixa de classificação de águas “boas para abastecimento público após tratamento convencional”. Embora tenha ocorrido melhoria dos IQA ao longo do monitoramento, deve-se considerar que os parâmetros DBO, Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes continuaram elevados em campanhas de período seco. Cabe ressaltar que a classificação das águas em função do IQA diz respeito apenas ao uso como águas brutas para abastecimento após tratamento convencional e que vários resultados relativos a Coliformes Termotolerantes se apresentaram acima do limite 1.000 NMP/100mL, relacionado com balneabilidade.

As análises das correlações de Spearman obtidas para os pontos P1 e P2 (Tabela 3) evidenciaram correlações positivas entre variáveis hidrológicas, vazão e descargas de sedimentos, e de qualidade da água, sobretudo de Turbidez ( $\rho \geq 0,8$ ), conforme esperado. Por outro lado, o IQA demonstrou correlação negativa com os parâmetros como Turbidez, DBO<sub>5</sub> e CT, apontando para a influência da matéria orgânica e contaminação fecal na redução da qualidade da água nos pontos monitorados. Nutrientes, como o Fósforo, são transportados juntamente com partículas de sedimentos. No ponto P2 os valores de IQA apresentaram correlações negativas com os parâmetros Turbidez, DBO<sub>5</sub>, CT e Vazão. Esses pontos estão localizados a jusante de áreas urbanizadas, como as sedes dos municípios Santa Maria de Jetibá e Santa Leopoldina, que contribuem com o lançamento de esgotos nos cursos d’água, sem tratamento ou com tratamento inadequado relativo a CT.

Nos pontos monitorados no Rio Santa Maria da Vitória as correlações do IQA com Q<sub>t</sub> e Q foram altamente negativas. Um aspecto importante sobre a qualidade de água na calha desse rio, em trechos localizados a jusante dos reservatórios das usinas hidrelétricas Rio Bonito e Suíça, é que esses reservatórios promovem uma melhoria da qualidade da água do rio, funcionando de forma similar a lagoas de estabilização rudimentares. Em estudo conduzido por Mendonça *et al.* (2007), que analisou parâmetros de qualidade de água e IQA nesses reservatórios, mostrou que o reservatório da usina de Rio Bonito contribui significativamente para a melhoria da qualidade da água do Rio Santa Maria da Vitória, e que os parâmetros Turbidez e CT foram os que foram os mais influenciados pela passagem pelo corpo d’água.

Tabela 2 – IQA calculados, nas datas das campanhas, para os pontos de monitoramento localizados na calha do Rio Santa Maria da Vitória e na bacia do Rio Mangaraí.

Mês	P1	P2	P3	P4	P5	P6
fev/24	47	27	46	44	46	50
mar/24	49	63	65	58	62	75
abr/24	50	67	44	71	63	77
mai/24	71	63	62	66	64	72
jun/24	74	70	77	77	74	74
jul/24	90	71	78	81	75	79
ago/24	72	72	79	83	73	79
set/24	82	83	79	80	73	79
out/24	73	75	76	62	59	61
nov/24	71	73	49	75	72	57
dez/24	68	66	71	77	68	77
jan/25	60	45	54	56	58	65

Ótima      Boa      Regular      Ruim

Tabela 3 – Matrizes de correlações de Spearman para parâmetros de qualidade de água, IQA, vazão e descargas de sedimentos para os pontos localizados na calha do Rio Santa Maria da Vitória, P1 e P2.

P1	Turb.	pH	OD	DBO	PT	CT	IQA	Q
<b>pH</b>	-0,5							
<b>OD</b>	<b>-0,7</b>	0,2						
<b>DBO</b>	0,5	<b>-0,7</b>	-0,2					
<b>PT</b>	0	-0,5	0,2	<b>0,6</b>				
<b>CT</b>	0,1	0	0,2	0,2	-0,3			
<b>IQA</b>	<b>-0,9</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>	<b>-0,7</b>	-0,1	-0,3		
<b>Q</b>	<b>0,8</b>	-0,5	<b>-0,6</b>	0,5	-0,1	0,2	<b>-0,9</b>	
<b>Qt</b>	<b>0,8</b>	-0,4	<b>-0,6</b>	0,3	-0,1	0,1	<b>-0,7</b>	<b>0,9</b>
P2	Turb.	pH	OD	DBO	PT	CT	IQA	Q
<b>pH</b>	0							
<b>OD</b>	-0,5	0						
<b>DBO</b>	<b>0,7</b>	-0,1	<b>-0,7</b>					
<b>PT</b>	0,5	0,2	-0,4	<b>0,8</b>				
<b>CT</b>	0,5	-0,1	-0,1	0,4	0,4			
<b>IQA</b>	<b>-0,8</b>	-0,1	0,5	<b>-0,8</b>	<b>-0,8</b>	<b>-0,7</b>		
<b>Q</b>	<b>0,9</b>	-0,3	-0,5	<b>0,6</b>	0,3	0,4	<b>-0,7</b>	
<b>Qt</b>	<b>0,9</b>	-0,3	-0,5	<b>0,6</b>	0,4	0,4	<b>-0,7</b>	<b>1</b>

Conforme apresentado na Tabela 4, a Turbidez (Turb.) mostrou forte correlação positiva com vazão (Q) em todos os pontos ( $\rho \geq 0,9$ ), especialmente nos pontos P4 (Rio Braço do Mangaraí), P5 (Rio do Meio) e P6 (Rio Cachoeira da Fumaça), com a precipitação acumulada de sete dias ( $\rho = 0,7$ ), com a Descarga de Sedimentos Suspensos (Qss) ( $\rho \geq 0,8$ ) indicando forte influência do regime hidrológico nas concentrações de partículas em suspensão. OD apresentou correlação negativa com CT ( $\rho \leq -0,7$ ) e positiva com IQA ( $\rho \geq 0,7$ ), nos pontos P4 e P5, indicando consumo de OD para degradação de matéria orgânica presente em esgotos domésticos. O IQA teve correlação negativa com CT, DBO5, PT e Turbidez. Pac (precipitação acumulada) teve correlação positiva com turbidez,

DBO, PT e coliformes, indicando que a chuva intensifica os aportes de poluentes relacionados com fontes difusas aos cursos d'água.

Tabela 4 – Matrizes de correlações de Spearman para parâmetros de qualidade de água, IQA, vazão, descargas de sedimentos e precipitações acumuladas de sete dias para os pontos localizados na bacia do Rio Mangaraí P3 a P6.

	P3	Turb.	pH	OD	DBO	PT	CT	IQA	Q	Qt
<b>pH</b>		<b>-0,6</b>								
<b>OD</b>		-0,1	<b>0,6</b>							
<b>DBO</b>		0,5	-0,4	-0,3						
<b>PT</b>		0,2	-0,3	-0,3	0,3					
<b>CT</b>		<b>0,8</b>	-0,5	-0,2	0,4	0,3				
<b>IQA</b>		<b>-0,9</b>	<b>0,7</b>	0,4	-0,5	-0,5	<b>-0,9</b>			
<b>Q</b>		<b>0,9</b>	-0,5	-0,3	<b>0,6</b>	0,2	<b>0,7</b>	<b>-0,7</b>		
<b>Qt</b>		<b>0,8</b>	<b>-0,9</b>	-0,4	0,5	0,4	<b>0,7</b>	<b>-0,8</b>	<b>0,8</b>	
<b>Pac</b>		0,4	-0,1	-0,1	0,5	0,4	0,4	-0,5	0,5	0,5
	P4	Turb.	pH	OD	DBO	PT	CT	IQA	Q	Qt
<b>pH</b>		-0,3								
<b>OD</b>		-0,5	<b>0,7</b>							
<b>DBO</b>		0,5	0,1	-0,4						
<b>PT</b>		0,1	-0,1	-0,3	<b>0,7</b>					
<b>CT</b>		<b>0,6</b>	-0,5	<b>-0,7</b>	0,4	0,5				
<b>IQA</b>		<b>-0,8</b>	0,4	<b>0,8</b>	<b>-0,7</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,8</b>			
<b>Q</b>		<b>1</b>	-0,4	-0,5	0,5	0,3	<b>0,6</b>	<b>-0,8</b>		
<b>Qt</b>		<b>1</b>	-0,4	-0,5	0,4	0,1	0,5	<b>-0,7</b>	<b>1</b>	
<b>Pac</b>		<b>0,7</b>	-0,1	-0,5	0,3	0,1	<b>0,6</b>	<b>-0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>
	P5	Turb.	pH	OD	DBO	PT	CT	IQA	Q	Qt
<b>pH</b>		-0,1								
<b>OD</b>		-0,3	0,3							
<b>DBO</b>		0,4	0,2	-0,3						
<b>PT</b>		0,1	-0,1	0	0,4					
<b>CT</b>		0,1	-0,3	<b>-0,9</b>	0,2	0,1				
<b>IQA</b>		<b>-0,6</b>	0,3	<b>0,7</b>	-0,4	-0,4	<b>-0,7</b>			
<b>Q</b>		<b>1</b>	-0,3	-0,4	0,4	0,1	0,2	<b>-0,7</b>		
<b>Qt</b>		<b>0,9</b>	-0,4	-0,4	0,3	0,1	0,2	<b>-0,7</b>	<b>1</b>	
<b>Pac</b>		<b>0,7</b>	0	-0,4	0,3	0,2	0,3	<b>-0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>
	P6	Turb.	pH	OD	DBO	PT	CT	IQA	Q	Qt
<b>pH</b>		-0,3								
<b>OD</b>		-0,3	0,4							
<b>DBO</b>		0,3	-0,1	-0,3						
<b>PT</b>		0,3	-0,2	-0,1	0,4					
<b>CT</b>		0,5	-0,5	-0,3	0,3	0,3				
<b>IQA</b>		<b>-0,7</b>	0,3	0,3	<b>-0,6</b>	<b>-0,6</b>	<b>-0,7</b>			
<b>Q</b>		<b>1</b>	-0,4	-0,3	0,4	0,4	<b>0,6</b>	<b>-0,8</b>		
<b>Qt</b>		<b>1</b>	-0,4	-0,3	0,4	0,4	<b>0,6</b>	<b>-0,8</b>	<b>1</b>	
<b>Pac</b>		<b>0,7</b>	0	-0,1	0,4	0,3	<b>0,6</b>	<b>-0,9</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>

Em termos de produção anual, os resultados indicam a forte contribuição do Rio Mangaraí no aporte de sedimentos à calha do Rio Santa Maria da Vitória. Entre os pontos localizados na bacia do Rio Mangaraí, a bacia do Rio Cachoeira da Fumaça (P6) apresentou a maior produção de sedimentos em t/(d.ha), cujos valores médio e máximo foram maiores que a soma dos respectivos valores obtidos para as bacias dos rios Braço do Mangaraí (P4) e do Meio (P5) (Tabela 5). As produções específicas anuais de sedimentos totais foram muito superiores nas bacias dos rios Mangaraí (P3) e Cachoeira da Fumaça (P6) para o período monitorado.

Figura 2 – Descargas médias diárias de sedimentos suspensos (Qss) e totais (Qt) obtidas nos pontos de monitoramento localizados na calha do Rio Santa Maria da Vitória, a jusante (P1) e a montante (P2) da confluência com o Rio Mangaraí e nos pontos localizados na bacia do Rio Mangaraí.

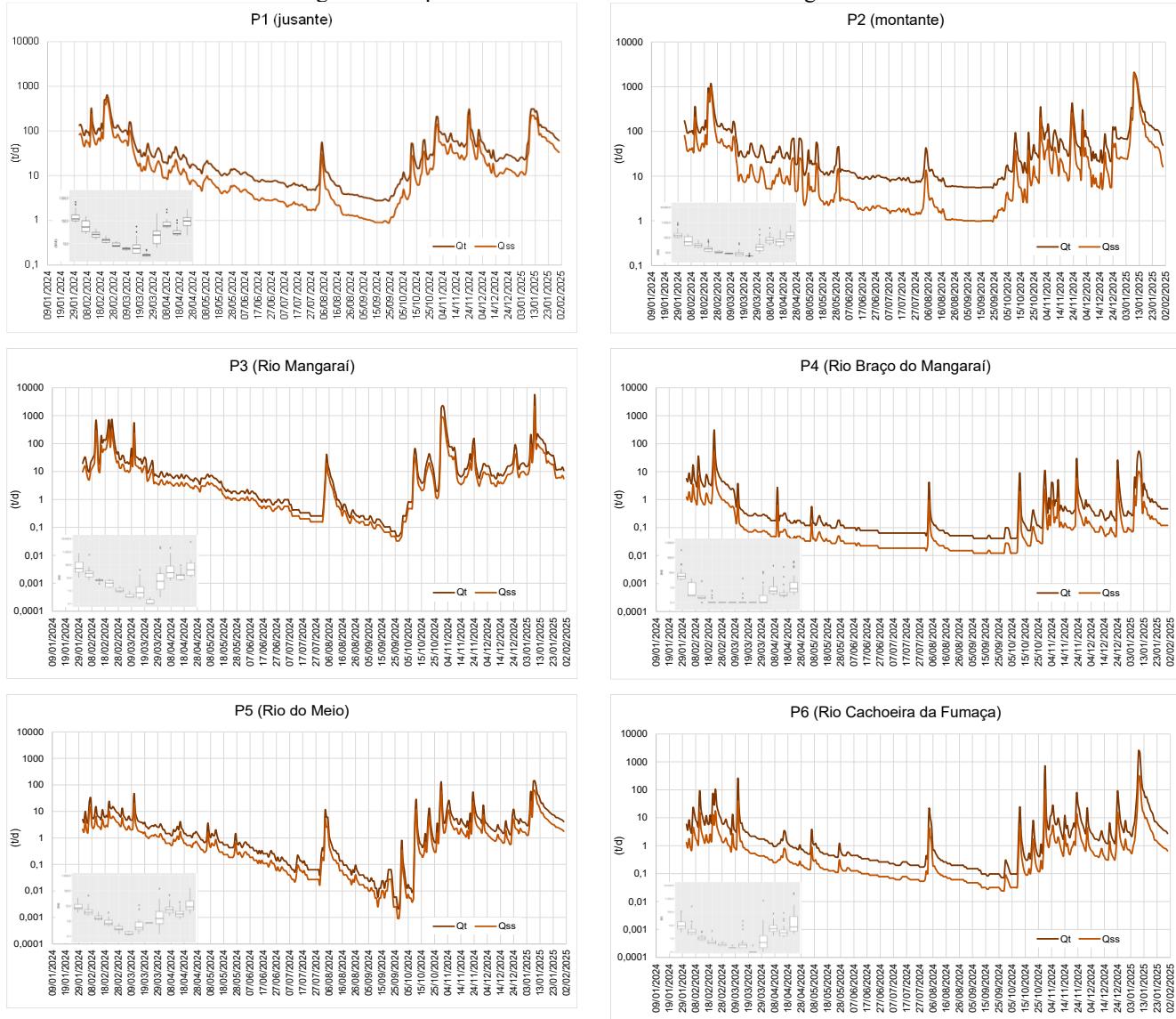


Tabela 5 – Produções específicas medias e máximas diárias e produções específicas de sedimentos totais nos pontos de monitoramento hidrossedimentométricos.

Ponto - Curso d'água	Média (t/d.ha)	Máxima (t/d.ha)	Mês do pico	Produção Total (t/ano)	Produção Específica (t/ano.ha)
<b>P1 - Rio Santa Maria da Vitória jusante</b>	15	490	Fevereiro	18.060	1.380
<b>P2 - Rio Santa Maria da Vitória montante</b>	33	187	Janeiro	28.963	2.700
<b>P3 - Rio Mangaraí</b>	153	3.492	Janeiro	23.025	14.040
<b>P4 - Rio Braço do Mangaraí</b>	107	1.725	Janeiro	912,5	5.070
<b>P5 - Rio do Meio</b>	48	288	Janeiro	1.939	3.880
<b>P6 - Rio Cachoeira da Fumaça</b>	261	3.613	Janeiro	8.033	11.480

## CONCLUSÃO

Grande parte dos sedimentos transportados para os cursos d'água da bacia do Rio Mangaraí são originados pela erosão de solos em áreas de produção agrícola e pecuária. Segundo o mapa de uso e ocupação do solo da bacia correspondente a 2024, 5.652 hectares, ou seja, 34,5% da área da bacia do Rio Mangaraí, são ocupados por atividades agropecuárias.

Eventos de chuva resultaram em grande piora na qualidade da água, evidenciada por diversas não conformidades relativas aos parâmetros Turbidez, DBO, Fósforo Total e Coliformes Termotolerantes, causadas tanto por fontes de poluição difusa, como por fontes de poluição pontuais, principalmente as relacionadas com esgoto sanitário sem tratamento ou submetido a tratamento inadequado. Esses parâmetros foram os que mais apresentaram não conformidades em relação à legislação vigente. Dos pontos localizados na bacia do Rio Mangaraí, P3, localizado na parte baixa da bacia, apresentou maior número de campanhas com valores de Turbidez não conformes com a legislação, sobretudo nos meses com maiores acumulados pluviométricos. Dos pontos localizados na bacia do Rio Mangaraí, o ponto P5, localizado no Rio do Meio, apresentou valores de CT acima do limite da legislação para todas as doze campanhas. Os demais pontos, nos rios Braço do Mangaraí, Cachoeira da Fumaça e Mangaraí, apresentaram vários resultados relativos aos parâmetros CT, DBO e Fósforo não conformes com os respectivos limites preconizados pela legislação.

Para redução significativa do transporte de sedimentos na bacia do Rio Mangaraí e do trecho do Rio Santa Maria da Vitória a jusante da afluência do Mangaraí, onde se situa a captação de água para abastecimento de grande parte da Região Metropolitana da Grande Vitória, é fundamental a implementação de ações nas áreas onde são desenvolvidas atividades agropecuárias. Além disso, ampliação de ações como as relacionadas com pavimentação e drenagem de estradas vicinais, saneamento e reflorestamento desenvolvidas dentro do Programa Águas e Paisagem na bacia do Rio Mangaraí poderão contribuir significativamente para a melhoria da qualidade da água que aflui à estação de captação de água operada pela Cesan para abastecimento de grande parte da Região Metropolitana da Grande Vitória.

## REFERÊNCIAS

AGERH – Agência Estadual de Recursos Hídricos. (2016). *Elaboração de projeto executivo para enquadramento dos corpos de água em classes e plano de bacia para os rios Santa Maria da Vitória e Jucu*. Programa de Restauração e Conservação da Biodiversidade e dos Recursos Hídricos no Estado do Espírito Santo, nas Bacias dos Rios Jucu e Santa Maria da Vitória. Relatório da Etapa B.

AGERH – Agência Estadual de Recursos Hídricos. (2021). Parceria com SEAMA, Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação (FAPES), Secretaria de Estado de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano (SEDURB), Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN) e o CBH SMV com recursos do Fundo Estadual de Recursos Hídricos e Florestais do Espírito Santo (Fundágua). *Manual Operativo dos Planos de Recursos Hídricos Capixabas. Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória. De olho no rio: do plano ao MOp*. AGERH, 21 p.

APHA; AWWA; WEF (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 23. ed. Washington, D.C.: American Public Health Association.

BRASIL (2005). Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. *Resolução nº 357 de 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.

- CAO, L.I.; WANG, Y.; LIU, C. (2021). *Study of unpaved road surface erosion based on terrestrial laser scanning*. Catena, v. 199, pp. 105091.
- CARVALHO, N. O. (2008). *Hidrossedimentologia Prática*. 2ed. revisada e ampliada, Rio de Janeiro: Editora Interciênciea. 599p.
- CESAN. 2021. *Edital de licitação Nº 039/2021*. Vitória (ES).
- CETESB, 2024. *IQA - Índice de Qualidade de Água*. Disponível em <<https://www.cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/02.pdf>>
- CONSÓRCIO SYNERGIA-TPFE. (2013). *Boas práticas para a conservação do rio Mangaraí. Preservação de Nascentes. Projeto Piloto Rio Mangaraí. Eixo de Educação Ambiental do Projeto Piloto Rio Mangaraí*. INCAPER, Vitória – ES, 20 p.
- CUNHA, M. C.; VAZ DOS SANTOS, R.; DA CRUZ, A. A. (2014). *Leyantamento das medidas de manutenção aplicado nas estradas rurais na bacia do Rio das Pedras, Guarapuava-PR, com avaliação qualitativa do estado de conservação*. Caderno de Geografia, v. 24, 2, pp. 124-138. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- MANGUSSI FILHO, C. R., VALLE JUNIOR, R. F., SILVA, M. M. A. P. M., MENDES, R. G., ROLIM, G. S., PISSARRA, T. C. T., MELO, M. C., VALERA, C. A., PACHECO, F. A. L., FERNANDES, L. F. S. (2023). *The Accuracy of Land Use and Cover Mapping across Time in Environmental Disaster Zones: The Case of the B1 Tailings Dam Rupture in Brumadinho, Brazil*. Sustainability, v.15, n. 6949, pp.1-21.
- MENDONÇA, A. S. F., RIGO, D., TEIXEIRA, E. C., STANZANI, L., CASTRO, M.S.M. (2007) Análise da qualidade da água nas áreas de influência de reservatórios dos aproveitamentos hidrelétricos Alegre, Rio Bonito e Suíça. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vitória, 2007. Disponível em: [https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/151/9a07bf2afc4570d67b4805d37069e1df\\_316998c59bb853014a1aba6beceaa227.pdf](https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/151/9a07bf2afc4570d67b4805d37069e1df_316998c59bb853014a1aba6beceaa227.pdf). Acesso em: 12 mai. 2025.
- MMT Planejamento e Consultoria. (2013). *Programa de Gestão Integrada de Águas e da Paisagem. Relatório de Avaliação Ambiental e Social - RAAS e Arcabouço para o Gerenciamento Ambiental e Social do Programa. Relatório Final*. CESAN, Vitória – ES, 181 p.
- MUHANGANE, L.; MAJALUWA, J. G. M.; ANDAMA, M.; ABDOULAYE, F. F. (2024). *Effect of Land Use Land Cover on the Hydrology of Rwizi River Catchment located in Southwestern Uganda*. J. Appl. Sci. Environ. Manage, v. 28, n.9, pp. 2879-2885.
- PINTO, T. I. M. S; BIANCHI, D. P. Z. *Estudo hidromorfológico da bacia hidrográfica do rio Mangaraí*. (Monografia), Ifes, Pós-Graduação *lato sensu* em Recursos Hídricos, Vitória, 2024.