UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

IOLANDA ALVES ROQUE DA FONSECA BELELI

UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DE CONFORMIDADE AO ENQUADRAMENTO NO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS



Ilha Solteira
2026

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS - PROFÁGUA

IOLANDA ALVES ROQUE DA FONSECA BELELI

UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DE CONFORMIDADE AO ENQUADRAMENTO NO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Nome do Orientador
Prof. Dr. Maurício Augusto Leite

Nome da Coorientadora
Profa. Dra. Bárbara Pereira Christofaro Silva

Ilha Solteira
2026

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

B428u

Beleli, Iolanda Alves Roque da Fonseca.
Utilização do índice de conformidade ao enquadramento no Rio São José dos Dourados / Iolanda Alves Roque da Fonseca Beleli. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2026
151 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, 2026

Orientador: Maurício Augusto Leite
Coorientador: Bárbara Pereira Christofaro Silva
Inclui bibliografia

1. Ccme WQI. 2. Índice de qualidade da água. 3. Monitoramento de recursos hídricos. 4. Processos erosivos.

Elaborada por Raiane da Silva Santos - CRB-8/9999

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DE CONFORMIDADE AO ENQUADRAMENTO NO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS

AUTORA: IOLANDA ALVES ROQUE DA FONSECA BELELI
ORIENTADOR: MAURICIO AUGUSTO LEITE
COORIENTADORA: BARBARA PEREIRA CHRISTOFARO SILVA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, área: Instrumentos de Política de Recursos Hídricos pela Comissão Examinadora:

gov.br Documento assinado digitalmente
MAURICIO AUGUSTO LEITE
Data: 05/08/2026 15:50:44-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. MAURICIO AUGUSTO LEITE (Participaçao Virtual)
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / UNESP / Câmpus de Ilha Solteira - FEIS

gov.br Documento assinado digitalmente
JOSE AUGUSTO COSTA GONCALVES
Data: 15/09/2026 13:38:00-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. JOSÉ AUGUSTO COSTA GONÇALVES (Participaçao Virtual)
ICPA - Instituto de Ciências Puras e Aplicadas / Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI

gov.br Documento assinado digitalmente
RICARDO TEZINI MINOTI
Data: 15/09/2026 18:22:10-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. RICARDO TEZINI MINOTI (Participaçao Virtual)
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Universidade Federal de Brasília - UnB

Ilha Solteira, 05 de agosto de 2026.

Dedico este trabalho ao meu marido, à minha mãe e ao meu pai, in memoriam, que são e sempre serão a base da minha vida.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), Código de Financiamento 001, e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), por meio do Convênio CAPES/UNESP nº 951420/2023.

Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua, pelo apoio técnico-científico aportado durante todo o desenvolvimento desta pesquisa. Estendo meus agradecimentos ao Laboratório de Fertilidade do Solo da UNESP – Campus de Ilha Solteira, pela disponibilização da infraestrutura necessária para as análises realizadas neste trabalho.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Maurício Augusto Leite, e à minha Coorientadora, Profa. Dra. Bárbara Pereira Christofaro Silva, expresso minha sincera gratidão pela orientação, pela paciência, pela dedicação e por todo o conhecimento partilhado ao longo desta caminhada.

Agradeço a Jeová Deus, por ser meu alicerce e me sustentar em cada momento desta caminhada.

À minha mãe, Celia, por sua dedicação, força e apoio incondicional, que sempre me incentivou em todos os momentos da minha vida.

Ao meu pai, Gilberto, *in memoriam*, cuja ausência é sentida todos os dias, mas cuja presença permanece viva em minhas lembranças, ensinamentos e valores.

Ao meu marido, Diego, o maior incentivador dentre todos os que me acompanharam nesta jornada, agradeço pelo amor, apoio incondicional, companheirismo e por acreditar em mim em todos os momentos.

“O coração de quem tem entendimento adquire conhecimento, e o ouvido dos sábios procura o conhecimento.”
Provérbios 18:15

RESUMO

A qualidade das águas superficiais é elemento central para a gestão dos recursos hídricos, especialmente no contexto do enquadramento dos corpos d'água, instrumento previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos. O presente estudo aplicou o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), baseado na metodologia do *Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index* (CCME WQI), ao rio São José dos Dourados, na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 18 (UGRHI 18), no estado de São Paulo, para avaliar a conformidade da qualidade da água às diretrizes da Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2. A avaliação foi organizada em dois grupos de parâmetros, Qualidade da Água e Processos Erosivos, e abrangeu os pontos SJDO 02150 e SJDO 02500, com séries históricas de 2013 a 2023 e de 2012 a 2023, respectivamente, a partir de dados da CETESB. Os parâmetros do Grupo Processos Erosivos foram definidos com base em análises de solo e sedimentos do Córrego da Ponte Pensa. No Grupo Qualidade da Água, o ponto SJDO 02150 foi classificado predominantemente como Razoável e o SJDO 02500 como Boa, com tendência de declínio nos triênios recentes. No Grupo Processos Erosivos, ambos permaneceram predominantemente Razoável, com o ferro dissolvido e o fósforo total registrando as maiores taxas de não conformidade, coerente com a predominância de Argissolo Vermelho-Amarelo na bacia. A comparação com os índices convencionais da CETESB (IQA, IET e IVA) evidenciou a especificidade do ICE, cuja função é verificar a conformidade da qualidade da água às metas de enquadramento, registrando deteriorações não captadas pelo Índice de Qualidade das Águas. Como produtos técnicos tecnológicos, a pesquisa resultou em três instrumentos voltados a comitês de bacia e órgãos gestores: um manual orientativo para a aplicação do ICE, uma planilha em Excel para o cálculo do índice e um vídeo tutorial no YouTube com o passo a passo do cálculo na planilha e na Calculadora CCME WQI. Ressalta-se que os índices avaliam aspectos distintos da qualidade da água, de modo que o ICE reflete seu propósito específico de aferir a conformidade ao enquadramento.

Palavras-chave: CCME WQI; índice de qualidade da água; monitoramento de recursos hídricos; processos erosivos.

ABSTRACT

Surface water quality is a central element in water resources management, particularly within the context of water body classification, an instrument established under the Brazilian National Water Resources Policy. This study applied the Water Body Classification Compliance Index (ICE), based on the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) methodology, to the São José dos Dourados River, in Water Resources Management Unit 18 (UGRHI 18), state of São Paulo, to assess water quality compliance with the guidelines of CONAMA Resolution No. 357/2005 for Class 2 freshwater bodies. The assessment was organized into two parameter groups, Water Quality and Erosive Processes, and covered the monitoring points SJDO 02150 and SJDO 02500, with historical series from 2013 to 2023 and from 2012 to 2023, respectively, based on CETESB data. The parameters of the Erosive Processes Group were defined from soil and sediment analyses of the Ponte Pensa Stream. In the Water Quality Group, point SJDO 02150 was classified predominantly as Fair and SJDO 02500 as Good, with a declining trend in recent three-year periods. In the Erosive Processes Group, both remained predominantly Fair, with dissolved iron and total phosphorus recording the highest non-compliance rates, consistent with the predominance of Red-Yellow Ultisol (Argissolo Vermelho-Amarelo) in the watershed. The comparison with CETESB's conventional indices (IQA, IET and IVA) highlighted the specificity of the ICE, whose function is to verify water quality compliance with classification targets, capturing deteriorations not detected by the Water Quality Index. As technical-technological products, the research resulted in three instruments aimed at river basin committees and management agencies: a guidance manual for applying the ICE, an Excel spreadsheet for calculating the index, and a YouTube video tutorial presenting the step-by-step calculation in the spreadsheet and in the CCME WQI Calculator. It should be noted that these indices assess distinct aspects of water quality, so that the ICE reflects its specific purpose of verifying compliance with water body classification.

Keywords: CCME WQI. erosive processes; water quality index; water resources monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (2022).....35
Figura 2 - Recorte do mapa de erodibilidade dos solos brasileiros com foco na região noroeste paulista. 36
Figura 3 - Mapa de Erosão, devido a Ravinas e Boçorocas, do Estado de São Paulo. 37
Figura 4 - Classes de erodibilidade dos solos na região noroeste do estado de São Paulo. 38
Figura 5 - Mapa do tipo de solo da região, predominância de Argissolo Vermelho Amarelo. 39
Figura 6 - Localização da sub-bacia do Ribeirão da Ponte Pensa na UGRHI 18. 41
Figura 7 - Ponto de monitoramento de qualidade da água e sedimentos em suspensão na sub-bacia do Ribeirão da Ponte Pensa na UGRHI 18. 41
Figura 8 - Elementos analisados em solo e sedimentos. 43
Figura 9 - Uso e ocupação do solo na UGRHI 18. 45
Figura 10 - Processo para utilização do CCME WQI, 2017, conforme manual. 49
Figura 11 - Imagem do Rio São José dos Dourados na ponte da rodovia SP 463. ..56
Figura 12 - Fluxograma com as etapas metodológicas. 59
Figura 13 - Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do estado de São Paulo. 60
Figura 14 - Região Hidrográfica do São José dos Dourados. 61
Figura 15 - Divisão da UGRHI 18 por sub-bacias. 62
Figura 16 - Municípios da UGRHI 18. 63
Figura 17 - Tipos climáticos na bacia do rio São José dos Dourados. 64
Figura 18 - Pontos de monitoramento da qualidade da água superficial. 66
Figura 19 - Localização do ponto SJDO 02150 e da estação pluviométrica B6-039 (Monte Aprazível), distantes cerca de 8,8 km entre si. 68
Figura 20 - Localização do ponto SJDO 02500 e da estação pluviométrica B7-038 (Pontalinda), distantes cerca de 7,7 km entre si. 69
Figura 21 - Local da coleta de água. Córrego da Ponte Pensa em 01/10/2025. 76
Figura 22 - Local da coleta de água. Córrego da Ponte Pensa em 01/10/2025. 76
Figura 23 - Realização da coleta das amostras para análise. Córrego da Ponte Pensa. 77

Figura 24 - Realização da coleta das amostras para análise. Córrego da Ponte Pensa. 77
Figura 25 - Local da coleta de água. Córrego da Ponte Pensa em 16/12/2025. 78
Figura 26 - Local da coleta de água. Córrego da Ponte Pensa em 16/12/2025. 78
Figura 27 - Realização da coleta das amostras para análise. Córrego da Ponte Pensa. 79
Figura 28 - Realização da coleta das amostras para análise. Córrego da Ponte Pensa. 80
Figura 29 - Realização das medições de pH das amostras coletadas no dia 16/12/2025. 81
Figura 30 - Realização das medições de condutividade das amostras coletadas no dia 16/12/2025....81
Figura 31 - Modelo conceitual do índice baseado no manual CCME WQI.....83
Figura 32 - Interface visual da calculadora CCME 2.0. 87
Figura 33 - Dados das análises de solo e sedimentos comparados com legislações. 88
Figura 34 - Boxplot da concentração de alumínio total, em ppm, no solo e no sedimento.....91
Figura 35 - Boxplot da concentração de bário total, em ppm, no solo e no sedimento. 91
Figura 36 - Boxplot da concentração de cádmio total, em ppm, no solo e no sedimento.....92
Figura 37 - Boxplot da concentração de chumbo total, em ppm, no solo e no sedimento.....93
Figura 38 - Boxplot da concentração de cobre total, em ppm, no solo e no sedimento.....94
Figura 39 - Boxplot da concentração de cromo total, em ppm, no solo e no sedimento.....95
Figura 40 - Boxplot da concentração de ferro total, em ppm, no solo e no sedimento. 96
Figura 41 - Boxplot da concentração de manganês total, em ppm, no solo e no sedimento.....97
Figura 42 - Boxplot da concentração de mercúrio total, em ppm, no solo e no sedimento.....98

Figura 43 - Boxplot da concentração de níquel total, em ppm, no solo e no sedimento.....99
Figura 44 - Boxplot da concentração de zinco total, em ppm, no solo e no sedimento. 99
Figura 45 - Relação entre precipitação (mm) e ICE anual — SJDO 02150, Grupo Qualidade da Água.....101
Figura 46 - Taxa de não conformidade por parâmetro — SJDO 02150, Grupo Qualidade da Água.....103
Figura 47 - Relação entre precipitação (mm) e ICE anual — SJDO 02150, Grupo Processos Erosivos.....106
Figura 48 - Taxa de não conformidade por parâmetro — SJDO 02150, Grupo Processos Erosivos.....107
Figura 49 - Relação entre precipitação (mm) e ICE anual — SJDO 02500, Grupo Qualidade da Água.....110
Figura 50 - Taxa de não conformidade por parâmetro — SJDO 02500, Grupo Qualidade da Água.....111
Figura 51 - Relação entre precipitação (mm) e ICE anual — SJDO 02500, Grupo Processos Erosivos.....114
Figura 52 - Taxa de não conformidade por parâmetro — SJDO 02500, Grupo Processos Erosivos.....115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Uso e ocupação do solo na UGRHI 18 (2020). 45
Tabela 2 - Informações sobre os pontos de monitoramento da qualidade da água superficial da UGRHI 18. 65
Tabela 3 - Valores de temperatura, pH e condutividade das amostras. 89
Tabela 4 - Resultados do ICE – Grupo Qualidade da Água – SJDO 02150. 102
Tabela 5 - Comparação anual dos índices de qualidade da água – SJDO 02150. .104
Tabela 6 - Resultados do ICE – Grupo Processos Erosivos – SJDO 02150. 107
Tabela 7 - Resultados do ICE – Grupo Qualidade da Água – SJDO 02500. 111
Tabela 8 - Comparação anual dos índices de qualidade da água – SJDO 02500. .113
Tabela 9 - Resultados do ICE – Grupo Processos Erosivos – SJDO 02500. 115

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

°C	Graus Celsius
µm	Micrômetro
µS	MicroSiemens
µA	Microampère
Ag	Prata
Al	Alumínio
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APP	Área de Preservação Permanente
As	Arsênio
B6-039	Código da estação pluviométrica de Monte Aprazível (DAEE-SP Águas)
B7-038	Código da estação pluviométrica de Pontalinda (DAEE- SP Águas)
Ba	Bário
BPEN	Código do ponto de monitoramento da CETESB (Rio São José dos Dourados)
BSJD	Código do ponto de monitoramento da CETESB (Rio São José dos Dourados)
Ca	Cálcio
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBH-SJD	Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados
CCME	Canadian Council of Ministers of the Environment
Cd	Cádmio
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
cm	Centímetro
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
Co	Cobalto
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
Cr	Cromo
csv	Comma-Separated Values (valores separados por vírgula)
Cu	Cobre

DATAGEO	Sistema Ambiental Paulista
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DMAE	Departamento Municipal de Água e Esgotos
DOI	Digital Object Identifier
e/i	Relação erosividade/infiltração
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
F1	Abrangência ou escopo (fator do cálculo do ICE)
F2	Frequência (fator do cálculo do ICE)
F3	Amplitude (fator do cálculo do ICE)
Fe	Ferro
FEHIDRO	Fundo Estadual de Recursos Hídricos
GM/MS	Gabinete do Ministro / Ministério da Saúde
Hg	Mercúrio
ICE	Índice de Conformidade ao Enquadramento
ICE-PE Processos Erosivos	Índice de Conformidade ao Enquadramento — Grupo
ICE-QA Qualidade da Água	Índice de Conformidade ao Enquadramento — Grupo
ICF	Índice da Comunidade Fitoplanctônica
IET	Índice do Estado Trófico
IQA	Índice de Qualidade das Águas
IPMCA Aquática	Índice de Variáveis Mínimas para Preservação da Vida
ISBN	International Standard Book Number
ISOL dos Dourados)	Código do ponto de monitoramento da CETESB (Rio São José
IVA Aquática	Índice de Qualidade das Águas para a Proteção da Vida
K	Potássio
kV	Quilovolt
L/s	Litros por segundo
MAPBIOMAS Brasil	Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso da Terra no
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
Mg	Magnésio

mg/L	Miligramas por litro
MG	Minas Gerais
Mn	Manganês
m^3/s	Metros cúbicos por segundo
Ni	Níquel
NMP/100 mL	Número Mais Provável por 100 mililitros
NPI	Nemerow Pollution Index (Índice de Poluição de Nemerow)
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
OD	Oxigênio Dissolvido
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Fósforo
Pb	Chumbo
PCJ	Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí
PE	Pernambuco
PIRH	Plano Integrado de Recursos Hídricos
pH	Potencial hidrogeniônico
ppm	Partes por milhão
ProfÁgua	Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos
PTT	Produto Técnico-Tecnológico
Q1	Primeiro quartil (boxplot)
Q3	Terceiro quartil (boxplot)
Q7,10	Vazão mínima de sete dias consecutivos com um período de retorno (recorrência) de dez anos
Q95%	Vazão mínima de um rio que é igualada ou superada durante 95% do tempo em um período de observação
Rb	Rubídio
RNQA	Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade da Água
RS	Rio Grande do Sul
S	Enxofre
Sb	Antimônio
SDT	Sólidos dissolvidos totais
Se	Selênio
Si	Silício
SigRH	Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SJDO	Código do ponto de monitoramento da CETESB (Rio São José dos Dourados)
Sn	Estanho
snv	Soma normalizada das variações (cálculo do F3 do ICE)
SP	São Paulo
SP Águas	Agência de Águas do Estado de São Paulo
Sr	Estrôncio
Ti	Titânio
Tl	Tálio
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UNESP	Universidade Estadual Paulista
USGS	United States Geological Survey
V	Vanádio
WQI	Water Quality Index
xlsx	Microsoft Excel Open XML Format Spreadsheet
XRF	X-ray Fluorescence (Fluorescência de raios X)
Zn	Zinco
Zr	Zircônio

LISTA DE SÍMBOLOS

$\sum$	Somatório
<	Menor que
>	Maior que
≤	Menor ou igual a
≥	Maior ou igual a

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 19
2 OBJETIVOS 24
2.1. Objetivo Geral 24
2.2. Objetivos Específicos 24
3 JUSTIFICATIVA 26
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 28
4.1. Enquadramento dos corpos d'água 28
4.2. Qualidade da água 30
4.3. IQA, IET e IVA 32
4.4. Processos erosivos 34
4.5. Uso e ocupação do solo 43
4.6. Índice de Conformidade ao Enquadramento 46
4.7. CCME WQI (Estudos de casos nacionais e internacionais) 51
4.8. Aplicação do ICE em bacias brasileiras: panoramas regionais recentes 52
4.9. Caracterização e qualidade da água do rio São José dos Dourados 55
5 MATERIAIS E MÉTODOS 58
5.1. Caracterização da Área de Estudo 60
5.2. Base de dados 67
5.3. Parâmetros e limites legais 69
5.3.1. Grupo Qualidade da Água 72
5.3.2. Grupo Processos Erosivos 73
5.4. Cálculo do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) 82
5.4.1. Categorias de classificações do ICE (CCME WQI) 85
5.5. *Softwares* utilizados 86
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO 88
6.1. Seleção e caracterização dos parâmetros do Grupo Processos Erosivos 88
6.2. Aplicação do ICE no ponto SJDO 02150 100
6.2.1. Grupo Qualidade da Água – SJDO 02150 100
6.2.2. Grupo Processos Erosivos – SJDO 02150 105
6.3. Aplicação do ICE no ponto SJDO 02500 109
6.3.1. Grupo Qualidade da Água – SJDO 02500 109

6.3.2. Grupo Processos Erosivos – SJDO 02500 113
7 PRODUTOS TÉCNICO-TECNOLÓGICOS APLICADOS À GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS 118
7.1. Caracterização do problema 118
7.2. Objetivo dos produtos 118
7.3. Público-alvo 119
7.4. Fundamentação técnica 119
7.5. Desenvolvimento dos produtos 119
7.6. Descrição dos produtos 120
7.7. Validação 120
7.8. Aplicabilidade 121
7.9. Impacto 121
7.10. Estratégia de implementação 121
7.11. Produtos finais 122
8 CONCLUSÕES 123
REFERÊNCIAS 124
APÊNDICE A – Dados brutos e conformidade: SJDO 02150 – Grupo Qualidade da Água 131
APÊNDICE B – Dados brutos e conformidade: SJDO 02150 – Grupo Processos Erosivos 134
APÊNDICE C – Dados brutos e conformidade: SJDO 02500 – Grupo Qualidade da Água 137
APÊNDICE D – Dados brutos e conformidade: SJDO 02500 – Grupo Processos Erosivos 141
APÊNDICE E – Escolha dos parâmetros para os grupos: Qualidade da água e Processos Erosivos 145
APÊNDICE F – Laudos de água bruta, córrego da Ponte Pensa 146
APÊNDICE G – DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA 150

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a manutenção da vida, dos ecossistemas e das atividades humanas, sendo indispensável à saúde pública e ao desenvolvimento sustentável. Apesar de sua aparente abundância no planeta, apenas uma pequena parcela é efetivamente utilizável: estima-se que cerca de 2,5% da água existente na Terra é doce, e apenas 1,2% desse total encontra-se disponível na forma de águas superficiais, como rios, lagos e reservatórios, que respondem pela maior parte das demandas humanas (USGS, 2018). Soma-se a essa limitação a intensificação dos usos consuntivos da água, como abastecimento, irrigação e usos industriais, que amplia a pressão sobre os recursos hídricos e reforça a necessidade de instrumentos de avaliação da qualidade (ANA, 2023).

Diante dessa limitação, a qualidade da água ocupa papel central nas estratégias de desenvolvimento sustentável, estando diretamente associada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Destacam-se o ODS 6 (Água potável e saneamento), voltado à garantia da disponibilidade e da gestão sustentável da água; o ODS 3 (Saúde e bem-estar), que considera os riscos sanitários decorrentes da água contaminada; e o ODS 15 (Vida terrestre), que aborda os impactos da degradação hídrica sobre os ecossistemas naturais (ONU, 2015). Assegurar a qualidade das águas superficiais constitui, portanto, um desafio central para a gestão integrada dos recursos hídricos.

No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433/1997, estabelece diretrizes para o uso sustentável da água e define instrumentos de gestão, entre os quais se destaca o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes. Trata-se do instrumento mais diretamente voltado ao controle da qualidade da água e da poluição hídrica, tendo como objetivo assegurar águas com qualidade compatível aos usos mais exigentes e reduzir os custos de controle da poluição por meio de ações preventivas permanentes (Brasil, 1997). A Resolução CONAMA nº 357/2005 regulamenta esse enquadramento em âmbito federal, definindo classes para águas doces, salobras e salinas, além dos limites para parâmetros físicos, químicos e biológicos (Brasil, 2005). No estado de São Paulo, essa classificação foi estabelecida antecipadamente pelo Decreto Estadual nº 10.755/1977, sendo posteriormente complementada pelas diretrizes federais, entre elas a Resolução CNRH nº 91/2008, que dispõe sobre os procedimentos gerais para

o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos (São Paulo, 1977; CNRH, 2008).

Para garantir a adequação da água aos múltiplos usos, como abastecimento humano, irrigação, recreação e preservação da biodiversidade, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) atua no monitoramento da qualidade da água em âmbito federal. A qualidade hídrica é influenciada tanto por fatores naturais das bacias hidrográficas quanto por atividades antrópicas, que podem comprometer suas funções ecológicas e sanitárias. Com o objetivo de padronizar os critérios de coleta, análise e interpretação dos dados entre os estados brasileiros, a ANA instituiu, em 2013, a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade da Água (RNQA), um avanço importante para a gestão integrada dos recursos hídricos no país (ANA, 2013). Apesar desse avanço, o acompanhamento sistemático do atendimento às metas de enquadramento, em especial das metas intermediárias previstas para a sua efetivação, ainda carece de aprimoramento, o que remete diretamente à questão da conformidade dos corpos hídricos às classes estabelecidas.

A avaliação da conformidade aos padrões de enquadramento, no entanto, representa um desafio técnico relevante. O monitoramento da qualidade da água gera um grande volume de dados, e a análise isolada de múltiplos parâmetros dificulta uma interpretação integrada das condições dos corpos hídricos. Para enfrentar essa dificuldade, índices e indicadores de qualidade da água têm sido amplamente adotados como instrumentos de síntese, traduzindo informações complexas em valores de fácil interpretação para gestores, pesquisadores e sociedade, embora não substituam a análise individual dos parâmetros monitorados (CETESB, 2023).

No estado de São Paulo, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) realiza o monitoramento das águas superficiais desde 1975, utilizando índices consolidados como o Índice de Qualidade das Águas (IQA), voltado principalmente ao acompanhamento da contaminação por esgotos domésticos nas águas destinadas ao abastecimento público, ainda que, diante da diversificação atual dos usos da água, passe a servir também como referência para outras finalidades; o Índice do Estado Trófico (IET), focado no grau de enriquecimento por nutrientes; e o Índice de Qualidade das Águas para a Proteção da Vida Aquática (IVA), que incorpora parâmetros de toxicidade e condições essenciais à biota aquática (CETESB, 2023). Ainda assim, por muito tempo não houve índice concebido especificamente para avaliar o atendimento ao enquadramento. De fato, embora amplamente utilizados e

reconhecidos, os índices adotados pela CETESB apresentam uma limitação em comum: nenhum deles avalia, de forma direta e integrada, a conformidade da qualidade da água em relação às metas de enquadramento estabelecidas legalmente.

A efetivação do enquadramento, contudo, não se dá de imediato: a Resolução CNRH nº 91/2008 estabelece que ela se realiza por meio de metas progressivas de qualidade da água, intermediárias e final, cujo alcance depende de um programa específico, com ações e prazos definidos (Brasil, 2008). O acompanhamento dessas metas ao longo do tempo requer instrumentos capazes de aferir a conformidade da qualidade da água. É nesse contexto que o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) se apresenta como uma ferramenta complementar e muito relevante.

O índice foi proposto por Amaro (2009) a partir da adaptação da metodologia do *Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index* (CCME, 2001). O ICE avalia três dimensões da desconformidade: a abrangência dos parâmetros que não atendem aos padrões, a frequência das desconformidades ao longo do tempo e a amplitude dos desvios em relação aos limites estabelecidos. Sua principal vantagem está na flexibilidade, que permite ao usuário selecionar os parâmetros mais adequados à realidade de cada bacia hidrográfica, adaptando o índice às características ambientais e aos usos preponderantes da água. O ICE é reconhecido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) como ferramenta de apoio à gestão dos recursos hídricos, embora sua aplicação ainda seja restrita a poucas bacias no país (ANA, 2013).

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 18, São José dos Dourados (UGRHI 18), localizada no extremo noroeste do estado de São Paulo, é um exemplo de bacia onde o ICE ainda não foi aplicado nem incorporado à rotina de gestão dos recursos hídricos. A UGRHI 18 é uma bacia predominantemente rural, marcada pela presença de pastagens, cana-de-açúcar e baixa cobertura vegetal nativa, fatores que favorecem a ocorrência de processos erosivos e exercem pressão sobre a qualidade das águas (CBH-SJD, 2022). O monitoramento da qualidade da água nessa bacia é realizado pela CETESB por meio dos índices convencionais, sem que haja registro de avaliação sistemática da conformidade ao enquadramento por meio do ICE.

O rio São José dos Dourados, principal curso d'água da UGRHI 18, com extensão de 346,77 km, está enquadrado como Classe 2 para águas doces, conforme

o Decreto Estadual nº 10.755/1977. Apesar de o monitoramento apontar, em geral, boas condições de qualidade quando avaliado pelo IQA, outros índices mais específicos, como o IVA e o IET, revelam trechos com condições mais críticas, especialmente nas áreas sob maior influência das atividades agrícolas (CBH-SJD, 2022). Cada índice, contudo, avalia dimensões distintas da qualidade da água, de modo que essas divergências decorrem menos de maior ou menor rigor e mais dos diferentes objetos de avaliação de cada um. Esse cenário levanta uma questão central para a gestão dos recursos hídricos na bacia: em que medida a qualidade da água do rio São José dos Dourados atende às metas de enquadramento estabelecidas para Classe 2, quando avaliada por meio do Índice de Conformidade ao Enquadramento?

Além disso, considerando que a UGRHI 18 apresenta alta erodibilidade dos solos e erosividade das chuvas, e que os processos erosivos podem carrear sedimentos e elementos químicos para os cursos d'água, comprometendo sua qualidade, este estudo propõe também a incorporação de variáveis relacionadas a esses processos no cálculo do ICE. Essa abordagem, ainda pouco explorada na literatura, amplia o potencial analítico do índice e contribui para uma avaliação mais completa das condições hídricas da bacia.

Diante do exposto, esta pesquisa busca aplicar o ICE ao rio São José dos Dourados, nos pontos de monitoramento SJDO 02150 e SJDO 02500, utilizando dados de monitoramento disponibilizados pela CETESB para o período de 2013 a 2023 para o ponto SJDO 02150 e para o período de 2012 a 2023 para o ponto SJDO 02500. A avaliação foi organizada em dois grupos de parâmetros (Qualidade da Água e Processos Erosivos), tendo como referência normativa a Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2. Como Produtos Técnicos Tecnológicos, a pesquisa resultou em três entregas voltadas aos membros do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH): um manual técnico contendo diretrizes e procedimentos para a aplicação do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) no monitoramento da qualidade das águas superficiais, com integração da análise de variáveis relacionadas aos processos erosivos; um vídeo explicativo (tutorial), disponibilizado no YouTube, com o passo a passo para o cálculo do ICE e uma planilha em Excel e na Calculadora CCME WQI. Os produtos têm como público-alvo pessoas atuantes no SINGREH como gestores, membros de comitês de bacia e órgãos técnicos. O objetivo é subsidiar a gestão dos recursos hídricos e o

acompanhamento do enquadramento dos corpos hídricos, ampliando o uso do ICE em outras bacias hidrográficas do país.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a conformidade da qualidade da água e de processos erosivos no rio São José dos Dourados, na UGRHI 18, em relação às classes de enquadramento estabelecidas, por meio da aplicação do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) (WQI, 2017).

2.2. Objetivos Específicos

- Selecionar os parâmetros de qualidade da água com base nas diretrizes da Resolução CONAMA nº 357/2005, Classe 2, considerando os usos preponderantes e as características ambientais da bacia, adotando como critérios de seleção a existência de limite legal na referida resolução e a disponibilidade de série histórica de monitoramento na CETESB;

- Aplicar o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), baseado na metodologia do CCME WQI, aos pontos selecionados do rio São José dos Dourados, SJDO 02150 e SJDO 02500, no período de 2013 a 2023 para o ponto SJDO 02150 e de 2012 a 2023 para o ponto SJDO 02500;

- Comparar os resultados do ICE com os índices tradicionalmente utilizados no monitoramento da qualidade da água (IQA, IET e IVA), analisando as diferenças observadas entre as avaliações de cada índice;

- Incorporar ao cálculo do ICE variáveis associadas aos processos erosivos, avaliando sua contribuição para a caracterização da qualidade da água na bacia;

- Avaliar o uso do ICE como ferramenta de apoio à gestão da qualidade da água na UGRHI 18;

- Produtos Técnicos Tecnológicos:

a) Elaborar um manual técnico para membros do SINGREH, contendo diretrizes e procedimentos para a aplicação do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) no monitoramento da qualidade das águas superficiais, integrando a análise de variáveis relacionadas aos processos erosivos, de modo a subsidiar a gestão dos recursos hídricos e o acompanhamento do enquadramento dos corpos hídricos.

b) Realizar um vídeo explicativo (tutorial), no *YouTube*, sobre o cálculo do ICE em planilha Excel e na Calculadora CCME WQI, apresentando o passo a passo para que os membros do SINGREH possam utilizar o ICE em outros corpos d'água.

c) Disponibilizar uma planilha eletrônica, em formato Excel, estruturada para o cálculo do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), de modo que os membros do SINGREH possam aplicar o índice no monitoramento da qualidade das águas superficiais de outros corpos d'água.

3 JUSTIFICATIVA

A realização deste estudo justifica-se pela necessidade de ampliar a avaliação integrada da qualidade da água e da conformidade dos corpos hídricos em relação ao enquadramento, especialmente em bacias onde essa abordagem ainda não é aplicada de forma sistemática. Embora a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) reconheça e utilize o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) como ferramenta de apoio à gestão dos recursos hídricos, sua aplicação ainda é restrita a poucas bacias hidrográficas no país, a exemplo da bacia do rio Paranaíba, cujo Plano Integrado de Recursos Hídricos estruturou um Programa para Efetivação do Enquadramento com metas progressivas de qualidade da água (CBH Paranaíba, 2026). Na UGRHI 18, especificamente, o monitoramento da qualidade da água ocorre por meio de índices convencionais, não havendo registros do uso do ICE como instrumento de avaliação da conformidade ao enquadramento. A utilização do índice apresenta potencial para contribuir de forma mais abrangente para o planejamento ambiental e para a gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos na bacia do rio São José dos Dourados.

A aplicação do ICE em bacias brasileiras, embora ainda restrita, tem-se ampliado nos últimos anos e abrange diferentes regiões do país. Em Minas Gerais, o índice foi aplicado à calha do Rio das Velhas por Silva (2017), em 16 estações de monitoramento, e à bacia do Rio Santo Antônio por Reis *et al.* (2019), neste caso como subsídio à proposta de enquadramento e à identificação de áreas prioritárias de intervenção. No Rio Grande do Sul, foi empregado em escala regional por Hinata *et al.* (2023, 2024), que o aplicaram a dezenas de bacias hidrográficas do estado e avaliaram a evolução temporal das condições de qualidade da água. Em Pernambuco, Carvalho Filho *et al.* (2024) aplicaram o índice a três riachos urbanos de Recife enquadrados como Classe 2. Esses estudos evidenciam a utilidade do ICE como ferramenta de apoio ao planejamento e à gestão de bacias hidrográficas brasileiras, em contextos ambientais e escalas diversas.

A bacia do rio São José dos Dourados apresenta erosividade da chuva variando de moderada a forte (DATAGEO, 2022) e erodibilidade do solo predominantemente alta, fatores relevantes, uma vez que os processos erosivos podem influenciar diretamente a qualidade da água por meio do carreamento de partículas de solo para os cursos hídricos (Rossi; Nalon; Kanashiro, 2022).

Diante desse contexto, a aplicação do ICE na UGRHI 18 apresenta-se como uma oportunidade de aprimorar a avaliação integrada da qualidade da água, considerando não apenas os parâmetros tradicionalmente utilizados no monitoramento, mas também a relação entre os processos ambientais da bacia e o atendimento às metas de enquadramento. A ausência de estudos que utilizem essa ferramenta no rio São José dos Dourados reforça a relevância da presente pesquisa, ao contribuir para o avanço do conhecimento técnico e para o fortalecimento da gestão dos recursos hídricos na região. Os resultados obtidos e o manual técnico elaborados como produto desta pesquisa têm como público-alvo os comitês de bacia hidrográfica, os órgãos gestores de recursos hídricos e os próprios cidadãos das bacias hidrográficas, potenciais tomadores de decisão, oferecendo subsídios mais claros e objetivos para o planejamento ambiental, a definição de prioridades de intervenção e o acompanhamento das condições hídricas ao longo do tempo.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Enquadramento dos corpos d’água

A preocupação com a qualidade da água tem se intensificado nas últimas décadas, estando associada a diferentes aspectos da vida humana e ao equilíbrio dos ecossistemas. Esse aumento de atenção ocorre em escala global e relaciona-se a fatores como as mudanças climáticas, o crescimento populacional, o aumento da carga de contaminantes e evidências de comprometimento da biota aquática. Nesse contexto, pesquisadores de diversas áreas têm alertado para a relevância da avaliação, conservação, proteção e restauração dos recursos hídricos, resultando em um volume crescente de estudos voltados à compreensão das condições hídricas e ao suporte para ações de gestão ambiental (Bicudo; Tundisi; Scheuenstuhl, 2010).

Para caracterizar adequadamente os cursos d'água e subsidiar estratégias de planejamento e recuperação ambiental, torna-se fundamental considerar tanto as políticas públicas quanto os instrumentos técnicos de gestão da água. No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433/1997, estabeleceu diretrizes para o uso sustentável da água e definiu instrumentos de gestão, entre os quais se destaca o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes. Esse instrumento tem como objetivo assegurar águas com qualidade compatível aos usos mais exigentes, além de reduzir os custos de controle da poluição por meio de ações preventivas permanentes (Brasil, 1997). Diniz *et al.* (2006) destacam que a Política Nacional de Recursos Hídricos representou um avanço significativo ao inserir o enquadramento como principal instrumento de integração entre qualidade e quantidade de água, adotando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e o processo participativo como base para a definição das metas.

O enquadramento dos corpos d'água consiste, portanto, em um mecanismo de planejamento que estabelece metas de qualidade a serem alcançadas ou mantidas ao longo do tempo, orientando o monitoramento ambiental e as ações de gestão dos recursos hídricos. De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, o enquadramento permite integrar os aspectos de qualidade e quantidade da água, funcionando como referência para o licenciamento ambiental, o controle de

cargas poluidoras e a definição de prioridades de intervenção nas bacias hidrográficas (ANA, 2013).

A classificação dos corpos de água é regulamentada pela legislação ambiental. Em âmbito nacional, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece as diretrizes para a classificação das águas doces, salobras e salinas, bem como os padrões de qualidade e as condições para o lançamento de efluentes. Para as águas doces, são definidas classes que variam da especial à classe 4, cada uma associada a diferentes usos e limites para parâmetros físicos, químicos e biológicos, visando à proteção dos usos atuais e futuros dos recursos hídricos (Brasil, 2005).

No estado de São Paulo, a classificação das águas interiores foi inicialmente estabelecida pelo Decreto Estadual nº 10.755/1977, que antecedeu a Política Nacional de Recursos Hídricos, sendo posteriormente complementada pelas diretrizes da Resolução CONAMA nº 357/2005. Esse conjunto normativo orienta o planejamento da qualidade da água no estado, servindo como base para o monitoramento ambiental e para a definição de metas de recuperação dos corpos hídricos.

Apesar da consolidação das legislações, a efetivação do enquadramento depende de instrumentos capazes de avaliar o atendimento às metas de qualidade estabelecidas. Esse processo é disciplinado pela Resolução CNRH nº 91/2008, que institui o programa de efetivação do enquadramento e prevê metas progressivas — intermediárias e final —, estabelecendo prazos e o acompanhamento periódico do atingimento das classes de qualidade. É justamente nesse acompanhamento das metas intermediárias que o Índice de Conformidade ao Enquadramento se mostra particularmente útil, ao traduzir em medida sintética o grau de atendimento às condições exigidas. Nesse sentido, diversos autores destacam a importância do uso de indicadores e índices de qualidade da água como ferramentas que integram múltiplos parâmetros em uma medida sintética, facilitando a interpretação dos dados e o suporte à tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos. Diniz *et al.* (2006) reforçam essa perspectiva ao apontar que, apesar dos avanços legais, ainda existe a necessidade de instrumentos que permitam a aplicação efetiva do enquadramento como ferramenta de planejamento, garantindo a integração entre qualidade e quantidade de água. Essa abordagem contribui para o acompanhamento das condições ambientais dos corpos d'água e para a verificação da conformidade em relação às classes de enquadramento definidas.

A Resolução CNRH nº 91/2008 estabelece os procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos, determinando que ele corresponde ao estabelecimento de objetivos de qualidade a serem alcançados por meio de metas progressivas intermediárias e final, cujo alcance ou manutenção deve ser viabilizado por um programa para efetivação do enquadramento (Brasil, 2008). Esse programa, articulado ao plano de recursos hídricos da bacia, reúne as ações de gestão, os prazos de execução e os investimentos necessários à redução e ao controle das cargas poluidoras, prevendo ainda o monitoramento periódico dos corpos de água e a elaboração, a cada dois anos, de relatório técnico que identifique aqueles que não atingiram as metas estabelecidas (Brasil, 2008). É justamente no acompanhamento dessas metas intermediárias que o Índice de Conformidade ao Enquadramento se mostra particularmente útil, ao traduzir em medida sintética o grau de atendimento às condições exigidas.

4.2. Qualidade da água

A qualidade da água constitui um dos principais indicadores das condições ambientais dos corpos hídricos, estando diretamente relacionada à saúde pública, ao equilíbrio dos ecossistemas aquáticos e ao uso sustentável dos recursos naturais. Os indicadores e índices ambientais surgiram em resposta à crescente preocupação social com os impactos ambientais do desenvolvimento, um processo que demanda grande volume de informações e níveis crescentes de complexidade. Além disso, esses instrumentos tornaram-se fundamentais para subsidiar decisões no âmbito das políticas públicas e para o acompanhamento de seus efeitos, representando um desafio contínuo na sistematização de dados de forma acessível aos tomadores de decisão (CETESB, 2023).

A avaliação da qualidade da água envolve a análise de um conjunto de parâmetros físicos, químicos e biológicos que refletem tanto as condições naturais da bacia hidrográfica quanto as interferências antrópicas. Entre os fatores naturais destacam-se características geológicas, climáticas e hidrológicas, enquanto as principais influências antrópicas incluem o lançamento de efluentes domésticos e industriais, o escoamento superficial proveniente de áreas agrícolas e a remoção da cobertura vegetal. Esses fatores podem alterar significativamente as condições dos

corpos d'água, comprometendo sua potabilidade, sua capacidade de suporte à vida aquática e seus usos múltiplos (ANA, 2013).

Nesse contexto, o monitoramento sistemático da qualidade da água torna-se essencial para a identificação de tendências de degradação, para o diagnóstico de fontes de poluição e para o planejamento de ações de controle e recuperação ambiental. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico destaca que o acompanhamento contínuo permite avaliar o atendimento aos padrões legais de qualidade, bem como orientar políticas de gestão dos recursos hídricos em diferentes escalas territoriais (ANA, 2013).

No estado de São Paulo, a CETESB realiza o monitoramento da qualidade das águas superficiais desde a década de 1970, produzindo séries históricas de dados que subsidiam o planejamento ambiental e o gerenciamento das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI). Nesse processo, a utilização de índices de qualidade da água tem se mostrado uma estratégia eficiente para sintetizar informações complexas e facilitar a comunicação dos resultados. Entre os índices mais utilizados destaca-se o Índice de Qualidade das Águas (IQA), adotado desde 1975, com o objetivo de fornecer informações básicas sobre a qualidade da água ao público em geral e apoiar o gerenciamento ambiental das bacias hidrográficas paulistas (CETESB, 2023). Ribeiro (2018), ao avaliar a qualidade da água na bacia hidrográfica do rio São José dos Dourados com base nos dados da CETESB, demonstrou que, embora o IQA indique boas condições gerais, a análise individualizada dos parâmetros revela desconformidades relevantes em relação à Resolução CONAMA nº 357/2005, evidenciando as limitações do índice quando utilizado de forma isolada.

Embora os índices de qualidade da água sejam ferramentas importantes para a interpretação integrada dos dados, eles não substituem a análise detalhada dos parâmetros individuais, especialmente quando se busca compreender os processos ambientais que influenciam os corpos hídricos. Nesse sentido, o diagnóstico ambiental e o planejamento do uso da água dependem da disponibilidade de dados consistentes e de séries históricas adequadas, bem como de sistemas de informação organizados e acessíveis. A combinação entre o monitoramento de variáveis específicas e o uso de instrumentos sintéticos de avaliação constitui, portanto, uma base fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos, sendo a proteção dos mananciais e

o tratamento de esgotos prioridades para a melhoria da qualidade da água (Tucci; Hespanhol; Cordeiro Netto, 2001).

4.3. IQA, IET e IVA

A CETESB utiliza um conjunto de índices de qualidade da água com o objetivo de atender aos diferentes usos dos recursos hídricos, de forma complementar entre si. Entre os diversos índices adotados, destacam-se para os fins deste estudo o Índice de Qualidade das Águas (IQA), o Índice do Estado Trófico (IET) e o Índice de Qualidade das Águas para a Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas (IVA), por sua relevância no monitoramento das bacias hidrográficas paulistas e por sua relação direta com os parâmetros avaliados no presente trabalho. O IQA, incorporado pela CETESB em 1975 a partir de metodologia desenvolvida pela *National Sanitation Foundation* dos Estados Unidos, foi elaborado para avaliar a qualidade da água bruta destinada ao abastecimento público, considerando sua adequação ao tratamento convencional, com base em nove variáveis que refletem, principalmente, a influência da contaminação por esgotos domésticos. Apesar de sua ampla aplicação e facilidade de comunicação com o público, o IQA apresenta limitações por não considerar variáveis importantes, como metais pesados, toxicidade e a presença de cianobactérias (CETESB, 2023). Ribeiro (2018) verificou essa limitação na prática ao aplicar o índice na bacia do rio São José dos Dourados, onde o IQA indicou boas condições gerais de qualidade, enquanto a análise individualizada dos parâmetros revelou desconformidades em relação à Resolução CONAMA nº 357/2005.

Vale destacar que as faixas de classificação do IQA variam entre os estados brasileiros. No estado de São Paulo, adota-se o modelo da CETESB, no qual os valores são classificados em cinco categorias: ótima (80 a 100), boa (52 a 79), razoável (37 a 51), ruim (20 a 36) e péssima (0 a 19). Esse critério difere do adotado por outros estados, como Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul, que utilizam faixas distintas para as mesmas categorias (ANA, 2024). Essa variação reforça a necessidade de atenção ao modelo adotado em cada contexto de monitoramento, especialmente em análises comparativas entre bacias de diferentes unidades da federação.

Em razão das limitações do IQA, a CETESB passou a adotar, a partir de 2002, índices mais específicos para diferentes finalidades, entre eles o IVA, voltado à preservação da vida aquática. Esse índice é considerado mais representativo das condições ambientais dos corpos hídricos, por incorporar os efeitos de contaminantes químicos tóxicos, variáveis essenciais à biota, como pH e oxigênio dissolvido, além do grau de enriquecimento por nutrientes. O IVA combina o Índice de Variáveis Mínimas para a Preservação da Vida Aquática (IPMCA), que considera a concentração de substâncias tóxicas e variáveis essenciais à biota, com o IET, gerando uma classificação que varia de ótima a péssima (CETESB, 2023).

Nesse contexto, o IET assume papel fundamental, uma vez que avalia o estado trófico dos corpos d'água, indicando o nível de nutrientes e os processos de eutrofização associados ao crescimento excessivo de algas e cianobactérias. Os resultados classificam os corpos d'água em categorias que variam de ultraoligotrófico a hipereutrófico, permitindo identificar o grau de comprometimento do corpo hídrico pelo enriquecimento por nutrientes, conforme metodologia desenvolvida por Lamparelli (2004) e adotada pela CETESB. O IET também é utilizado de forma complementar na classificação da qualidade da água por meio do Índice da Comunidade Fitoplanctônica (ICF), ampliando a compreensão dos efeitos da produtividade biológica sobre os ecossistemas aquáticos (CETESB, 2023).

O monitoramento da qualidade da água envolve um grande volume de parâmetros físicos, químicos e biológicos, cuja análise isolada, embora necessária em determinados contextos, pode dificultar a interpretação integrada dos resultados. Nesse sentido, cada índice cumpre um papel específico e complementar: o IQA fornece uma visão geral da qualidade para abastecimento, o IET indica o grau de enriquecimento por nutrientes e o IVA avalia as condições para a proteção da vida aquática. Embora a CETESB utilize ainda outros índices de monitoramento, nenhum deles avalia de forma direta a conformidade da qualidade da água em relação às metas de enquadramento estabelecidas legalmente. Essa lacuna evidencia a relevância do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), que se diferencia dos demais por ter como foco específico o acompanhamento do atendimento às classes de enquadramento ao longo do tempo, oferecendo um instrumento complementar e objetivo de apoio à gestão dos recursos hídricos.

4.4. Processos erosivos

Os processos erosivos estão associados à interação entre as chuvas, as características do solo e o relevo, sendo um dos principais fatores de degradação ambiental em bacias hidrográficas. De acordo com Andrade, Freitas e Landers (2010), a erosão hídrica resulta do desprendimento e do transporte de partículas do solo pela ação das chuvas e do escoamento superficial, sendo influenciada tanto pelas características naturais do ambiente quanto pelas práticas de manejo adotadas nas áreas agrícolas e rurais. A intensificação do uso do solo, associada à remoção da cobertura vegetal, favorece a exposição da superfície às chuvas intensas, ampliando as taxas de perda de solo e o carreamento de sedimentos para os cursos d'água.

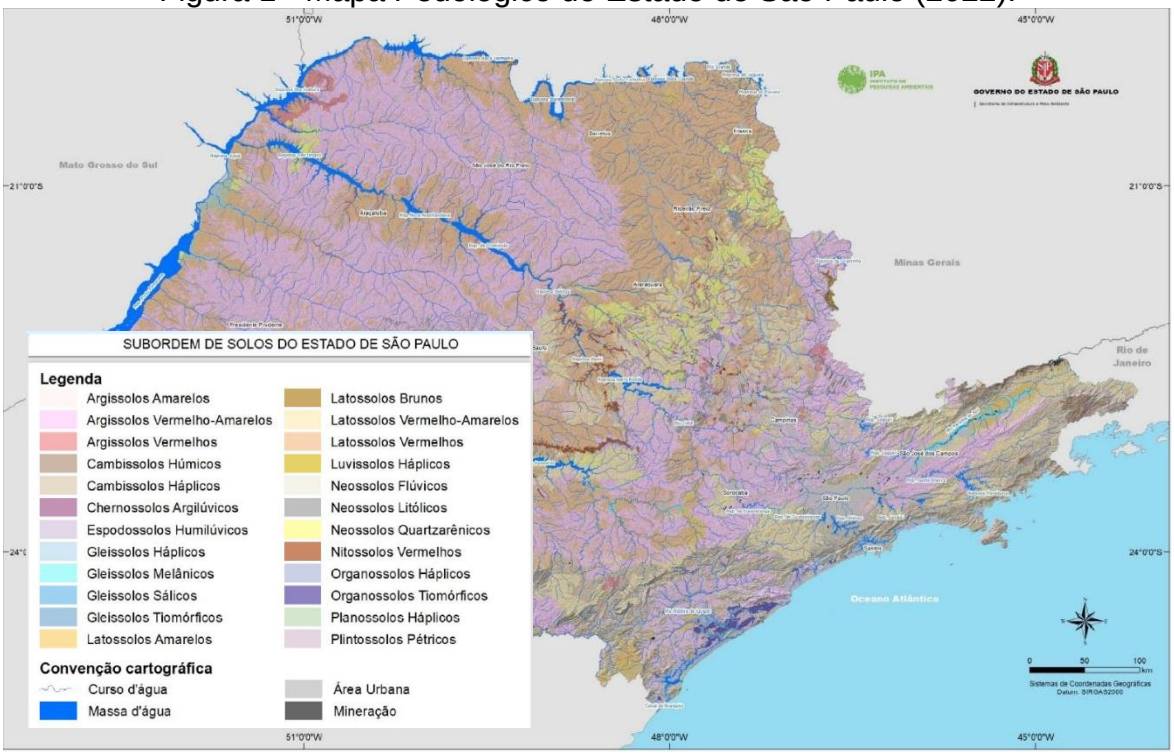
Conforme Rossi, Nalon e Kanashiro (2022), a ocorrência da erosão hídrica depende, principalmente, da intensidade das chuvas, da maior ou menor resistência dos solos e da inclinação do terreno. Quando esses fatores se combinam de forma desfavorável, aumentam as perdas de solo e o transporte de sedimentos para os cursos d'água. No estado de São Paulo, as chuvas apresentam elevado potencial erosivo, o que favorece a ocorrência de processos erosivos, sobretudo em áreas com solos mais vulneráveis e relevo mais inclinado. Entre os tipos de solo predominantes destacam-se os Latossolos e os Argissolos, sendo estes últimos mais suscetíveis à erosão. Essa maior vulnerabilidade está relacionada à facilidade com que o solo é desagregado pela ação da chuva e transportado pelo escoamento superficial (Rossi; Nalon; Kanashiro, 2022).

Os Argissolos Vermelho-Amarelos merecem destaque por concentrar grande parte das ocorrências de erosão registradas no estado, muitas delas classificadas como de alta intensidade. Essa condição está associada às suas características naturais, que favorecem o desprendimento das partículas do solo, especialmente quando há ausência de cobertura vegetal adequada. Como outros solos tropicais, esse tipo apresenta ferro e alumínio em sua composição, principalmente na forma de óxidos, elementos que influenciam suas propriedades químicas e que, diante da intensificação dos processos erosivos, podem ser carreados para os cursos d'água, comprometendo a qualidade das águas superficiais (Sato, 2013 apud Guidolini, 2015).

A UGRHI 18 apresenta predominância desse tipo de solo, o que contribui para a maior vulnerabilidade da região à erosão hídrica (Ribeiro, 2018). Na bacia do rio São José dos Dourados, Ribeiro (2018) identificou alta suscetibilidade a processos

erosivos, associada às características pedológicas da região e ao predomínio de atividades agropecuárias, fatores que favorecem o carreamento de sedimentos e o comprometimento da qualidade das águas superficiais. Associada às chuvas intensas e às mudanças no uso do solo, essa condição reforça a importância do manejo adequado e de práticas conservacionistas como forma de reduzir os processos erosivos e proteger a qualidade das águas superficiais da bacia (Rossi; Nalon; Kanashiro, 2022). A Figura 1 apresenta o mapa pedológico do Estado de São Paulo e a UGRHI 18 apresenta predominância de Argissolos.

Figura 1 - Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (2022).

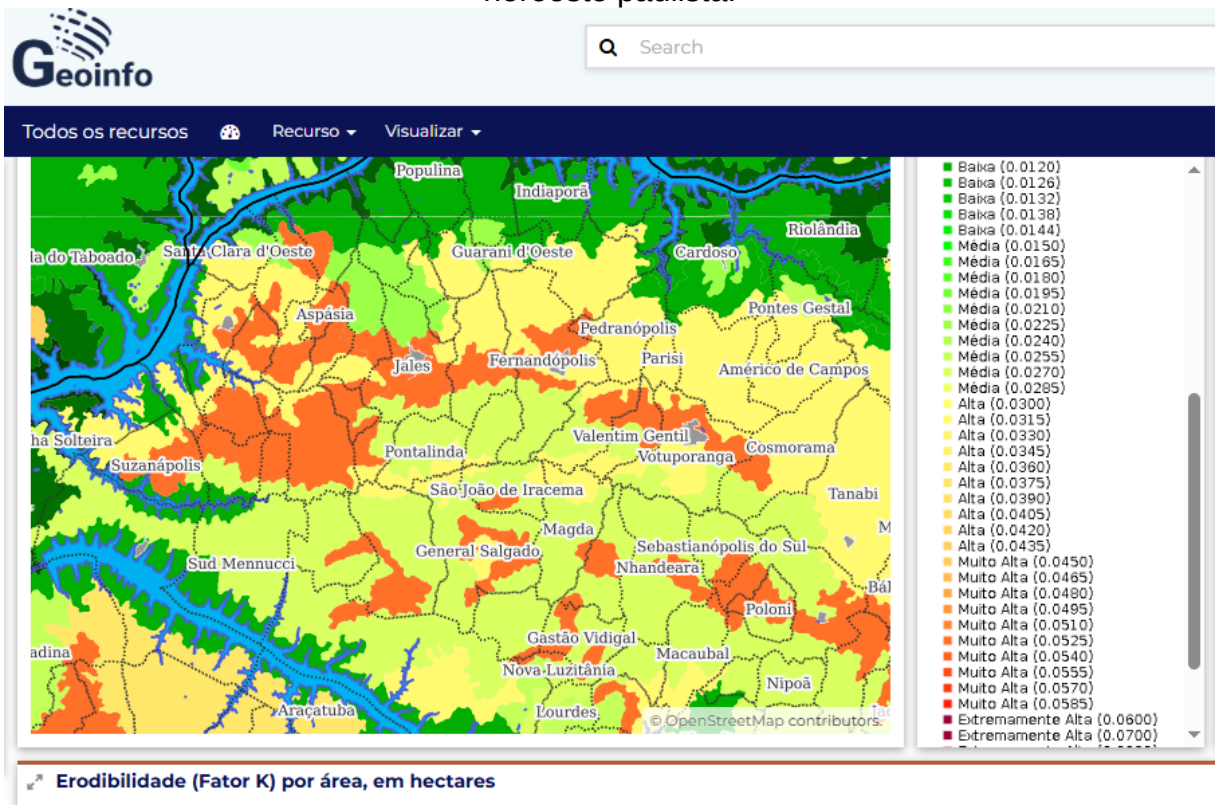


Fonte: (ROSSI; NALON; KANASHIRO, 2022, p. 21).

A erodibilidade corresponde à vulnerabilidade natural do solo à ação da chuva e do escoamento superficial, estando relacionada às suas características intrínsecas, como textura, estrutura, teor de matéria orgânica e permeabilidade. Solos com maior variação de textura entre os horizontes superficiais e subsuperficiais tendem a apresentar maior facilidade de desagregação e transporte de partículas, favorecendo os processos erosivos (Kertzman *et al.*, 1995). A região da UGRHI 18 apresenta erodibilidade alta e muito alta, conforme evidenciado pelo mapa de erodibilidade dos solos disponível nos metadados da EMBRAPA (EMBRAPA, 2024). A Figura 2

apresenta o recorte da região da UGRHI 18 com predominância de erodibilidade alta e muito alta.

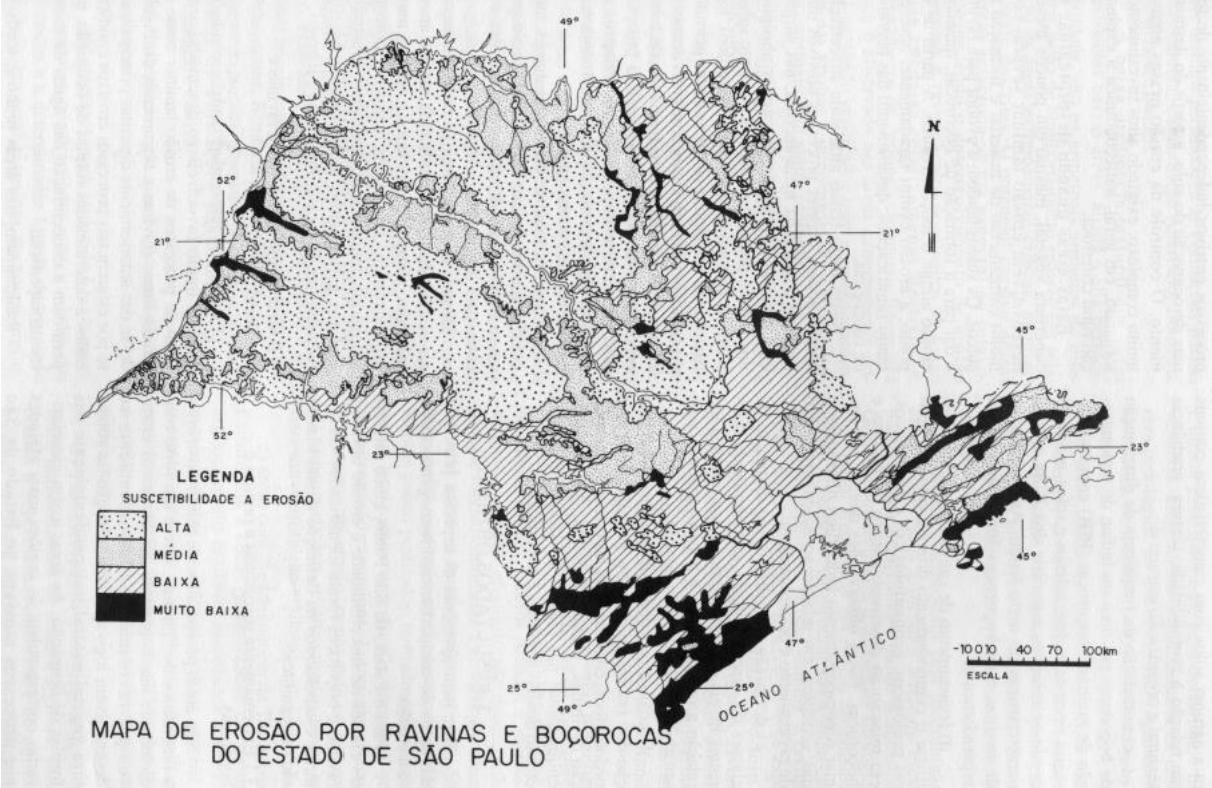
Figura 2 - Recorte do mapa de erodibilidade dos solos brasileiros com foco na região noroeste paulista.



Fonte: (EMBRAPA, 2024).

Os estudos sobre suscetibilidade à erosão no estado de São Paulo indicam que áreas classificadas como muito suscetíveis ou altissimamente suscetíveis estão associadas, em grande parte, a solos com elevado gradiente textural e condições de relevo favoráveis ao desenvolvimento de ravinas e boçorocas (Kertzman *et al.*, 1995). Essa é exatamente a realidade da região noroeste paulista, onde o gradiente textural marcante dos solos predominantes, combinado à redução da cobertura vegetal, resulta em maior erodibilidade e maior incidência de processos erosivos. A Figura 3 evidencia a região da UGRHI 18 com alta suscetibilidade à erosão.

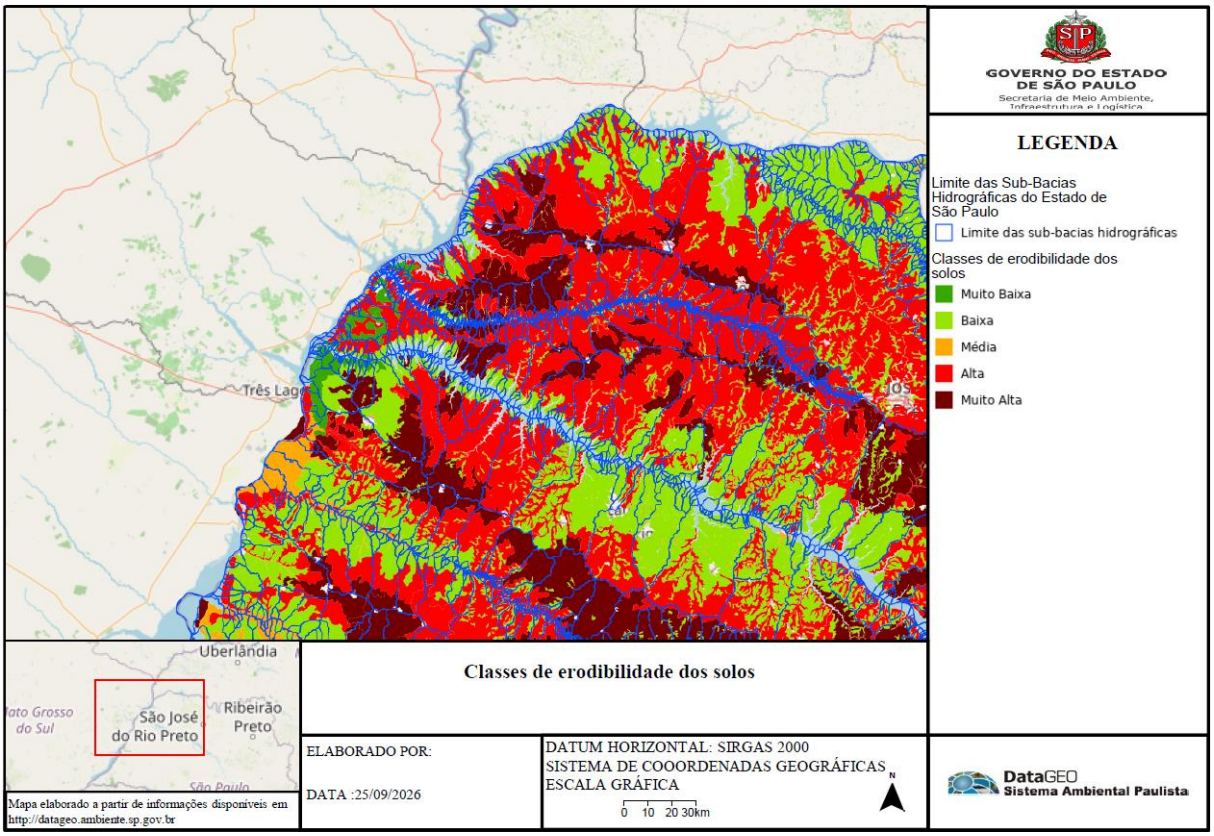
Figura 3 - Mapa de Erosão, devido a Ravinas e Boçorocas, do Estado de São Paulo.



Fonte: (KERTZMAN *et al*., 1995, p. 33).

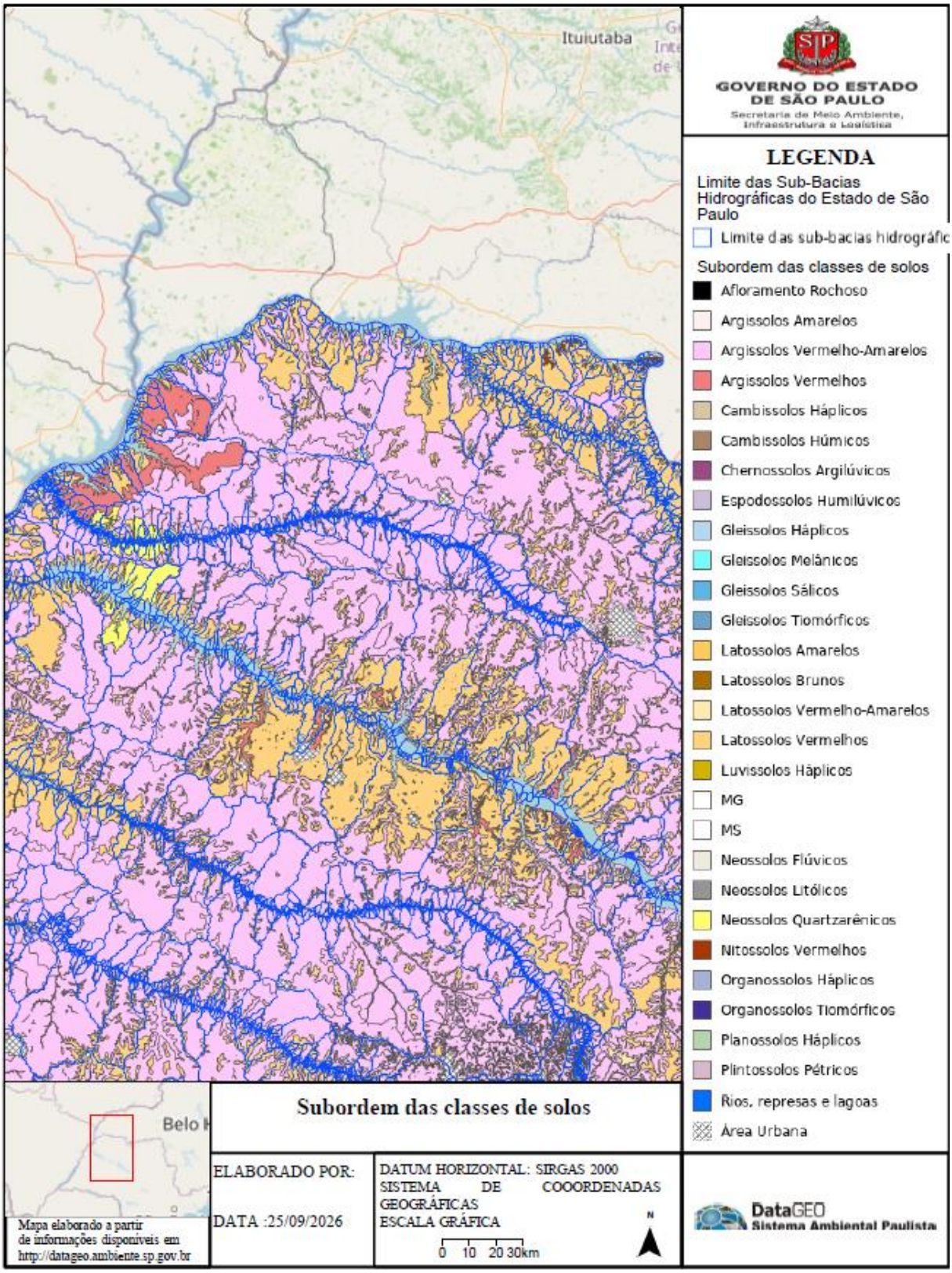
O Plano de Bacia do Rio São José dos Dourados destaca que o uso e ocupação do solo influenciam diretamente a proteção superficial, sendo que a expansão de culturas como a cana-de-açúcar pode aumentar a relação entre escoamento superficial e infiltração, reduzindo a proteção do solo e favorecendo os processos erosivos (CBH-SJD, 2022). Assim, a compreensão da erodibilidade na UGRHI 18 é fundamental, pois a intensificação da erosão contribui para o carreamento de sedimentos aos cursos d'água, com reflexos diretos na qualidade das águas superficiais. A Figura 4 apresenta a região da UGRHI 18 com erodibilidade dos solos classificada predominantemente em alta e muito alta e a Figura 5 confirma a classificação predominante dos Argissolos Vermelho-Amarelos.

Figura 4 - Classes de erodibilidade dos solos na região noroeste do estado de São Paulo.



Fonte: (DATAGEO, 2022).

Figura 5 - Mapa do tipo de solo da região, predominância de Argissolo Vermelho Amarelo.



Fonte: (DATAGEO, 2022).

A relação entre solo e água é apresentada como intrínseca, uma vez que o uso inadequado do solo afeta diretamente a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos. Segundo Andrade, Freitas e Landers (2010), a erosão favorece o transporte de sedimentos, nutrientes e outros contaminantes para os corpos d'água, contribuindo para o aumento da turbidez, o assoreamento e o enriquecimento nutricional, fatores que comprometem os usos múltiplos da água e os ecossistemas aquáticos. Além disso, o manejo inadequado da terra resulta em perdas de água, matéria orgânica e nutrientes, intensificando os processos de degradação ambiental em escala de bacia hidrográfica.

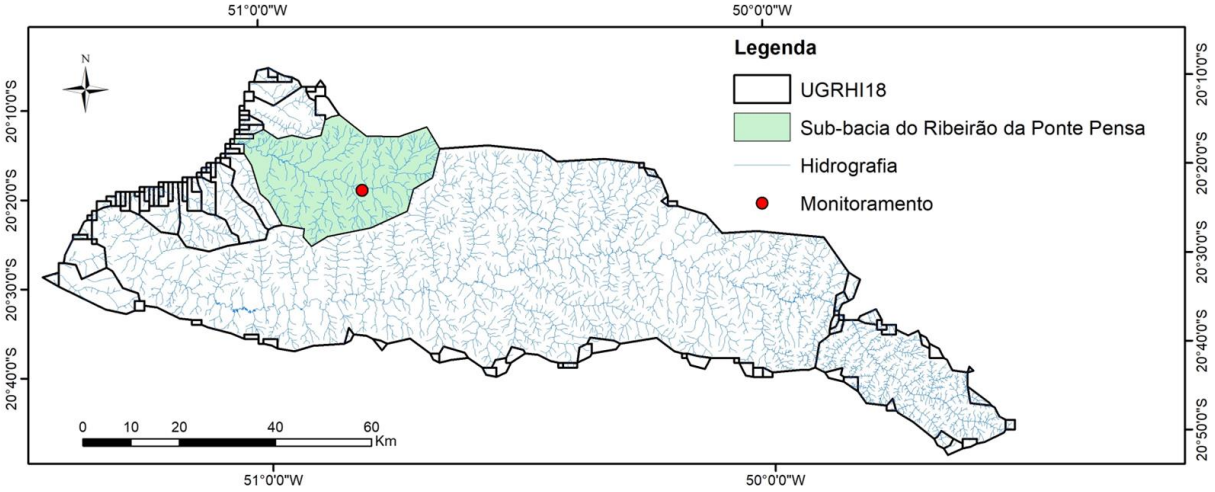
Nesse sentido, o manejo e a conservação do solo e da água assumem papel central na mitigação dos impactos ambientais e na melhoria da qualidade hídrica. A adoção de práticas conservacionistas contribui para a redução das taxas de erosão, o controle do transporte de sedimentos e a preservação dos mananciais, favorecendo uma gestão mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos (Andrade; Freitas; Landers, 2010). A utilização de indicadores e índices de qualidade da água se enquadra como uma ferramenta importante para o acompanhamento dos efeitos das práticas de manejo sobre os corpos hídricos, reforçando a necessidade de integração entre conservação do solo e gestão das águas.

Diante do exposto, a UGRHI 18 apresenta um conjunto de fatores naturais e antrópicos que a tornam particularmente vulnerável aos processos erosivos. A combinação entre solos de alta erodibilidade, baixa cobertura vegetal nativa e expansão de atividades agropecuárias configura um cenário de pressão contínua sobre os recursos hídricos da bacia. Nesse contexto, a incorporação de variáveis relacionadas aos processos erosivos na avaliação da qualidade da água, como proposto neste estudo por meio do ICE, representa uma abordagem mais integrada e representativa das condições ambientais da UGRHI 18.

O ponto de coleta está situado na sub-bacia do Ribeirão da Ponte Pensa, inserida na UGRHI 18, em trecho representativo das condições ambientais da região. Ao longo de um período de dois anos, foram realizadas coletas de amostras de solos e de sedimentos fluviais em suspensão nessa sub-bacia. Cinco amostradores de sedimentos em suspensão integrados no tempo (Phillips *et al.*, 2000) foram instalados no Ribeirão da Ponte Pensa, possibilitando coletas mensais dos sedimentos armazenados no período chuvoso. Durante esse intervalo, foram coletadas 31

amostras de solo e 16 amostras de sedimentos. As Figuras 6 e 7 apresentam a localização do monitoramento no Ribeirão da Ponte Pensa.

Figura 6 - Localização da sub-bacia do Ribeirão da Ponte Pensa na UGRHI 18.



Fonte: Mapa gerado por Bárbara Pereira Christofaro Silva, no âmbito do projeto CNPq/MCTI nº 404155/2023-5.

Figura 7 - Ponto de monitoramento de qualidade da água e sedimentos em suspensão na sub-bacia do Ribeirão da Ponte Pensa na UGRHI 18.



Fonte: Mapa gerado por Bárbara Pereira Christofaro Silva, no âmbito do projeto CNPq/MCTI nº 404155/2023-5.

As amostras de solos e de sedimentos foram secas em estufa a 40°C, destorroadas e peneiradas a seco em malha de 63 µm. A composição elementar das amostras foi determinada por fluorescência de raios X (XRF), usando um espectrômetro XRF portátil equipado com um tubo de raios X de 50 kV/100 µA. A

análise permitiu a quantificação de 29 elementos químicos: alumínio, antimônio, arsênio, bário, cádmio, cálcio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, enxofre, estanho, estrôncio, ferro, fósforo, magnésio, manganês, mercúrio, níquel, potássio, prata, rubídio, selênio, silício, tálio, titânio, vanádio, zinco e zircônio.

Os dados das análises foram disponibilizados em planilhas com a finalidade de permitir a comparação dos valores obtidos com os limites estabelecidos em diferentes legislações ambientais. Além dos 29 elementos analisados, foram incluídos outros parâmetros para fins de comparação, como alumínio dissolvido, cobre dissolvido, ferro dissolvido e a série nitrogenada (nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal). A Figura 8 apresenta os valores de mediana e máximo dos elementos analisados em amostras de solo e de sedimentos fluviais em suspensão coletados no escoamento, expressos em partes por milhão (ppm).

Figura 8 - Elementos analisados em solo e sedimentos.

		Valores em ppm para solos		Valores em ppm para sedimentos	
Inorgânicos	**Sigla**	**Mediana**	**Máximo**	**Mediana**	**Máximo**
Alumínio dissolvido		-	-	-	-
Alumínio total	Al	31440	48469	49686.5	59784
Antimônio total	Sb	0	0	0	52
Arsênio total	As	4	7	11.5	20
Bário total	Ba	0	519	677.5	734.5
Cádmio total	Cd	0	23	0	0
Cálcio total	Ca	2955	5070	8999.5	11437
Chumbo total	Pb	0	17	0	34
Cobalto total	Co	12	49	94.5	315
Cobre dissolvido			-	-	-
Cobre total	Cu	24	37	57.5	80
Cromo total	Cr	176	310	323.5	381
Enxofre total	S	0	249	0	0
Estanho total	Sn	0	11	0	8
Estrôncio total	Sr	18	43	85	106
Ferro dissolvido			-	-	-
Ferro total	Fe	27286	41980	114807.5	176650
Fósforo total	P	130	335	408	625
Magnésio total	Mg	9724	14893	7612.5	11150
Manganês total	Mn	356	546	8652.5	20472
Mercúrio total	Hg	0	13	0	0
Níquel total	Ni	21	36	49.5	81
Nitrato		-	-	-	-
Nitrito		-	-	-	-
Nitrogênio amoniacal total		-	-	-	-
Potássio total	K	5122	9684	4119.5	5275
Prata total	Ag	0	18	0	0
Rubídio total	Rb	38	76	45.5	75
Selênio total	Se	0	0	0	0
Silício total	Si	237367	258831	176009.5	212576
Tálio total	Tl	0	0	0	8
Titânio total	Ti	13010	21150	17326.5	22895
Vanádio total	V	454	740	745	999
Zinco total	Zn	35	51	100	167
Zircônio total	Zr	342	721	274	304

Fonte: Dados das análises de elementos em solo e sedimentos, organizados em planilhas de Excel. Informações fornecidas pela Profª. Bárbara Pereira Christofaro Silva, no âmbito do projeto CNPq/MCTI nº 404155/2023-5.

4.5. Uso e ocupação do solo

O uso e a ocupação do solo na UGRHI 18 estão ligados às atividades sociais e econômicas desenvolvidas na bacia e influenciam diretamente a forma como os recursos hídricos são utilizados. Conforme o Plano de Bacia do Rio São José dos Dourados (CBH-SJD, 2022), compreender essas dinâmicas é essencial para identificar as pressões sobre os corpos d'água e orientar ações de conservação e recuperação ambiental.

No contexto brasileiro, a utilização intensiva dos solos, aliada às mudanças na dinâmica de uso e cobertura da terra, tem provocado impactos ambientais

significativos em diferentes regiões do país, como processos de desertificação, assoreamento de corpos hídricos e degradação de áreas produtivas (Andrade; Freitas; Landers, 2010). Esse padrão se reflete também na UGRHI 18, em que o predomínio das atividades agropecuárias impõe pressões contínuas sobre a qualidade das águas superficiais.

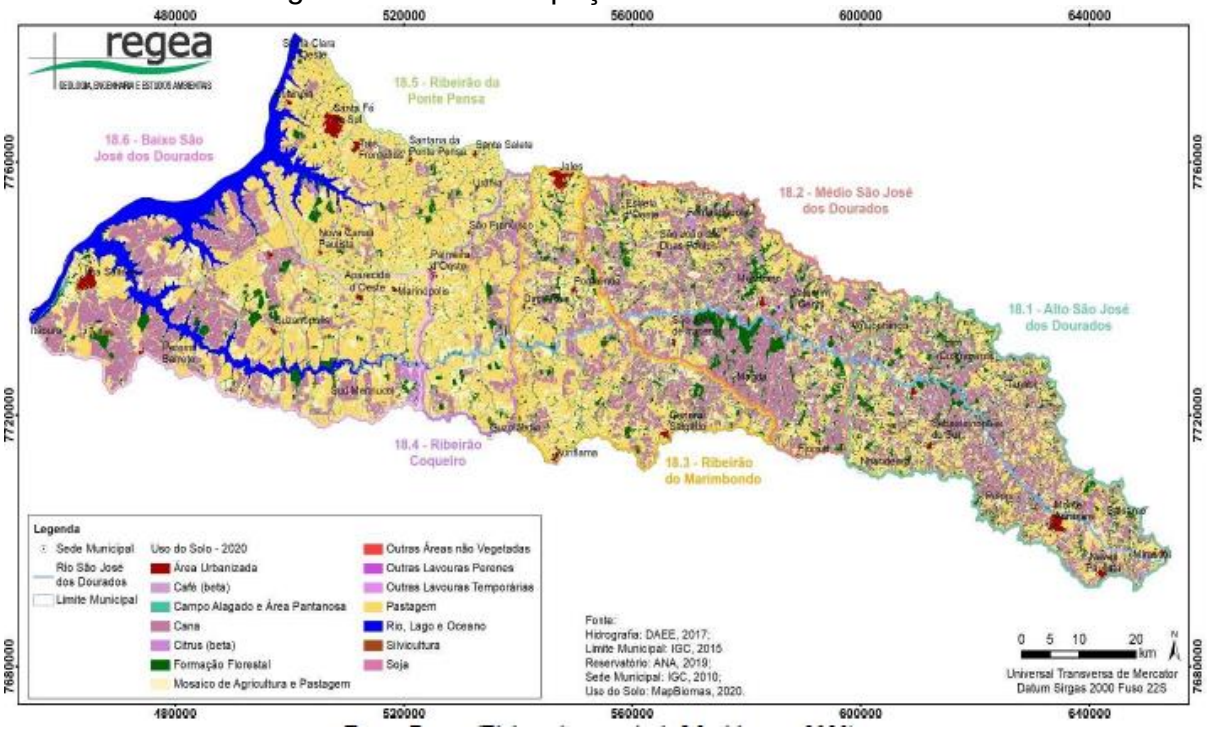
A análise do uso e ocupação do solo na UGRHI 18 evidencia o predomínio das atividades agropecuárias, que juntas ocupam a maior parte do território da bacia. A pastagem é a categoria de maior expressão territorial, seguida pela cana-de-açúcar e pelo mosaico de agricultura e pastagem, conforme detalhado na Tabela 1 e ilustrado na Figura 9. A distribuição dessas categorias varia entre as sub-bacias: as lavouras se concentram predominantemente nas sub-bacias do Alto e Médio São José dos Dourados, enquanto as pastagens são mais expressivas nas sub-bacias do Ribeirão Coqueiro, Ribeirão Marimbondo e Baixo São José dos Dourados. A agricultura é diversificada, com produção de culturas anuais, perenes e semiperenes, em sua maioria irrigadas com recursos hídricos superficiais e subterrâneos (CBH-SJD, 2022).

Tabela 1 - Uso e ocupação do solo na UGRHI 18 (2020).

Categoria de uso	Área (km²)	Percentual (%)
Área urbanizada	64,1	1,0
Outras áreas não vegetadas	3,5	0,1
Café (beta)	12,4	0,2
Cana-de-açúcar	1.719,5	25,6
Citrus (beta)	31,8	0,5
Outras lavouras perenes	0,9	0,0
Outras lavouras temporárias	2,0	0,0
Soja	6,0	0,1
Silvicultura	20,0	0,3
Mosaico de agricultura e pastagem	1.423,9	21,2
Pastagem	2.295,4	34,1
Campo alagado e área pantanosa	165,7	2,5
Rio, lago e oceano	326,3	4,8
Formação florestal remanescente	657,2	9,8
Total	**6.728,7**	**100**

Fonte: Plano de Bacia do Rio São José dos Dourados (2022), elaborado a partir de MAPBIOMAS (2020).

Figura 9 - Uso e ocupação do solo na UGRHI 18.



Fonte: Plano de Bacia do Rio São José dos Dourados (2022), elaborado a partir de MAPBIOMAS (2020).

Além da predominância das atividades agropecuárias, a bacia apresenta elevado uso da água para irrigação, tanto por captações superficiais quanto subterrâneas. Essa prática representa uma das principais demandas hídricas do meio rural e interfere na disponibilidade de água ao longo do ano. Por esse motivo, a caracterização do uso agrícola é importante para o planejamento da gestão dos recursos hídricos, uma vez que essa atividade influencia diretamente a quantidade e a qualidade da água na bacia (CBH-SJD, 2022).

O plano de bacia também aponta a ocorrência de atividades em Áreas de Preservação Permanente, como a extração de areia nas margens dos rios e a retirada de argila em áreas de várzea. Essas intervenções são ambientalmente sensíveis e podem intensificar processos de degradação dos corpos hídricos, exigindo maior controle e fiscalização.

Outro uso relevante do solo na UGRHI 18 está relacionado às atividades de mineração, voltadas principalmente ao fornecimento de materiais para a construção civil, como areia, brita e argila. Grande parte dessas áreas de extração localiza-se próxima aos cursos d'água, especialmente em depósitos de areia. De acordo com o Plano de Bacia do Rio São José dos Dourados (CBH-SJD, 2022), essas atividades geram impactos como a retirada da vegetação, a exposição do solo à erosão, o assoreamento de rios e a perda da camada superficial mais fértil do solo.

De forma geral, as diferentes formas de uso e ocupação do solo, associadas às características naturais da bacia, favorecem o transporte de sedimentos e poluentes para os cursos d'água. Assim, o planejamento do território e o controle das atividades potencialmente degradadoras são fundamentais para a proteção dos recursos hídricos e para a melhoria da qualidade da água na UGRHI 18 (CBH-SJD, 2022).

4.6. Índice de Conformidade ao Enquadramento

O ICE foi desenvolvido a partir da adaptação da metodologia do CCME WQI (2017), originalmente proposta pelo Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente, destacando-se pela flexibilidade na seleção das variáveis de qualidade da água. Essa abordagem tem sido reconhecida e utilizada por instituições brasileiras,

como a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), que adota o índice considerando os fatores abrangência, frequência e amplitude.

O CCME WQI baseia-se, originalmente, em um índice desenvolvido pelo Ministério do Meio Ambiente, Terras e Parques da Colúmbia Britânica (Rocchini; Swain, 1995), ao qual foram incorporadas modificações desenvolvidas pela província de Alberta, Canadá. Dessa forma, o índice apresenta forte similaridade com o Índice de Qualidade da Água Agrícola de Alberta (Wright *et al.*, 1999), refletindo uma evolução gradual e consistente do método.

O Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), proposto por Amaro (2009), consiste em uma ferramenta que permite avaliar o grau de afastamento entre a condição atual de um corpo hídrico e as metas de enquadramento estabelecidas. Além disso, o índice possibilita o acompanhamento da evolução da qualidade da água ao longo do tempo. No estudo de aplicação do ICE, Amaro (2009) analisou a qualidade da água na bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), utilizando dados das estações de monitoramento da CETESB e adotando legislações estaduais e federais como referência para a classificação dos corpos d'água. O cálculo do índice considerou todas as variáveis de qualidade da água monitoradas pela CETESB que possuem padrões estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/2005. Para a análise gráfica, foram selecionadas variáveis representativas do comportamento temporal do índice, como coliformes termotolerantes, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), pH e oxigênio dissolvido (OD), sendo pH e OD utilizados nos casos de corpos d'água enquadrados na Classe 4.

Os resultados indicaram que o ICE é uma ferramenta adequada para o acompanhamento do enquadramento dos corpos hídricos e para o apoio ao planejamento e à gestão dos recursos hídricos. Nas bacias do PCJ, a maioria dos pontos apresentou dificuldades em atender aos enquadramentos estabelecidos, com classificações predominantemente associadas às categorias de "afastado" ou "não conforme", especialmente em áreas urbanas e industriais. Esse comportamento evidencia a influência das cargas orgânicas e dos coliformes termotolerantes sobre a qualidade da água. A autora também aponta a possibilidade de aprimoramento do índice por meio da padronização de seu cálculo e da inclusão de outros componentes ambientais (Amaro, 2009).

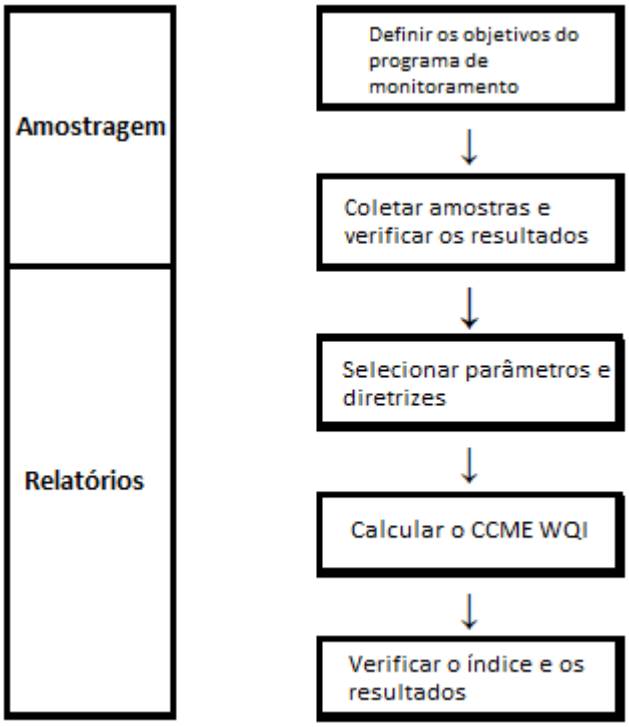
Outros autores também têm utilizado o ICE, ou o CCME WQI, como ferramenta para avaliar a conformidade da qualidade da água em diferentes contextos. Strada

(2021), por exemplo, analisou a qualidade da água nas sub-bacias do Arroio do Salso e do Arroio Lami, localizadas no município de Porto Alegre (RS), utilizando dados históricos do Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) no período de 1990 a 2019. O estudo considerou 43 parâmetros de qualidade da água e aplicou o IQA-CCME para avaliar a evolução temporal da qualidade da água e comparar as duas sub-bacias.

Os resultados indicaram diferenças significativas entre as áreas analisadas, evidenciando condições ambientais mais degradadas na sub-bacia do Arroio do Salso em relação ao Arroio Lami. Essa diferença foi atribuída, principalmente, à ocupação urbana mais intensa no Arroio do Salso, marcada pela presença de esgotos domésticos e ocupações irregulares, o que resultou em elevadas concentrações de coliformes termotolerantes e fósforo total. Em contraste, o Arroio Lami apresentou melhor qualidade da água, associada a uma maior preservação ambiental e ao predomínio de áreas de campo e mata (Strada, 2021).

Para a aplicação do CCME WQI, é fundamental que o objetivo do cálculo seja claramente definido antes de sua realização. Além disso, o manual estabelece um conjunto de regras de aplicação que devem ser observadas, conforme ilustrado na Figura 10, de modo a assegurar a consistência metodológica e a adequada interpretação dos resultados.

Figura 10 - Processo para utilização do CCME WQI, 2017, conforme manual.



Fonte: (CCME, 2017, adaptado).

a) **Preparação e validação dos dados.** Os dados devem ser previamente revisados para garantir qualidade, coerência de unidades, correção de valores extremos e adequação aos objetivos do monitoramento. Dados associados a eventos hidrológicos extremos devem ser avaliados com cautela antes de serem incluídos no cálculo.
b) **Uso de dados antigos.** Conjuntos de dados antigos podem apresentar limitações devido a métodos analíticos menos sensíveis e limites de detecção elevados, podendo gerar falsos positivos e influenciar negativamente o índice.
c) **Seleção adequada de parâmetros.** O CCME WQI deve incluir apenas parâmetros relevantes ao uso da água e aos estressores humanos presentes. O uso excessivo de parâmetros pode reduzir artificialmente o índice, enquanto parâmetros altamente correlacionados devem ser evitados.
d) **Tamanho mínimo do conjunto de dados.** O manual não recomenda conjuntos mínimos de dados e orienta que o índice não seja calculado com menos de quatro parâmetros e quatro campanhas amostrais por período. Para rios e córregos, recomenda-se aproximadamente dez amostras anuais, de

modo a capturar a variabilidade sazonal. Em casos em que o número ideal não é atingido, o cálculo pode ainda ser válido desde que as condições hidrológicas e os estressores do local sejam bem conhecidos e relativamente estáveis.

e) **Definição do período temporal.** O período de cálculo influencia diretamente o resultado do índice. Períodos mais longos reduzem flutuações naturais, enquanto períodos mais curtos são úteis para avaliar melhorias decorrentes de ações de controle. Um intervalo de cerca de três anos é geralmente recomendado.
f) **Comparabilidade entre índices.** Comparações do CCME WQI só devem ser feitas quando os mesmos conjuntos de parâmetros forem utilizados. Diferenças no tipo ou número de parâmetros comprometem a interpretação dos resultados.
g) **Consistência das diretrizes utilizadas.** As comparações só são válidas quando baseadas no mesmo conjunto de diretrizes de qualidade da água. Diretrizes distintas, voltadas a diferentes usos da água, produzem resultados não comparáveis.
h) **Adequação das diretrizes ao local.** Diretrizes genéricas podem não refletir as condições naturais regionais. Sempre que necessário, devem ser utilizadas diretrizes específicas para o local, considerando diferenças geológicas, hidrológicas e critérios de toxicidade crônica ou aguda.
i) **Validação do valor do índice.** O valor final do CCME WQI deve ser validado por julgamento técnico, análise de parâmetros dominantes, comparação com avaliações anteriores e integração com dados biológicos e de habitat.

De acordo com Amaro (2009), a adaptação da metodologia canadense para a construção do ICE permite avaliar de forma integrada a condição do corpo hídrico e sua variação ao longo do tempo. Essa abordagem mostra-se adequada por ser flexível na escolha das variáveis de qualidade da água e por permitir o acompanhamento do enquadramento ao longo do tempo, expressando a "distância" entre a condição observada e a condição desejada e oferecendo uma medida objetiva do grau de atendimento aos objetivos de qualidade definidos.

4.7. CCME WQI (Estudos de casos nacionais e internacionais)

No contexto nacional, destaca-se o estudo de Reis *et al.* (2019), que aplicou o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) na bacia do Rio Santo Antônio, em Minas Gerais, com o objetivo de apoiar a proposta de enquadramento e identificar áreas prioritárias de intervenção. A partir de dados de monitoramento, os autores verificaram que um dos trechos analisados apresentou condição mediana de conformidade, associada principalmente aos parâmetros *Escherichia coli* e fósforo total. O estudo evidencia a utilidade do ICE como ferramenta de apoio ao planejamento e à gestão de bacias hidrográficas brasileiras.

De forma semelhante, Rocha *et al.* (2022) utilizaram o ICE para avaliar os impactos de obras rodoviárias sobre a qualidade da água da Represa de São Pedro, em Juiz de Fora (MG), manancial de abastecimento público classificado como Classe 1. Os resultados indicaram piora nos valores do índice durante os períodos de intervenção, especialmente em função do aumento da turbidez, com melhora gradual nos anos seguintes. Ainda assim, a qualidade permaneceu abaixo da condição ideal para abastecimento, reforçando o potencial do ICE como instrumento de avaliação da conformidade ao enquadramento em contextos de pressão antrópica.

No estado da Bahia, Almeida e Oliveira (2018) aplicaram o CCME WQI à bacia do Rio Joanes, propondo uma adaptação ao método original de agregação de dados, com o objetivo de superar a perda de informação decorrente da variação no número de parâmetros entre campanhas de monitoramento. A modificação proposta pelos autores considerou a agregação por campanha amostral e por trecho de rio, garantindo o atendimento ao requisito mínimo de quatro parâmetros e quatro pontos por seção. O estudo demonstrou a flexibilidade do CCME WQI para diferentes configurações de monitoramento e reforçou a possibilidade de adaptações metodológicas em contextos brasileiros, onde a frequência de coleta nem sempre atende integralmente às recomendações originais do Manual Canadense.

Ainda no contexto nacional, Pires (2022) propôs a aplicação do CCME WQI na bacia do Rio das Velhas, em Minas Gerais, trecho enquadrado em diferentes classes ao longo de sua extensão. A pesquisa avaliou o desempenho do índice em eventos de rompimento de barragens de mineração, evidenciando sensibilidade na detecção espaço-temporal da deterioração da qualidade da água. Os resultados indicaram declínio do CCME WQI em praticamente todas as estações analisadas após o

rompimento da barragem de Fundão, sustentando a utilidade do índice como ferramenta de apoio à atuação proativa de gestores em situações de emergência ambiental.

No cenário internacional, a aplicação do CCME WQI é amplamente registrada na literatura. Kujiek e Sahile (2023) avaliaram a qualidade da água do rio Elgo, no sul da Etiópia, utilizando o CCME WQI em conjunto com outros índices de qualidade. Os resultados indicaram deterioração da água para consumo humano, associada a processos de erosão, sedimentação e atividades antrópicas, evidenciando a necessidade de tratamento prévio. Para fins de irrigação, as condições mostraram-se relativamente mais favoráveis, demonstrando a importância da utilização de índices específicos conforme o uso pretendido.

De modo semelhante, Kaur, Das e Sarma (2021) aplicaram o CCME WQI para avaliar a qualidade da água superficial no Santuário da Vida Selvagem Tal Chhapar, na Índia. A análise indicou qualidade classificada como razoável, adequada à fauna local, embora sujeita a variações sazonais. O estudo reforçou o potencial do índice como ferramenta de apoio ao monitoramento ambiental e à gestão de áreas protegidas.

A partir da revisão da literatura, observa-se que a avaliação da qualidade da água tem sido amplamente conduzida por meio de instrumentos legais, indicadores e índices que buscam sintetizar informações complexas e apoiar a gestão dos recursos hídricos. Os estudos analisados evidenciaram a relevância do enquadramento dos corpos d’água como instrumento de planejamento, bem como a importância do uso de índices de qualidade da água, em contextos nacionais e internacionais, para a interpretação dos dados e o acompanhamento das condições ambientais ao longo do tempo. Nesse sentido, metodologias flexíveis como o CCME WQI e suas adaptações apresentam-se como alternativas consistentes para avaliar a conformidade da qualidade da água frente aos usos estabelecidos, subsidiando ações de gestão e planejamento ambiental.

4.8. Aplicação do ICE em bacias brasileiras: panoramas regionais recentes

A aplicação do ICE em bacias brasileiras tem-se ampliado nos últimos anos, com estudos que abordam diferentes escalas, tipos de pressão antrópica e configurações de monitoramento. Silva (2017), em pesquisa desenvolvida na

Universidade Federal de Minas Gerais, aplicou o ICE em 16 estações localizadas na calha do rio das Velhas (MG), no período de 2009 a 2015, considerando nove parâmetros físico-químicos e biológicos: DBO, *Escherichia coli*, ferro dissolvido, fósforo total, manganês total, oxigênio dissolvido, turbidez, arsênio total e sólidos em suspensão totais. Os resultados indicaram afastamento generalizado em relação ao enquadramento vigente, com tendência de melhora gradual ao longo do período analisado. Os parâmetros com maior frequência de não conformidade foram a *Escherichia coli*, o manganês total, o arsênio total e o fósforo total, refletindo os principais usos da bacia: aglomerados urbanos, mineração e agricultura/pecuária.

No Rio Grande do Sul, Hinata *et al.* (2023) aplicaram o ICE em 172 estações de monitoramento, distribuídas em 19 bacias hidrográficas do estado, no período de 2015 a 2022. A análise considerou 13 parâmetros definidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, e os resultados indicaram que 45% das estações apresentaram classificação razoável e 41% classificação marginal / regular. Os autores identificaram como parâmetros mais frequentemente associados às não conformidades o cádmio, a *Escherichia coli*, o ferro, o fósforo total, o manganês e o oxigênio dissolvido. O estudo evidenciou que o ICE é uma ferramenta adequada para a comunicação da condição dos corpos hídricos a gestores e demais atores envolvidos, bem como para a comparação entre bacias distintas em escala regional.

Na mesma linha, Hinata *et al.* (2024) avaliaram a evolução temporal do ICE em 211 pontos de monitoramento distribuídos em 24 bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul, comparando os períodos de 2017 a 2019 e de 2020 a 2022. Os autores adotaram o recorte trienal como estratégia de agregação temporal e identificaram que os parâmetros que mais influenciaram os resultados foram a *Escherichia coli*, o fósforo e o oxigênio dissolvido, destacando os pontos mais distantes das metas de enquadramento. Os resultados reforçam o uso do ICE em análises de séries temporais e indicam a importância da continuidade do monitoramento para o acompanhamento das metas de enquadramento.

Em estudo mais localizado, Menegat *et al.* (2024) analisaram o cumprimento das metas de enquadramento em 11 pontos de monitoramento das sub-bacias urbanas de Caxias do Sul (RS), com base no cálculo do ICE e em análise probabilística para os períodos 2012–2014 e 2022. A pesquisa considerou 14 parâmetros físico-químicos e biológicos e identificou não conformidades persistentes em ambos os períodos avaliados, com destaque para os coliformes termotolerantes e

o fósforo como parâmetros que mais contribuíram para o afastamento do enquadramento. Os autores associam essa condição à contaminação por efluentes industriais e domésticos com elevada carga orgânica e ressaltam a importância da revisão dos enquadramentos com metas progressivas para o alcance das condições propostas.

No Nordeste, Moreira *et al.* (2024) aplicaram o CCME WQI em conjunto com o Índice de Poluição de *Nemerow* (NPI) em nove pontos da sub-bacia hidrográfica do Salgado, no Ceará, no período de 2018 a 2022, tendo como referência os limites da Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces Classe 2. Os resultados indicaram variação entre as categorias “bom” e “ruim” pelo CCME WQI e entre “ligeiramente poluído” e “fortemente poluído” pelo NPI, com os pontos SA5 e SA6, localizados no rio Salgadinho em Juazeiro do Norte e Crato, apresentando os piores desempenhos em razão do maior grau de antropização. Os parâmetros que mais contribuíram para as não conformidades foram o fósforo total, os coliformes termotolerantes, a cor verdadeira e a DBO. Os autores observaram que o NPI foi mais restritivo que o CCME WQI e recomendaram o uso do CCME WQI para programas de monitoramento de rotina, evidenciando a utilidade do uso conjunto de índices complementares na avaliação ambiental de bacias hidrográficas.

Em contextos urbanos, Carvalho-Filho *et al.* (2024) avaliaram a influência da urbanização e do revestimento da zona hiporreica sobre a qualidade da água de três riachos de Recife (PE) — Sítio dos Pintos, Cavouco e Parnamirim — enquadrados como Classe 2 pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Os autores aplicaram o ICE em conjunto com o IQA e o IET, em campanhas realizadas nos períodos de inverno e verão, para caracterizar a condição dos corpos hídricos. Os resultados evidenciaram que os três índices convergiram no diagnóstico de elevada degradação: o ICE classificou as águas como ruim e não conforme em todos os pontos, o IQA como ruim ou péssimo, e o IET como hipereutróficas. As não conformidades concentraram-se em parâmetros associados a esgoto sanitário, com aporte direto de material orgânico e fecal aos corpos hídricos. O estudo reforça a utilidade do uso conjunto de índices para a análise integrada da qualidade da água em corpos hídricos urbanos.

4.9. Caracterização e qualidade da água do rio São José dos Dourados

O Rio São José dos Dourados é o principal curso d'água da UGRHI 18 e tem papel fundamental na dinâmica hídrica da bacia. O rio pertence à Região Hidrográfica do Paraná (ANA, 2020) e nasce no município de Mirassol, percorrendo 346,77 km até desaguar no rio Paraná, onde forma o reservatório da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira. Ao longo de seu percurso, atravessa cinco das seis sub-bacias da UGRHI 18, passando pelos trechos Alto, Médio e Baixo São José dos Dourados, além das sub-bacias dos Ribeirões Marimbondo e Coqueiro, o que demonstra sua importância para o sistema de drenagem da região. O rio apresenta vazão média (Q médio) de 51 m^3/s, vazão mínima de referência ($Q_{7,10}$) de 12 m^3/s e vazão de permanência $Q_{95\%}$ de 16 m^3/s (CBH-SJD, 2022). O rio encontra-se enquadrado como Classe 2 para águas doces, conforme o Decreto Estadual nº 10.755/1977, classificação que orienta as metas de qualidade adotadas no presente estudo.

Entre seus principais afluentes destacam-se o Córrego Talhado, o Ribeirão Marimbondo e o Ribeirão Coqueiro. A rede de drenagem associada ao São José dos Dourados apresenta padrão do tipo dendrítico, comum em áreas com características geológicas semelhantes, formando uma malha de cursos d'água bem distribuída pela bacia, com maior concentração de pequenos afluentes no alto curso do rio, especialmente na porção leste da UGRHI 18 (CBH-SJD, 2022). A Figura 11 apresenta uma vista do rio na ponte da rodovia SP-463.

Figura 11 - Imagem do Rio São José dos Dourados na ponte da rodovia SP 463.



Fonte: (Leite, 2024).

A gestão dos recursos hídricos da bacia é realizada pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados (CBH-SJD), que integra o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do estado de São Paulo. O comitê reúne representantes do Estado, dos municípios, da sociedade civil e dos usuários de recursos hídricos, atuando de forma conjunta no planejamento e na proteção ambiental da bacia.

Entre suas principais atribuições está a elaboração e atualização dos Planos de Bacia Hidrográfica, que orientam o diagnóstico ambiental e as ações de gestão dos recursos hídricos. O primeiro plano foi elaborado em 2008, revisado em 2015 e atualizado em 2022, com o objetivo de aprimorar o planejamento da UGRHI 18 e fortalecer a gestão sustentável da bacia (CBH-SJD, 2022).

A qualidade da água superficial na UGRHI 18 é acompanhada por meio de diferentes índices, permitindo avaliar as condições ambientais nas principais sub-bacias do Rio São José dos Dourados e de seus afluentes. Segundo o Plano de Bacia do Rio São José dos Dourados (CBH-SJD, 2022), o monitoramento entre 2015 e 2019 considerou o Índice de Qualidade das Águas (IQA), o Índice de Qualidade das Águas

para a Proteção da Vida Aquática (IVA) e o Índice do Estado Trófico (IET), com análises nas sub-bacias do Alto São José dos Dourados, Ribeirão Marimbondo, Ribeirão da Ponte Pensa e Baixo São José dos Dourados.

De forma geral, o IQA indicou boa qualidade da água na maior parte da bacia, com classificações entre "boa" e "ótima". No entanto, ao utilizar índices mais específicos, observaram-se diferenças importantes entre os trechos monitorados. O Alto São José dos Dourados apresentou as condições mais críticas, com resultados ruins no IVA e elevados níveis de nutrientes, sendo classificado como eutrófico e supereutrófico ao longo do período analisado.

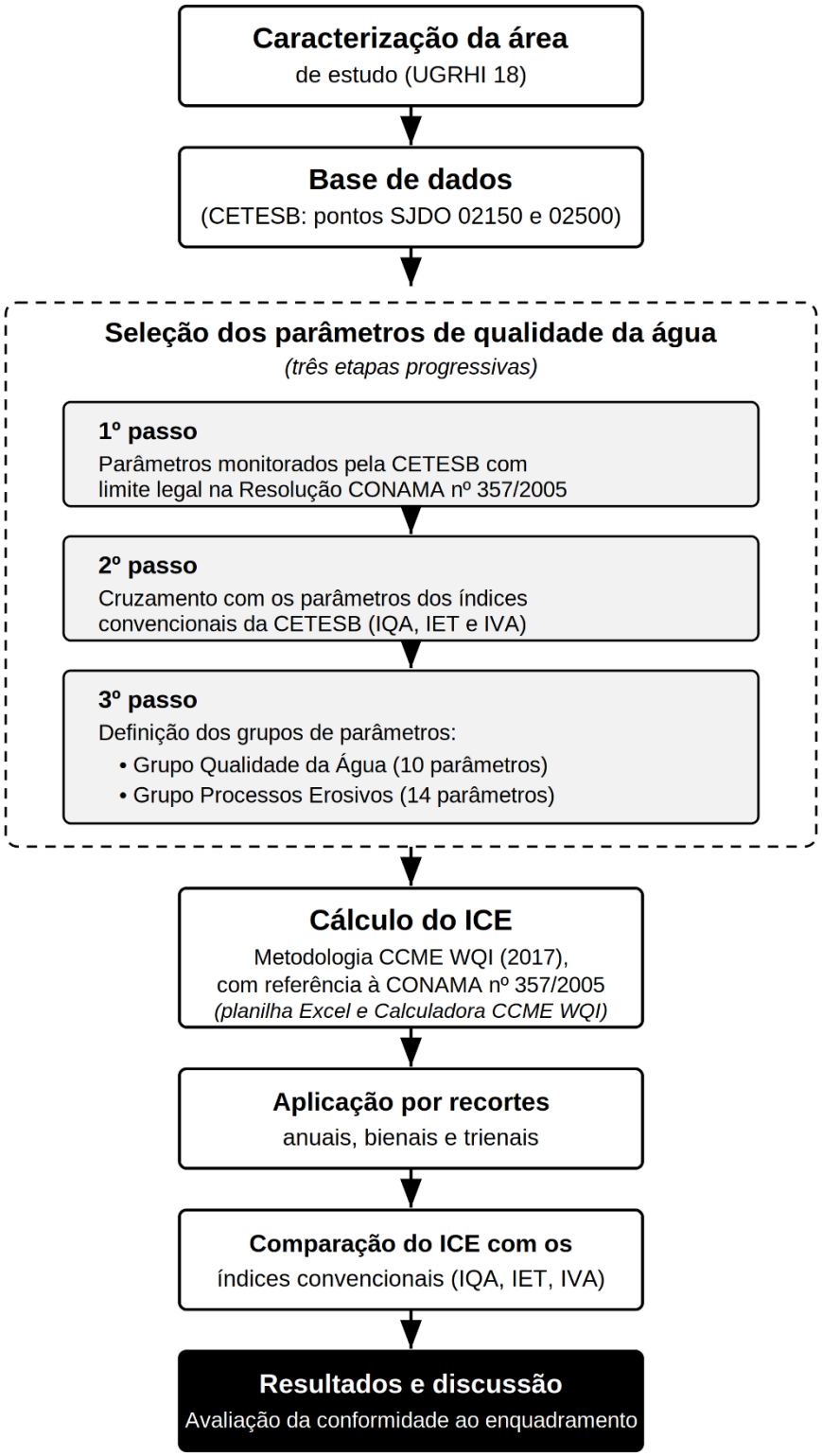
As demais sub-bacias apresentaram melhores condições ambientais, com predominância de classificações boas a ótimas no IVA e menores níveis de trofia, especialmente no Baixo São José dos Dourados. Esses resultados mostram que, apesar de a bacia apresentar, em geral, boa qualidade da água, existem trechos mais vulneráveis, reforçando a importância do monitoramento contínuo e do uso de diferentes indicadores para uma avaliação mais completa da situação hídrica (CBH-SJD, 2022).

Esse cenário converge com os resultados obtidos por Ribeiro (2018), que ao avaliar a qualidade da água da bacia com dados da CETESB, verificou que o IQA classificou a água entre ótima e boa, mas a análise individualizada dos parâmetros revelou que fósforo total, oxigênio dissolvido e *Escherichia coli* excederam os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces Classe 2. A autora associa essas alterações ao regime pluviométrico, ao lançamento de esgotos domésticos e à dissolução de compostos no solo, como fertilizantes e agrotóxicos, evidenciando que a avaliação exclusiva pelo IQA pode ocultar desconformidades relevantes para a gestão da qualidade da água na bacia.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 12 apresenta o fluxograma com as principais etapas metodológicas adotadas neste estudo. O percurso teve início com a caracterização da área e a organização da base de dados da CETESB, seguindo-se a seleção dos parâmetros, o cálculo do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) e a comparação com os índices convencionais (IQA, IET e IVA), com vistas à avaliação da conformidade ao enquadramento.

Figura 12 - Fluxograma com as etapas metodológicas.



Fonte: Elaborado pela autora.

5.1. Caracterização da Área de Estudo

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI 18 engloba a Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados e está localizada no extremo noroeste do estado de São Paulo (CBH-SJD, 2022). A unidade faz divisa, ao norte e nordeste, com a UGRHI 15 (Turvo/Grande), a sudeste com a UGRHI 16 (Tietê/Batalha) e ao sul com a UGRHI 19 (Baixo Tietê), conforme a Figura 13. A oeste, limita-se com o estado do Mato Grosso do Sul, tendo como elemento divisor o Rio Paraná, represado pelo reservatório de Ilha Solteira. Essa localização confere à bacia relevância estratégica do ponto de vista hidrológico e da gestão dos recursos hídricos, especialmente em função de sua conexão com o sistema do Rio Paraná.

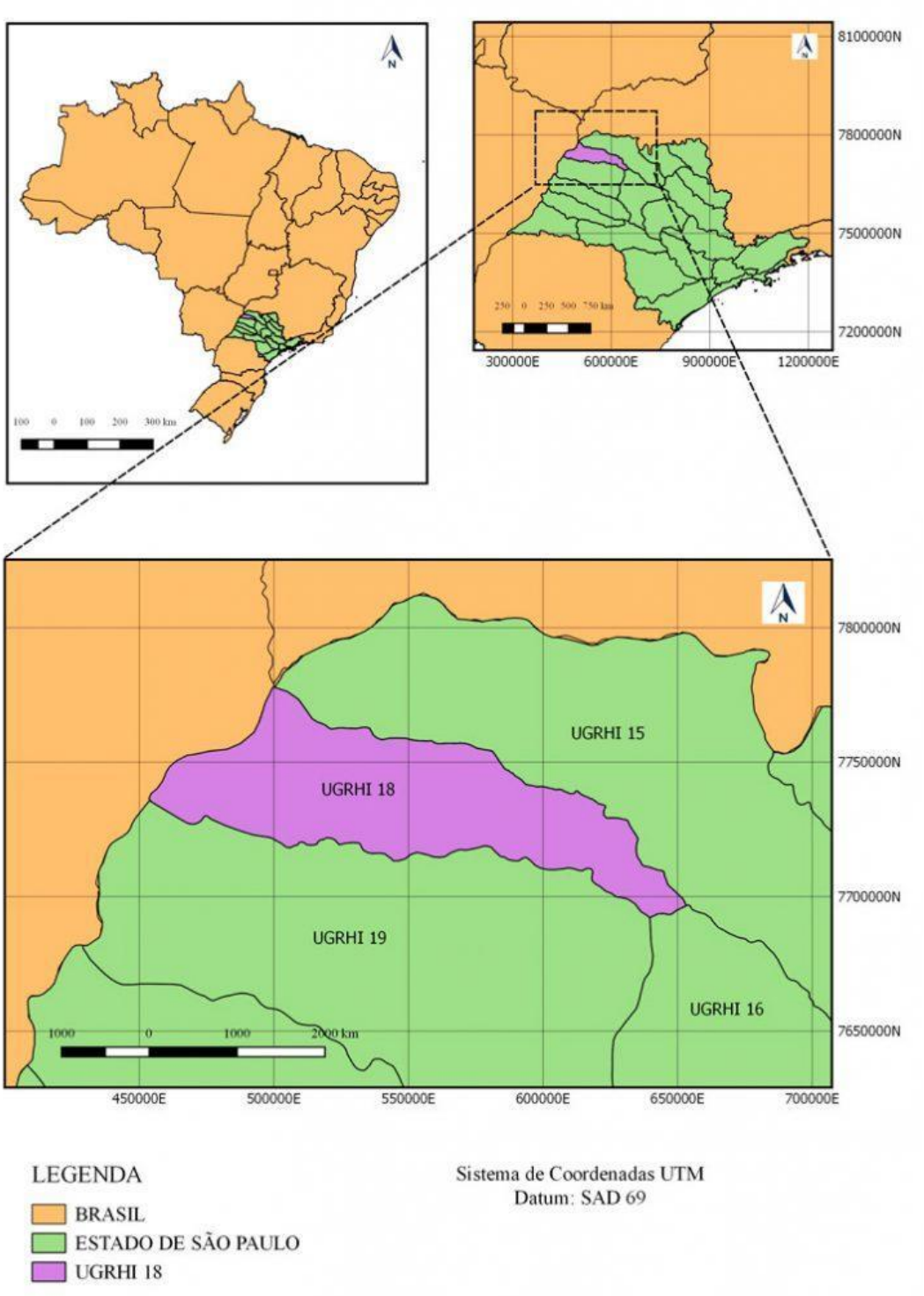
As Figuras 13 e 14 apresentam a localização da UGRHI 18 no estado de São Paulo.

Figura 13 - Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do estado de São Paulo.



Fonte: Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SigRH).

Figura 14 - Região Hidrográfica do São José dos Dourados.



Fonte: Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados.

A bacia hidrográfica do Rio São José dos Dourados possui área de drenagem de 6.728,70 km² e abriga uma população estimada em 229.214 habitantes. Seus principais cursos d'água são o rio São José dos Dourados e os Ribeirões Ponte Pensa, Coqueiro e Marimbondo (CBH-SJD, 2022).

A Figura 15 apresenta as divisões da UGRHI 18 em sub-bacias evidenciando que o Rio São José dos Dourados está presente em 5 das 6 sub-bacias.

Figura 15 - Divisão da UGRHI 18 por sub-bacias.



Fonte: Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados.

A UGRHI 18 é composta por 25 municípios, em sua maioria de pequeno porte, com forte vocação agropecuária (CBH-SJD, 2022). Conforme Ribeiro (2018), a bacia apresenta grande diversidade de práticas agrícolas, com destaque para culturas temporárias e permanentes, além de pecuária extensiva, atividades que representam a base socioeconômica da região. Essa vocação rural reflete-se diretamente na dinâmica de uso dos recursos hídricos, uma vez que a irrigação se configura como o principal uso consuntivo da água na bacia, exercendo pressão significativa sobre a disponibilidade hídrica superficial e subterrânea ao longo do ano. A Figura 16 apresenta os municípios pertencentes à UGRHI 18.

Figura 16 - Municípios da UGRHI 18.



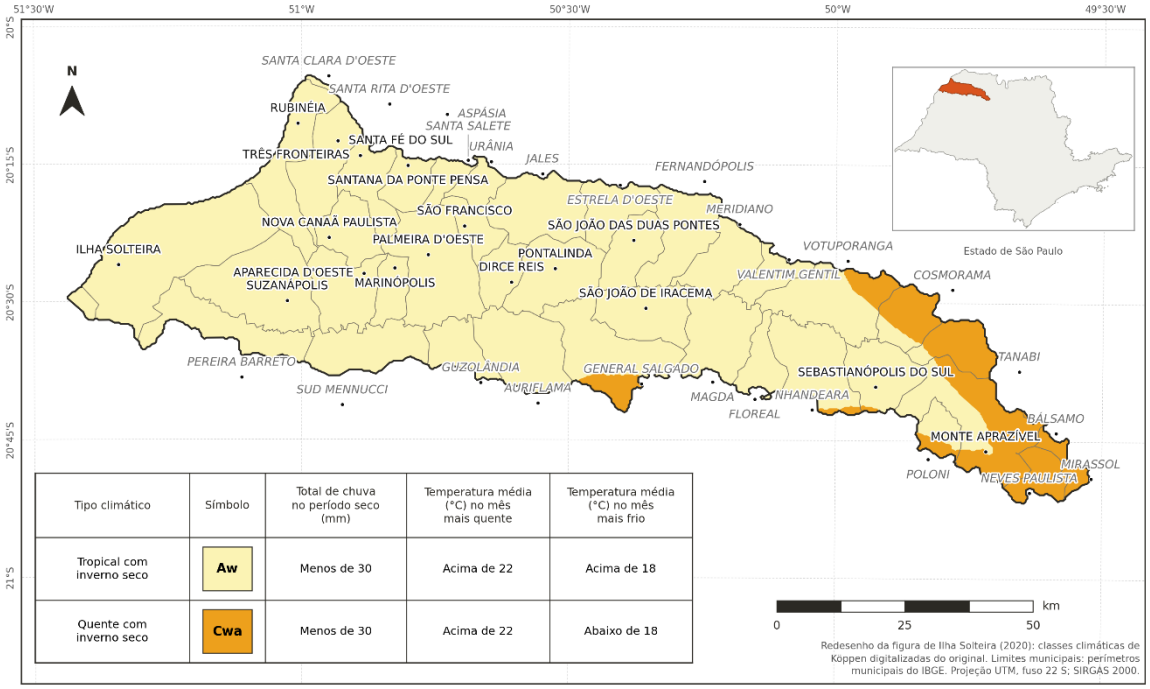
Fonte: Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados.

As atividades econômicas da região estão fortemente associadas ao meio rural, com destaque para a pecuária leiteira, a fruticultura e a piscicultura, enquanto os principais centros comerciais concentram-se nos municípios de Jales e Santa Fé do Sul. O padrão de drenagem da bacia é do tipo dendrítico, característico de áreas com substrato geológico relativamente homogêneo. Os aquíferos livres predominantes são o Bauru e o Serra Geral, responsáveis pelo armazenamento subterrâneo de água na região. A disponibilidade hídrica média estimada é de aproximadamente 51 m³/s para as águas superficiais e 4 m³/s para as águas subterrâneas.

A bacia do rio São José dos Dourados apresenta dois tipos climáticos segundo a classificação de Köppen: o clima Aw, tropical úmido com estiagem no inverno, predominante na maior parte da bacia, e o clima Cwa, quente e úmido com inverno seco, que abrange a porção extremo-leste, compreendendo municípios como Neves Paulista e Monte Aprazível (Figura 17) (Ilha Solteira, 2020). A concentração das chuvas no período de verão e a estiagem prolongada nos meses de inverno são características que influenciam diretamente a dinâmica erosiva da bacia, uma vez que as chuvas intensas sobre solos com baixa cobertura vegetal favorecem o desprendimento e o transporte de partículas para os cursos d'água. Além disso, a

região apresenta aproximadamente oito meses de deficiência hídrica no solo, entre abril e novembro, o que intensifica a demanda por irrigação e aumenta a pressão sobre os recursos hídricos superficiais da bacia.

Figura 17 - Tipos climáticos na bacia do rio São José dos Dourados.



Fonte: Plano de Saneamento Básico do Município de Ilha Solteira, 2020.

Essa dinâmica ocorre em um contexto de baixa cobertura vegetal nativa. A UGRHI 18 apresenta reduzida presença de vegetação natural remanescente, sendo identificados os biomas Mata Atlântica e Cerrado, com predomínio da Floresta Estacional Semidecidual e formação arbórea / arbustiva em região de várzea. Não há Unidades de Conservação na bacia, de modo que a caracterização ambiental relacionada à vegetação se restringe à cobertura existente e às Áreas de Preservação Permanente. Dados do Plano de Bacia do Rio São José dos Dourados (CBH-SJD, 2022), indicam que a cobertura vegetal nativa corresponde a aproximadamente 12,3% da área total da UGRHI 18, embora levantamentos anteriores apontem percentuais ainda menores, em torno de 6,5%, evidenciando a histórica redução da vegetação natural na região, diretamente relacionada à predominância do uso agropecuário, que ocupa a maior parte do território da bacia.

Em relação às Áreas de Preservação Permanente (APP), parte significativa ainda se encontra sem cobertura vegetal, especialmente em trechos das sub-bacias do Baixo e do Alto São José dos Dourados. Essa condição reforça a vulnerabilidade ambiental da bacia, uma vez que a supressão da vegetação ciliar pode comprometer a proteção dos cursos d'água, favorecer processos erosivos e influenciar a qualidade das águas superficiais.

A CETESB realiza o monitoramento ambiental contínuo com o objetivo de fornecer dados sobre a qualidade das águas interiores. Em 2024, as redes de monitoramento da CETESB, que incluem a Rede Básica, a Rede de Balneabilidade, a Rede de Sedimentos e as Estações Automáticas, totalizaram 619 pontos de amostragem em todo o estado de São Paulo, distribuídos entre as diferentes UGRHIs.

Na UGRHI 18, esse monitoramento é realizado por meio de seis estações de qualidade da água. Dentre esses pontos, dois foram selecionados para a aplicação da ferramenta ICE: os pontos SJDO 02150 e SJDO 02500, pertencentes às sub-bacias Alto São José dos Dourados e Ribeirão Marimbondo, respectivamente. A escolha desses dois pontos justifica-se por estarem situados no regime lótico do rio, representando de forma mais fidedigna a condição natural de fluxo fluvial, ao passo que os demais pontos monitorados encontram-se sob influência direta do reservatório de Ilha Solteira, o que descaracteriza o comportamento típico de rio.

Os detalhes dos pontos de monitoramento estão descritos na Tabela 2, bem como a distribuição espacial dos pontos de monitoramento estão na Figura 18, tais como, o código do ponto, o corpo hídrico pertencente, a cidade, o local de amostragem, além da localização da sub-bacia. Os pontos de amostragem não são de manancial e todos são integrados à ANA.

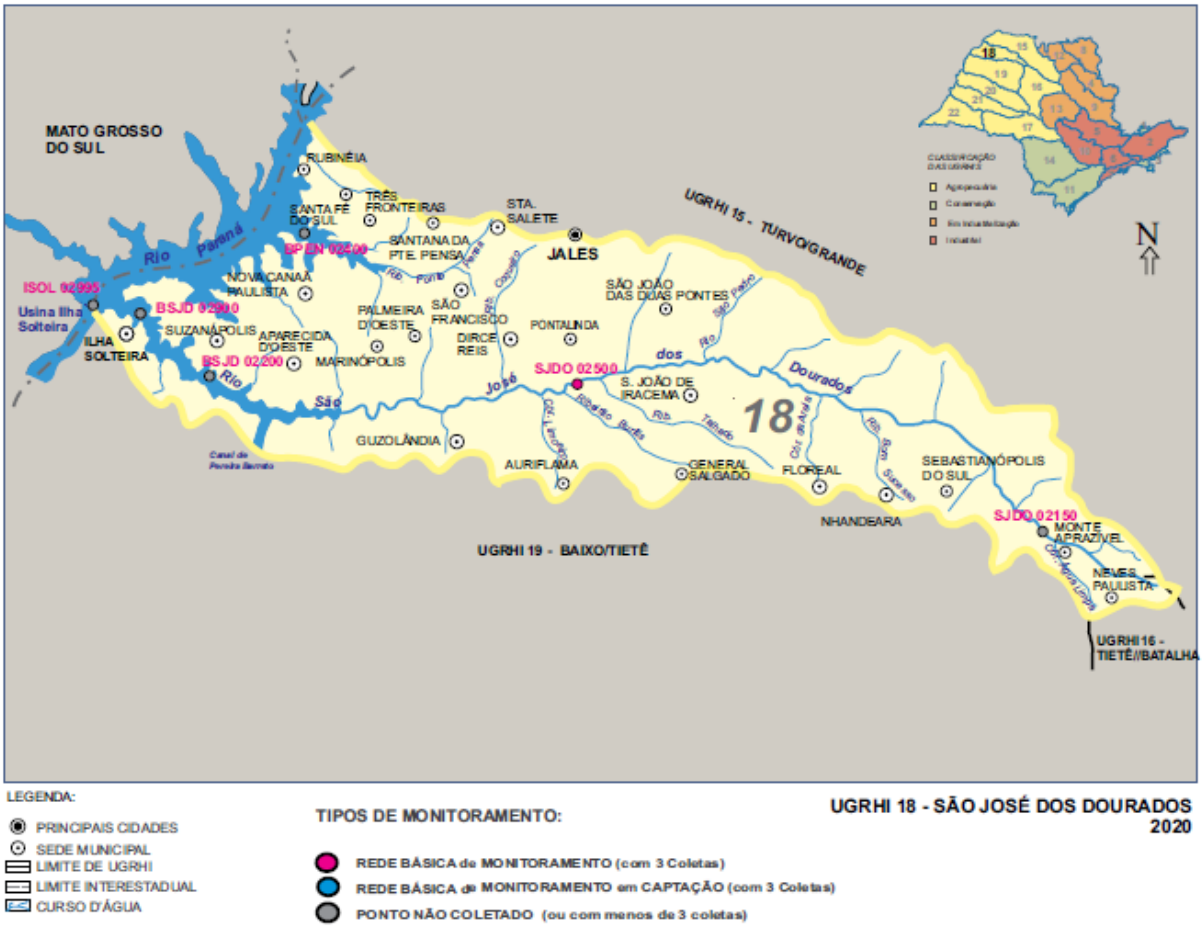
Tabela 2 - Informações sobre os pontos de monitoramento da qualidade da água superficial da UGRHI 18.

Código do ponto	**Corpo hídrico**	**Município**	**Local da amostragem**	**Sub-bacia**
BPEN 02400	Braço do Ribeirão da Ponte Pensa	Três Fronteiras	Ponte na rodovia dos Barrageiros (SP-595, km 101)	SB5 – RPP Ribeirão Ponte Pensa
BSJD 02200	Braço do Rio São José dos Dourados	Suzanápolis	Ponte vicinal Suzanápolis / Pereira Barreto, na divisa de município	SB6 – BSJD Baixo São José dos Dourados
BSJD 02900	Braço do Rio São José dos Dourados	Ilha Solteira	Ponte na rodovia dos Barrageiros entre os municípios de Ilha	SB6 – BSJD Baixo São José dos Dourados

			Solteira / Três Fronteiras	
ISOL 02995	Reservatório de Ilha Solteira	Ilha Solteira	Na barragem do reservatório de Ilha Solteira (SP-310)	SB6 – BSJD Baixo São José dos Dourados
SJDO 02150	Rio São José dos Dourados	Monte Aprazível	Na ponte da estrada de terra das 2 pontes, à jusante da ETE de Monte Aprazível	SB1 – ASJD Alto São José dos Dourados
SJDO 02500	Rio São José dos Dourados	General Salgado	Ponte da rodovia SP-463, no trecho que liga Araçatuba a Jales	SB3 – RM/SJD Ribeirão Marimbondo

Fonte: Adaptado de CETESB (2024) e Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados (2022).

Figura 18 - Pontos de monitoramento da qualidade da água superficial.



Fonte: CETESB.

Dessa forma, a caracterização da UGRHI 18 mostra uma bacia fortemente influenciada pelas atividades agropecuárias, pelas mudanças no uso e ocupação do solo e pela baixa cobertura vegetal nativa, fatores que aumentam a suscetibilidade a processos erosivos e geram pressões sobre a qualidade das águas superficiais.

Embora os dados de monitoramento indiquem, em geral, boas condições de qualidade da água, a ocorrência de trechos mais críticos evidencia a necessidade de acompanhamento contínuo e de análises complementares. Nesse contexto, a disponibilidade de dados sistemáticos da CETESB e a escolha de pontos representativos na bacia fornecem uma base adequada para a aplicação de ferramentas de avaliação da conformidade ao enquadramento na UGRHI 18. Ressalva-se que os pontos utilizados se situam nas porções de cabeceira e mediana da bacia, e não em seus exutórios.

5.2. Base de dados

Este estudo utilizou dados secundários obtidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), referentes aos pontos de monitoramento SJDO 02150 e SJDO 02500 da Rede Básica na UGRHI 18. A densidade total de pontos de monitoramento na UGRHI 18 é de 0,88 ponto por 1.000 km² (CETESB, 2024), valor que contabiliza também estações localizadas no reservatório de Ilha Solteira.

Dessa forma, para este estudo foram selecionados os dois pontos situados no regime lótico do Rio São José dos Dourados — SJDO 02150 e SJDO 02500 — por representarem de forma mais fidedigna à condição natural de fluxo fluvial, sem interferência direta do reservatório de Ilha Solteira. A escolha desses pontos também se baseou na análise dos resultados do IQA, que demonstraram que, entre os seis pontos monitorados pela CETESB, os dois pontos selecionados refletem com maior precisão o estado real do Rio São José dos Dourados. Essa diferença é coerente com o Relatório de Situação da Bacia (2024, ano-base 2023), mencionando que:

> A análise para águas superficiais fica prejudicada, já que na UGRHI 18 a rede atual de pontos não reflete, em visão detalhada, o verdadeiro impacto dos fenômenos naturais, nem daqueles derivados da atividade humana. (CBH-SJD - RELATÓRIO DE SITUAÇÃO, 2024, p. 24).

Conforme os Relatórios de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo (2024), as médias anuais do IQA classificaram os pontos BPEN 02400, BSJD 02200, BSJD 02900 e ISOL 02995 como Ótimos; SJDO 02500 como Bom; e SJDO 02150 como Regular. Ressalta-se, contudo, que, até a data de conclusão deste

estudo, os valores médios de 2024 ainda não haviam sido integralmente disponibilizados no portal da CETESB (CETESB, 2024).

Este estudo considerou a base de dados de monitoramento disponibilizada pela CETESB em uma faixa temporal de 11 a 12 anos. Para o ponto SJDO 02500, foram utilizados dados do período de 2012 a 2023, uma vez que esse ponto dispõe de série histórica completa na base da CETESB. Para o ponto SJDO 02150, a série utilizada compreende o período de 2013 a 2023, em razão da ausência, na base da CETESB, de dados sistemáticos anteriores a 2013 para esse ponto de monitoramento. Os cálculos do ICE foram aplicados prioritariamente em recortes anuais, adotando-se agregações bienais quando o número de amostras em um único ano era insuficiente para atender ao mínimo exigido pela metodologia do CCME WQI ou trienais para registrar tendências.

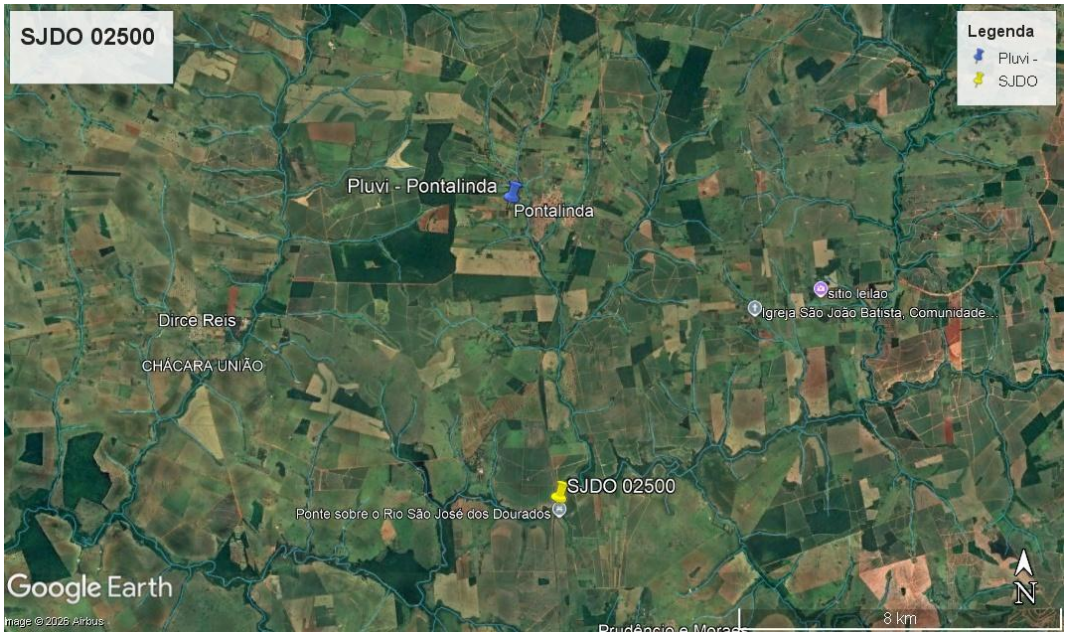
Para a análise da influência das condições hidrológicas sobre os resultados do índice, foram utilizados dados pluviométricos de duas estações da rede do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), selecionadas por sua proximidade aos pontos de monitoramento e pela disponibilidade de séries históricas consistentes para o período estudado. Para o ponto SJDO 02150, adotou-se a estação B6-039 (Monte Aprazível), instalada em junho de 1965 e localizada no próprio rio São José dos Dourados, nas coordenadas 20°46'05" S e 49°42'04" O. Para o ponto SJDO 02500, utilizou-se a estação B7-038 (Pontalinda), instalada em novembro de 1969, nas coordenadas 20°26'25" S e 50°31'59" O. Optou-se pelo uso da precipitação, e não da vazão, em razão da disponibilidade de dados: as estações pluviométricas apresentam séries históricas contínuas e próximas aos pontos avaliados. As Figuras 19 e 20 apresentam a localização das estações pluviométricas e dos pontos de monitoramento CETESB.

Figura 19 - Localização do ponto SJDO 02150 e da estação pluviométrica B6-039 (Monte Aprazível), distantes cerca de 8,8 km entre si.



Fonte: Google Earth (2026), elaborado pela autora.

Figura 20 - Localização do ponto SJDO 02500 e da estação pluviométrica B7-038 (Pontalinda), distantes cerca de 7,7 km entre si.



Fonte: Google Earth (2026), elaborado pela autora.

5.3. Parâmetros e limites legais

Para a realização do ICE, seguiu-se o manual CCME WQI 2017 atualizado, o qual estabelece que o índice permite ao usuário escolher o conjunto de diretrizes utilizado para a comparação da qualidade da água. Para que essa escolha fosse

realizada de modo a evitar usos inadequados, a seleção dos parâmetros partiu, primeiramente, do cruzamento entre os parâmetros efetivamente monitorados pela CETESB e aqueles com limite estabelecido na Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2; a esse critério somaram-se, de forma complementar, os parâmetros considerados nos índices convencionais — IQA (CETESB, 2023), IET (Lamparelli, 2004) e IVA (Zagatto *et al.*, 1999) — e a consideração do uso e da ocupação do solo da região.

De acordo com o Plano de Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados (CBH-SJD, 2022), a UGRHI 18 se destaca pela produção agrícola, envolvendo culturas anuais, perenes e semiperenes, majoritariamente irrigadas com recursos hídricos superficiais e subterrâneos, além da presença de pastagens distribuídas por toda a bacia, com maior concentração nas porções média e baixa.

Sendo assim, a UGRHI 18 caracteriza-se como uma bacia predominantemente rural. Conforme o manual canadense de determinação do ICE (CCME, 2017), existem duas colunas que se adequam à realidade da região de estudo: a coluna 1 (gado) e a coluna 2 (lavoura).

Também foi realizada a análise dos parâmetros avaliados nos laudos de água, disponíveis publicamente pela CETESB, bem como a verificação daqueles que possuem referência. Para a aplicação do índice, é necessário o estabelecimento das diretrizes, geralmente associada a uma legislação de controle; neste estudo, adotou-se a CONAMA nº 357/2005, para águas doces Classe 2.

A escolha dos parâmetros é uma etapa fundamental para garantir a confiabilidade e a relevância do ICE, uma vez que o uso inadequado da ferramenta pode levar a conclusões equivocadas sobre a qualidade da água. Por ser um índice flexível, o CCME WQI permite ao usuário definir o conjunto de parâmetros a ser utilizado, o que representa tanto uma vantagem quanto uma responsabilidade metodológica. Essa escolha deve ser criteriosa, guiada pelas características da bacia, pelos usos preponderantes da água, pela existência de limites de referência na Resolução CONAMA nº 357/2005 e pela disponibilidade de dados consistentes.

Para este estudo, a seleção dos parâmetros foi conduzida em três etapas progressivas, descritas a seguir.

O primeiro passo consistiu em identificar quais parâmetros são disponibilizados nos laudos de qualidade da água bruta da CETESB e verificar se possuem referência legal estabelecida. Para a aplicação do ICE, é necessário que cada parâmetro esteja

associado a uma diretriz de comparação, geralmente vinculada a uma legislação de controle. Neste estudo, adotou-se a Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces Classe 2, que corresponde ao enquadramento do rio São José dos Dourados. Os parâmetros sem referência legal nessa resolução foram excluídos, pois não seria possível estabelecer os limites necessários ao cálculo do índice.

O segundo passo consistiu em analisar quais parâmetros são considerados nos índices já consolidados de monitoramento da qualidade da água, especificamente o IQA, o IET e o IVA, utilizados pela CETESB na UGRHI 18, uma vez que a inclusão de parâmetros já reconhecidos por esses índices reforça a comparabilidade dos resultados do ICE com o diagnóstico convencional da bacia e ajuda a assegurar a representatividade das variáveis selecionadas. Paralelamente, foi consultado o Apêndice 2 do manual canadense CCME WQI (2017), que apresenta sugestões de parâmetros de acordo com o uso e ocupação do solo e os estressores antrópicos presentes na bacia. Considerando que a UGRHI 18 é uma bacia predominantemente rural, com destaque para atividades agropecuárias, foram adotadas as colunas 1 (gado) e 2 (lavoura) do apêndice como referência complementar para a seleção.

O terceiro passo foi a definição dos grupos de parâmetros. Como o manual canadense recomenda a utilização de no mínimo 8 e no máximo 20 parâmetros por cálculo, e considerando que a proposta deste estudo inclui tanto parâmetros de qualidade da água quanto variáveis relacionadas aos processos erosivos, optou-se por segmentar o conjunto em dois grupos distintos. Quando há a necessidade de empregar mais de 20 parâmetros, o próprio manual orienta que o conjunto seja segmentado em subíndices. Além disso, outros estudos também apontam o uso de diferentes grupos de parâmetros para o cálculo do ICE (Strada, 2021).

O Grupo 1, denominado **Qualidade da Água**, foi composto por 10 parâmetros: sólidos dissolvidos totais, turbidez, DBO, fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito, oxigênio dissolvido, pH e *Escherichia coli*. O Grupo 2, denominado **Processos Erosivos**, foi composto por 14 parâmetros: sólidos dissolvidos totais, turbidez, fósforo total, alumínio dissolvido, bário total, cádmio total, chumbo total, cobre dissolvido, cromo total, ferro dissolvido, manganês total, mercúrio total, níquel total e zinco total. O comparativo completo dos parâmetros analisados em cada etapa da seleção está apresentado no Apêndice E.

Vale ressaltar que comparações espaciais ou temporais entre pontos de monitoramento somente são válidas quando se mantém o mesmo conjunto de

parâmetros e diretrizes ao longo de toda a análise, garantindo que as variações observadas no índice reflitam mudanças reais na qualidade da água e não diferenças metodológicas.

A escolha dos parâmetros a serem utilizados no cálculo do ICE é de extrema importância, pois determina a representatividade, a confiabilidade e a comparabilidade do índice; uma seleção inadequada pode levar a interpretações equivocadas da qualidade da água.

5.3.1. Grupo Qualidade da Água

Os parâmetros que compõem o Grupo Qualidade da Água foram selecionados com base em três critérios complementares: a disponibilidade de limites legais na Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2, a presença nos índices convencionais de qualidade da água utilizados no monitoramento da CETESB, como IQA, IET e IVA, e a recomendação do apêndice do manual do CCME WQI (2017), que orienta a escolha de variáveis representativas para a aplicação do índice.

A combinação desses critérios resultou na seleção de dez parâmetros: sólidos dissolvidos totais, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito, oxigênio dissolvido, pH e *Escherichia coli*, todos com histórico de monitoramento disponível nos pontos SJDO 02150 e SJDO 02500. Por essa razão, a seleção desses parâmetros dispensa caracterização adicional, sendo justificada pela convergência entre as referências normativas, técnicas e metodológicas adotadas. O Grupo Processos Erosivos, por sua vez, incorpora parâmetros que não integram os índices convencionais e cuja seleção demandou análise prévia das características físicas, químicas e mineralógicas do solo e dos sedimentos da bacia, conforme descrito a seguir.

A escolha desses parâmetros foi orientada pela observação daqueles analisados pela CETESB, pela existência de legislação de referência aplicável (Resolução CONAMA nº 357/2005, águas doces Classe 2), pela presença em índices consolidados, como o IQA, IET e IVA, além de constarem nas colunas 1 e 2 do Apêndice 2 do CCME WQI. Com base nesses critérios, foi possível selecionar os 10 parâmetros que compõem o cálculo do ICE para o grupo Qualidade da Água.

Cabe destacar um aspecto metodológico relacionado ao parâmetro DBO. A partir de 2020, a CETESB passou a quantificar a matéria orgânica carbonada em sua

rede básica de monitoramento exclusivamente pelo Carbono Orgânico Total (COT), em substituição à DBO, conforme consolidado na Nota Técnica nº 0075456462 (CETESB, 2025). Essa mudança se justifica pelas vantagens analíticas do COT em relação à DBO, entre elas maior exatidão, menor incerteza de medição e menor tempo de análise. No entanto, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece padrão de qualidade apenas para a DBO (5 mg/L para águas doces Classe 2), sem previsão legal equivalente para o COT. Dessa forma, nos laudos de água bruta da CETESB referentes aos anos mais recentes da série histórica analisada, havia registros apenas de COT, sem o correspondente valor de DBO. Para viabilizar a inclusão desses dados no cálculo do ICE, foi aplicada a equação de conversão desenvolvida pela própria CETESB a partir de modelagem estatística com mais de 13.000 amostras de corpos hídricos do Estado de São Paulo, coletadas entre 2014 e 2019:

$$DBO = \beta(COT^{\lambda}) \quad (1)$$

Onde,

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio;

COT: Carbono Orgânico Total;

β e λ: Parâmetros da equação exponencial. Sendo β = 0,510658 e λ = 1,27831.

O modelo apresentou coeficiente de correlação de 0,89 e pode ser aplicado a todas as bacias hidrográficas paulistas, desde que a concentração de COT seja inferior a 150 mg/L (CETESB, 2025). A DBO estimada a partir dessa equação foi utilizada nos casos em que o laudo da CETESB registrava apenas COT, permitindo manter a consistência metodológica do cálculo do ICE com base nos limites estabelecidos pela legislação vigente.

5.3.2. Grupo Processos Erosivos

Para a definição dos parâmetros do grupo Processos Erosivos, foi necessário, inicialmente, compreender a composição do solo e dos sedimentos da bacia, considerando como área de referência a região do Córrego da Ponte Pensa, conforme anteriormente apresentado. A partir dessa caracterização, foi possível selecionar os

elementos mais representativos para compor esse grupo, de forma coerente com as condições ambientais da UGRHI 18.

O grupo Processos Erosivos contou com a análise de elementos como metais, semimetais e não metais, presentes nos sedimentos e no solo adjacente à área de estudo, localizada na UGRHI 18. Os dados utilizados são provenientes de pesquisa conduzida pela Profa. Dra. Bárbara Pereira Christofaro Silva, coorientadora deste estudo, desenvolvida na sub-bacia do Ribeirão da Ponte Pensa, no âmbito do projeto CNPq/MCTI nº 404155/2023-5: Impactos do uso da terra na produção de sedimentos em sub-bacia contribuinte ao reservatório da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira-SP. Por se tratar da mesma unidade de gerenciamento e por apresentar características de solo semelhantes às observadas nos pontos SJDO 02150 e SJDO 02500. Essas análises foram utilizadas para compor os parâmetros do grupo.

Para auxiliar na interpretação dos resultados e na seleção dos parâmetros, foram utilizadas diferentes legislações ambientais como referência comparativa, sem finalidade de enquadramento legal, apenas como orientação. As legislações consultadas foram:

a) RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005, classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, considerando águas doces Classe 2.
b) RESOLUÇÃO CONAMA Nº 420, de 28 de dezembro de 2009, critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas para solo agrícola e água subterrânea.
c) DECISÃO DE DIRETORIA Nº 195/2005/E, de 23 de novembro de 2005. Aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo.
d) DECISÃO DE DIRETORIA N.º 125/2021/E, de 09 de dezembro de 2021. Atualização da Lista de Valores Orientadores para Solo e Água Subterrânea.
e) Monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, site CETESB.
f) PORTARIA GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Essa comparação com as diferentes legislações teve caráter estritamente orientativo: como cada norma citada foi elaborada para um compartimento ambiental distinto (solo, água subterrânea, água para consumo humano), os valores não são

diretamente comparáveis entre si nem aplicáveis ao enquadramento do corpo hídrico superficial. O objetivo foi apenas oferecer uma referência geral de magnitude para a leitura dos teores obtidos em solo e sedimento e sinalizar elementos que merecessem maior atenção na etapa de seleção dos parâmetros do ICE.

Para o cálculo do ICE, a legislação de referência adotada foi a Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces Classe 2. Dessa forma, os elementos foram selecionados de acordo com três critérios principais: disponibilidade de comparação com essa legislação, disponibilidade de dados monitorados pela CETESB e divulgados nos relatórios de Águas Interiores, e relevância ambiental e sanitária dos elementos para a bacia. A análise detalhada dos dados de solo e sedimentos, incluindo os valores obtidos e as justificativas individuais de seleção de cada parâmetro, está apresentada na seção de **Resultados**. A partir desses critérios, foram selecionados 14 parâmetros para compor o Grupo Processos Erosivos: sólidos dissolvidos totais, turbidez, fósforo total, alumínio dissolvido, bário total, cádmio total, chumbo total, cobre dissolvido, cromo total, ferro dissolvido, manganês total, mercúrio total, níquel total e zinco total.

Complementarmente às análises de solo e sedimentos, foram selecionados alguns elementos para a realização de análises laboratoriais de água bruta no Córrego da Ponte Pensa, por laboratório credenciado, tendo como referência a Resolução CONAMA nº 357/2005, aplicável às águas doces de Classe 2. As coletas foram realizadas em dois períodos distintos: período de estiagem em 01/10/2025 e período chuvoso em 16/12/2025.

Os parâmetros selecionados para a análise laboratorial da água bruta foram: fósforo total, alumínio dissolvido, alumínio, cromo, ferro, ferro dissolvido, manganês e vanádio. Adicionalmente, foram realizadas medições de temperatura in loco, e os parâmetros pH e condutividade foram determinados no laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Campus de Ilha Solteira. Os laudos das análises estão no Apêndice F.

As Figuras 21 a 24 apresentam as imagens da coleta realizada em 01/10/2025.

Figura 21 - Local da coleta de água. Córrego da Ponte Pensa em 01/10/2025.



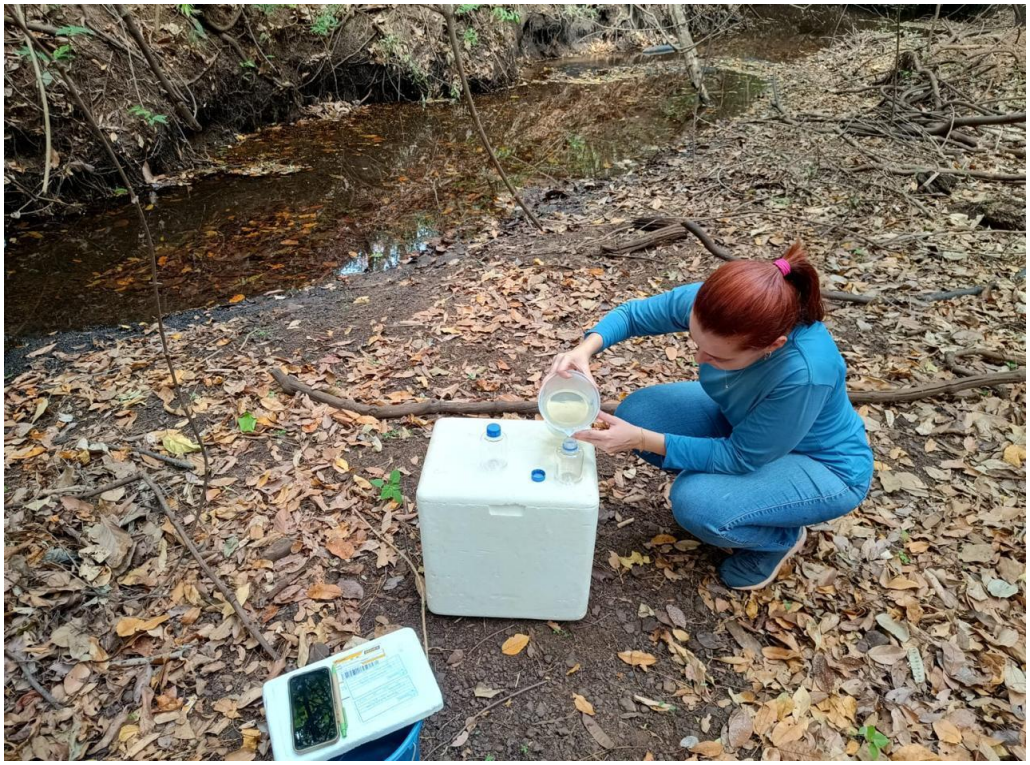
Fonte: Autoria própria.

Figura 22 - Local da coleta de água. Córrego da Ponte Pensa em 01/10/2025.



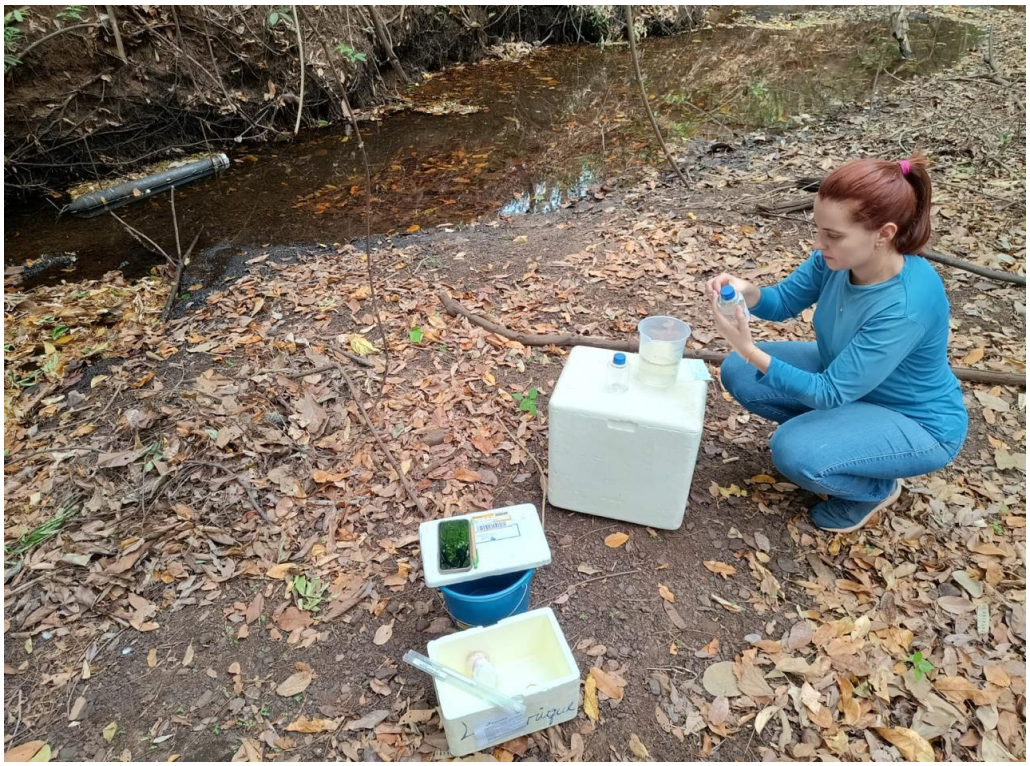
Fonte: Autoria própria.

Figura 23 - Realização da coleta das amostras para análise. Córrego da Ponte Pensa.



Fonte: Maurício Augusto Leite.

Figura 24 - Realização da coleta das amostras para análise. Córrego da Ponte Pensa.



Fonte: Maurício Augusto Leite.

As Figuras 25 a 30 apresentam as coletas e medições realizadas em 16/12/2025.

Figura 25 - Local da coleta de água. Córrego da Ponte Pensa em 16/12/2025.



Fonte: Maurício Augusto Leite.

Figura 26 - Local da coleta de água. Córrego da Ponte Pensa em 16/12/2025.



Fonte: Maurício Augusto Leite.

Figura 27 - Realização da coleta das amostras para análise. Córrego da Ponte Pensa.



Fonte: Maurício Augusto Leite.

Figura 28 - Realização da coleta das amostras para análise. Córrego da Ponte Pensa.



Fonte: Maurício Augusto Leite.

Figura 29 - Realização das medições de pH das amostras coletadas no dia 16/12/2025.



Fonte: Autoria própria.

Figura 30 - Realização das medições de condutividade das amostras coletadas no dia 16/12/2025.



Fonte: Autoria própria.

5.4. Cálculo do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE)

O Índice de Conformidade ao Enquadramento, proposto por Amaro (2009), baseia-se na metodologia desenvolvida pelo Conselho Canadense dos Ministros do Meio Ambiente.

O Manual do Usuário do CCME WQI, publicado em 2017, foi elaborado a partir do trabalho original de desenvolvimento do índice, endossado em 2001, incorporando também o conhecimento adicional acumulado desde então. O documento tem como finalidade atualizar e consolidar as orientações apresentadas anteriormente no Relatório Técnico e no Manual do Usuário de 2001 (CCME, 2001), reunindo em uma única publicação as diretrizes para aplicação do índice e os aprimoramentos decorrentes de sua utilização em diferentes contextos.

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico reconhece o uso do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), baseado na metodologia canadense, como uma ferramenta útil para avaliar a qualidade da água em relação ao seu estado desejável, conforme o enquadramento estabelecido (ANA, 2013).

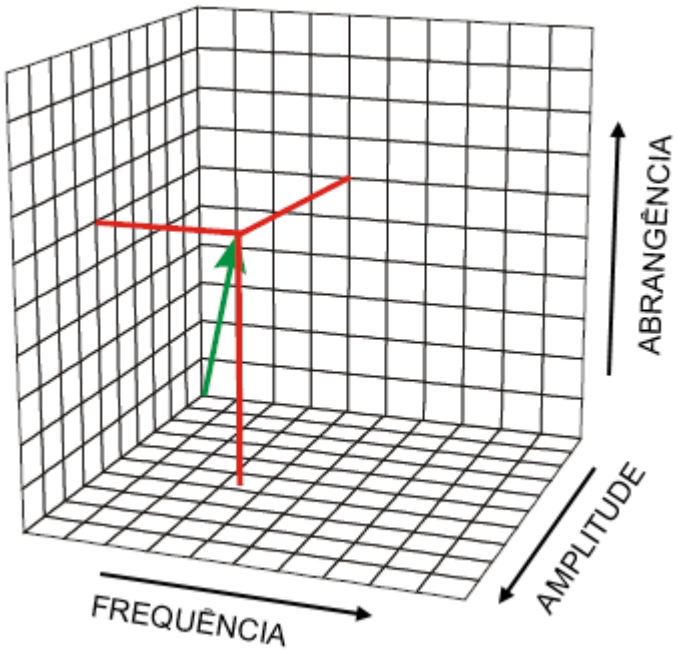
Para realizar uma aplicação adequada do cálculo do ICE, é necessário compreender o funcionamento dos cálculos do CCME WQI, escolher corretamente os parâmetros com base nos usos da água e nos estressores antrópicos, além de respeitar as recomendações mínimas e máximas de parâmetros e garantir consistência nas comparações e na seleção das séries temporais.

Conforme o Manual do Usuário do CCME WQI — Atualização 2017, o índice fornece uma estrutura matemática para avaliar a qualidade da água ambiental em relação às diretrizes estabelecidas. Trata-se de uma ferramenta flexível, que permite ao usuário definir o tipo e a quantidade de parâmetros analisados, o período de aplicação e o tipo de corpo hídrico avaliado, como córregos, trechos de rios ou lagos. O corpo hídrico pode ser representado por uma única estação de monitoramento ou por um conjunto de estações, desde que haja dados suficientes, sendo usual a adoção de séries temporais mínimas de um ano, com indicação de que períodos em torno de três anos oferecem melhor equilíbrio analítico.

Em relação à seleção dos parâmetros, o manual recomenda a utilização de no mínimo oito e no máximo vinte parâmetros, bem como a inclusão de cerca de dez amostras por ano para rios e córregos, de modo a garantir representatividade temporal.

Uma vez definidos o corpo hídrico, o período de análise, os parâmetros e as diretrizes adotadas, procede-se ao cálculo do CCME WQI, que resulta da combinação de três fatores que expressam diferentes dimensões da conformidade da qualidade da água em relação às diretrizes estabelecidas, conforme a Figura 31.

Figura 31 - Modelo conceitual do índice baseado no manual CCME WQI.



Fonte: CCME, 2017, adaptado.

Os fatores F1, F2 e F3 representam os três eixos de desconformidade dos parâmetros ambientais em relação aos limites legais. Estes fatores estão descritos a seguir:

F1 (Abrangência ou Escopo) - Corresponde à porcentagem de parâmetros que não atendem às diretrizes pelo menos uma vez ao longo do período analisado, em relação ao total de parâmetros medidos, sendo estes denominados parâmetros não conformes.

$$F1 = \left(\frac{Número\ de\ parâmetros\ que\ falharam}{Número\ total\ de\ parâmetros}\right) x100 \qquad (2)$$

F2 (Frequência) - Representa a porcentagem de testes individuais que não atendem às diretrizes, ou seja, os chamados testes que falharam.

$$F2 = \left(\frac{Número\ de\ testes\ que\ falharam}{Número\ total\ de\ testes}\right) x100 \quad (3)$$

F3 (Amplitude) - Expressa o quanto os valores dos testes que falharam se afastam das diretrizes estabelecidas e é calculado em três etapas.

a) Determina-se o número de vezes em que a concentração medida ultrapassa o limite definido — ou fica abaixo dele, nos casos em que a diretriz estabelece um valor mínimo —, valor denominado “variações”.

Nos casos em que o valor medido não deve exceder a diretriz:

$$Variação = \left(\frac{Valor\ testado\ que\ falhou}{Diretriz}\right) - 1 \quad (4)$$

Quando o valor medido não deve ficar abaixo da diretriz:

$$Variação = \left(\frac{Diretriz}{Valor\ testado\ que\ falhou}\right) - 1 \quad (5)$$

b) Calcula-se o valor total de não conformidade, obtido pela soma das excursões dividida pelo número total de testes realizados, estejam eles em conformidade ou não. Esse parâmetro é denominado soma normalizada das variações (*snv*).

$$snv = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} Variações}{Número\ total\ de\ testes}\right) \quad (6)$$

c) O valor de F3 é calculado por meio de uma função assintótica, que transforma o valor de *snv* em uma escala variando entre 0 e 100.

$$F3 = \left(\frac{snv}{0{,}01.\ snv + 0{,}01}\right) \quad (7)$$

Após a obtenção dos três fatores, o índice final é calculado pela combinação vetorial de F1, F2 e F3, utilizando o Teorema de Pitágoras. Nesse procedimento, a soma dos quadrados de cada fator resulta no quadrado do valor do CCME WQI, considerando um espaço tridimensional no qual cada eixo representa um dos fatores.

$$CCMEWQI = 100 - (\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1{,}732}) \quad (8)$$

O divisor 1,732 é aplicado para normalizar o valor final do índice, garantindo sua variação em uma escala entre 0, que representa a pior condição de qualidade da água, e 100, correspondente à melhor condição possível.

5.4.1. Categorias de classificações do ICE (CCME WQI)

Após o cálculo do valor do CCME WQI (2017), a qualidade da água é classificada em uma das seguintes categorias, conforme manual:

a) **Excelente (95 ≤ ICE ≤ 100):** a qualidade da água está protegida, com ausência praticamente total de ameaças ou degradação; condições muito próximas aos níveis naturais ou intocados.

b) **Boa (80 ≤ ICE < 95):** a qualidade da água está protegida, com apenas um grau mínimo de ameaça ou degradação; as condições raramente se afastam dos níveis naturais ou desejáveis.

c) **Razoável (65 ≤ ICE < 80):** a qualidade da água geralmente está protegida, mas ocasionalmente é ameaçada ou degradada; as condições às vezes se afastam dos níveis naturais ou desejáveis.

d) **Regular (45 ≤ ICE < 65):** a qualidade da água é frequentemente ameaçada ou degradada; as condições frequentemente se afastam dos níveis naturais ou desejáveis.

e) **Ruim (0 ≤ ICE < 45):** a qualidade da água é quase sempre ameaçada ou degradada; as condições geralmente se afastam dos níveis naturais ou desejáveis.

Na aplicação do índice neste estudo, foram observadas as regras de aplicação estabelecidas pelo manual do CCME WQI (2017), sintetizadas a seguir. Os dados obtidos junto à CETESB foram previamente revisados quanto à coerência de unidades e à consistência, e os parâmetros foram selecionados de modo a incluir apenas variáveis relevantes ao uso da água e aos estressores presentes na bacia, evitando o

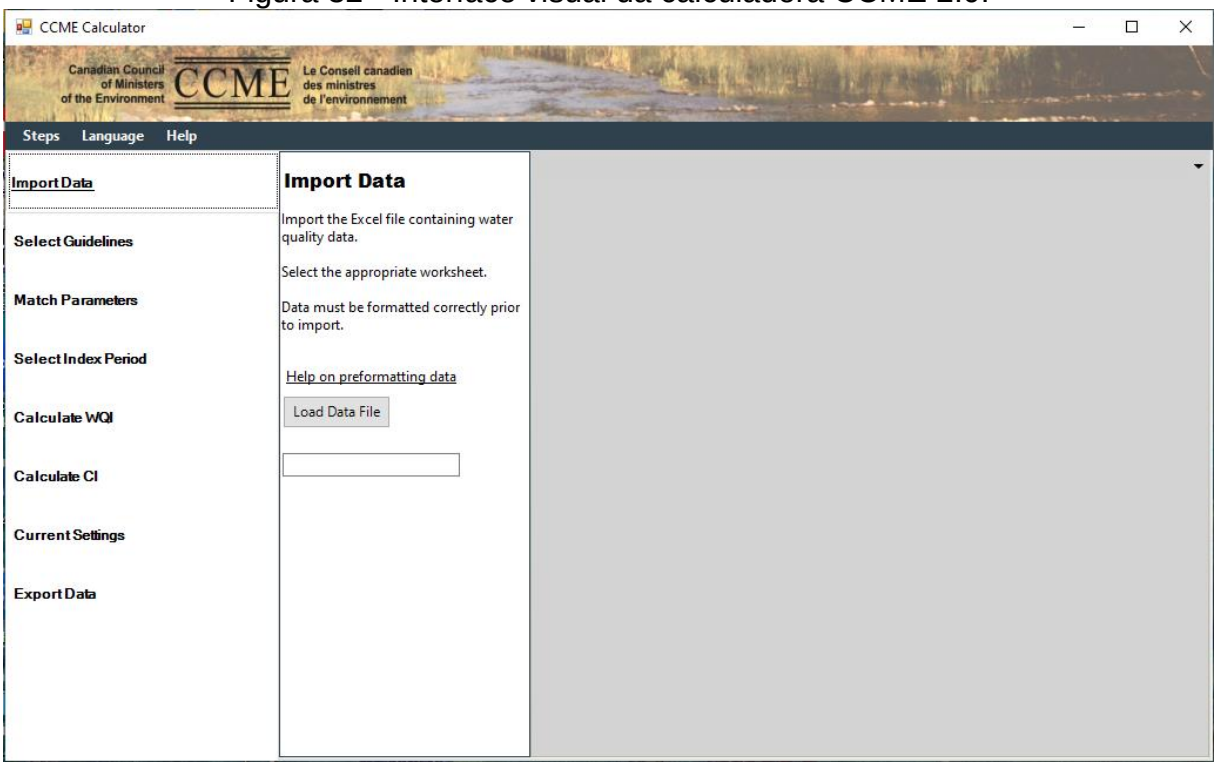
excesso de parâmetros e variáveis fortemente correlacionadas. Respeitou-se a orientação de não calcular o índice com menos de quatro parâmetros e quatro campanhas amostrais por período, e a definição dos recortes temporais considerou que períodos mais longos reduzem as flutuações naturais, ao passo que períodos mais curtos evidenciam melhorias decorrentes de ações de controle, adotando-se, quando possível, o intervalo de aproximadamente três anos recomendado pelo manual. As comparações entre resultados foram realizadas apenas entre conjuntos com os mesmos parâmetros e as mesmas diretrizes de qualidade da água, tendo como referência os limites da Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2, e os valores finais do índice foram interpretados com o apoio de julgamento técnico. A fundamentação teórica dessas regras e a estrutura conceitual do índice encontram-se detalhadas na seção 4.8.

5.5. *Softwares* utilizados

O cálculo do *Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index* (CCME, 2017) foi realizado por meio da calculadora oficial CCME — *Water Quality Index* 2.0, disponibilizada pelo próprio CCME, a qual automatiza as etapas matemáticas do índice, reduzindo a possibilidade de erros operacionais. Os procedimentos adotados para a organização, inserção e validação dos dados seguiram integralmente as orientações descritas no manual de uso incorporado ao software da calculadora.

A interface da ferramenta, Figura 32, apresenta um menu de navegação lateral que orienta o usuário nas etapas de configuração do índice, importação dos dados e geração dos resultados, além de permitir a seleção do idioma.

Figura 32 - Interface visual da calculadora CCME 2.0.



Fonte: CCME WQI calculadora 2.0, 2026.

Os dados foram importados a partir de um arquivo previamente formatado em *Microsoft Excel* (.xlsx) ou valores separados por vírgula (.csv). Na planilha *Data*, foram informados o nome das estações de monitoramento, as datas das amostras, os parâmetros analisados e seus respectivos valores. Já na planilha *Guidelines*, foram inseridos os mesmos parâmetros, acompanhados dos operadores de comparação e dos respectivos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces Classe 2. Após a inserção correta dessas informações, a calculadora realiza o processamento automático do ICE / CCME WQI, assegurando resultados consistentes e comparáveis.

Além do uso da calculadora, todos os cálculos do ICE / CCME WQI foram também realizados por meio de planilhas de Excel, com as fórmulas das equações inseridas manualmente. Essa abordagem paralela permitiu a comparação e a validação dos resultados obtidos pelo software automatizado, conferindo maior robustez à análise. O procedimento detalhado de aplicação em ambas as ferramentas, incluindo o passo a passo para uso da calculadora e das planilhas de Excel, será apresentado no Manual Técnico elaborado como Produto Técnico Tecnológico deste estudo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Seleção e caracterização dos parâmetros do Grupo Processos Erosivos

Para auxiliar na interpretação dos resultados obtidos nas análises de solo e sedimentos, foram utilizadas diferentes legislações ambientais como referência comparativa. Essas normas apresentam valores expressos em unidades de medida distintas, pois foram elaboradas para avaliar compartimentos ambientais específicos, como solo, águas superficiais, águas subterrâneas e água destinada ao consumo humano. Nesse contexto, a comparação realizada possui caráter apenas orientativo, não tendo como objetivo o enquadramento legal ou a verificação de conformidade ambiental. A utilização dessas legislações buscou oferecer um parâmetro geral para a leitura dos dados, permitindo uma análise mais contextualizada das concentrações encontradas e a identificação de elementos que possam indicar maior atenção ambiental. A Figura 33 apresenta os dados organizados em planilhas do Excel, para fins de consulta e orientação.

Figura 33 - Dados das análises de solo e sedimentos comparados com legislações.

		Valores em ppm para solos		Valores em ppm para sedimentos		CONAMA 357/05	CONAMA 420/2009		DD 125/2021/E Valores Orientadores SP		Valores Orientadores 2005		Portaria GM/MS 888/2021	
Inorgânicos	Sigla	Mediana	Máximo	Mediana	Máximo	Classe II	Solo agrícola	Água subterrâea	Solo agrícola	Água subterrâea	Solo agrícola	Água subterrâea	Anexo 9	Anexo 11
Alumínio dissolvido		-	-	-	-	< 0.1 mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Alumínio total	Al	31440	48469	49686.5	59784	-	-	< 3500 µg/L	-	-	-	< 200 µg/L	-	< 0.2 mg/L
Antimônio total	Sb	0	0	0	52	< 0.005 mg/L	< 5 mg/kg	< 5 µg/L	< 5 mg/kg	< 6 µg/L	< 5 mg/kg	< 5 µg/L	< 0.006 mg/L	-
Arsênio total	As	4	7	11.5	20	< 0.01 mg/L	< 35 mg/kg	< 10 µg/L	< 35 mg/kg	< 10 µg/L	< 35 mg/kg	< 10 µg/L	< 0.01 mg/L	-
Bário total	Ba	0	519	677.5	734.5	< 0.7 mg/L	< 300 mg/kg	< 700 µg/L	< 500 mg/kg	< 700 µg/L	< 300 mg/kg	< 700 µg/L	< 0.7 mg/L	-
Cádmio total	Cd	0	23	0	0	< 0.001 mg/L	< 3 mg/kg	< 5 µg/L	< 3.6 mg/kg	< 3 µg/L	< 3 mg/kg	< 5 µg/L	< 0.003 mg/L	-
Cálcio total	Ca	2955	5070	8999.5	11437	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chumbo total	Pb	0	17	0	34	< 0.01 mg/L	< 180 mg/kg	< 10 µg/L	< 150 mg/kg	< 10 µg/L	< 180 mg/kg	< 10 µg/L	< 0.01 mg/L	-
Cobalto total	Co	12	49	94.5	315	< 0.05 mg/L	< 35 mg/kg	< 70 µg/L	< 35 mg/kg	< 70 µg/L	< 35 mg/kg	< 5 µg/L	-	-
Cobre dissolvido		-	-	-	-	< 0.009 mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobre total	Cu	24	37	57.5	80	-	< 200 mg/kg	< 2000 µg/L	< 760 mg/kg	< 2000 µg/L	< 200 mg/kg	< 2000 µg/L	< 2 mg/L	-
Cromo total	Cr	176	310	323.5	381	< 0.05 mg/L	< 150 mg/kg	< 50 µg/L	< 150 mg/kg	< 50 µg/L	< 150 mg/kg	< 50 µg/L	< 0.05 mg/L	-
Enxofre total	S	0	249	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estanho total	Sn	0	11	0	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estrôncio total	Sr	18	43	85	106	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ferro dissolvido		-	-	-	-	< 0.3 mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Ferro total	Fe	27286	41980	114807.5	176650	-	-	< 2450 µg/L	-	-	-	< 300 µg/L	-	< 0.3 mg/L
Fósforo total	P	130	335	408	625	< 0.1 mg/L lótico	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio total	Mg	9724	14893	7612.5	11150	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Manganês total	Mn	356	546	8652.5	20472	< 0.1 mg/L	-	< 400 µg/L	-	-	-	< 400 µg/L	-	< 0.1 mg/L
Mercúrio total	Hg	0	13	0	0	< 0.0002 mg/L	< 12 mg/kg	< 1 µg/L	< 1.2 mg/kg	< 1 µg/L	< 12 mg/kg	< 1 µg/L	< 0.001 mg/L	-
Níquel total	Ni	21	36	49.5	81	< 0.025 mg/L	< 70 mg/kg	< 20 µg/L	< 190 mg/kg	< 70 µg/L	< 70 mg/kg	< 20 µg/L	< 0.07 mg/L	-
Nitrato		-	-	-	-	< 10 mg/L	-	< 10000 µg/L	-	< 10000 µg/L	-	< 10000 µg/L	< 10 mg/L	-
Nitrito		-	-	-	-	< 1 mg/L	-	-	-	-	-	-	< 1 mg/L	-
Nitrogênio amoniacal total		-	-	-	-	< 2 mg/L para pH (7.5 e 8.0)	-	-	-	-	-	-	-	-
Potássio total	K	5122	9684	4119.5	5275	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prata total	Ag	0	18	0	0	< 0.01 mg/L	< 25 mg/kg	< 50 µg/L	< 25 mg/kg	< 50 µg/L	< 25 mg/kg	< 50 µg/L	-	-
Rubídio total	Rb	38	76	45.5	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Selênio total	Se	0	0	0	0	< 0.01 mg/L	-	< 10 µg/L	< 24 mg/kg	< 40 µg/L	-	< 10 µg/L	< 0.04 mg/L	
Silício total	Si	237367	258831	176009.5	212576	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tálio total	Tl	0	0	0	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Titânio total	Ti	13010	21150	17326.5	22895	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vanádio total	V	454	740	745	999	< 0.1 mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-
Zinco total	Zn	35	51	100	167	< 0.18 mg/L	< 450 mg/kg	< 1050 µg/L	< 1900 mg/kg	< 1800 µg/L	< 450 mg/kg	< 5000 µg/L	-	< 5 mg/L
Zircônio total	Zr	342	721	274	304	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Dados das análises de elementos em solo e sedimentos, organizados em planilhas do Excel, comparados a legislações. Profª. Bárbara Pereira Christofaro Silva.

Os valores de temperatura, pH e condutividade obtidos nas duas campanhas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de temperatura, pH e condutividade das amostras.

Data da coleta	Amostra 1	Amostra 2	Parâmetros
01/10/2025	19,5 ºC	20 ºC	Temperatura
	7,43	7,46	pH
	356 µS/cm	380 µS/cm	Condutividade
16/12/2025	24,3 ºC	24 ºC	Temperatura
	7,43	7,45	pH
	173,7 µS/cm	173 µS/cm	Condutividade

Fonte: Resultados obtidos no laboratório de análise de solos da UNESP.

Os resultados indicam variação nos valores de condutividade entre os dois períodos, com 356–380 µS/cm em outubro e 173–174 µS/cm em dezembro, o que pode ser atribuído ao efeito de diluição provocado pelo maior volume hídrico no período chuvoso. Os valores de pH mantiveram-se estáveis nas duas coletas, entre 7,43 e 7,46, dentro da faixa permitida pela legislação para águas doces de Classe 2. Cabe ressalvar que os dados primários de água bruta baseiam-se em apenas duas campanhas de coleta, de modo que os resultados aqui apresentados têm caráter preliminar e de primeira aproximação, não permitindo generalizações sobre o comportamento temporal dos parâmetros no corpo hídrico.

A partir da análise dos valores encontrados no solo e nos sedimentos do Córrego da Ponte Pensa, bem como das análises de água bruta e da comparação orientativa com as legislações, alguns elementos de interesse foram destacados para compor o ICE. Para subsidiar essa seleção, os resultados foram sistematizados por meio de gráficos *boxplots*.

O gráfico de caixas (*boxplot*) foi utilizado para resumir e comparar a distribuição dos dados obtidos nas análises de solo e sedimentos. Esse tipo de gráfico permite visualizar, de forma clara, o comportamento geral dos valores, destacando a tendência central, a dispersão e a amplitude dos dados.

A linha localizada no interior da caixa representa a mediana, indicando o valor central da distribuição. As bordas inferior e superior da caixa correspondem, respectivamente, ao primeiro quartil (Q1) e ao terceiro quartil (Q3), delimitando a faixa onde se concentra 50% dos dados. A altura da caixa expressa a variabilidade dos valores, sendo que caixas mais altas indicam maior dispersão e caixas mais baixas indicam maior concentração dos dados.

Os prolongamentos da caixa, conhecidos como bigodes, representam os valores mínimos e máximos observados no conjunto de dados, evidenciando a amplitude total das concentrações analisadas. No presente estudo, os bigodes se

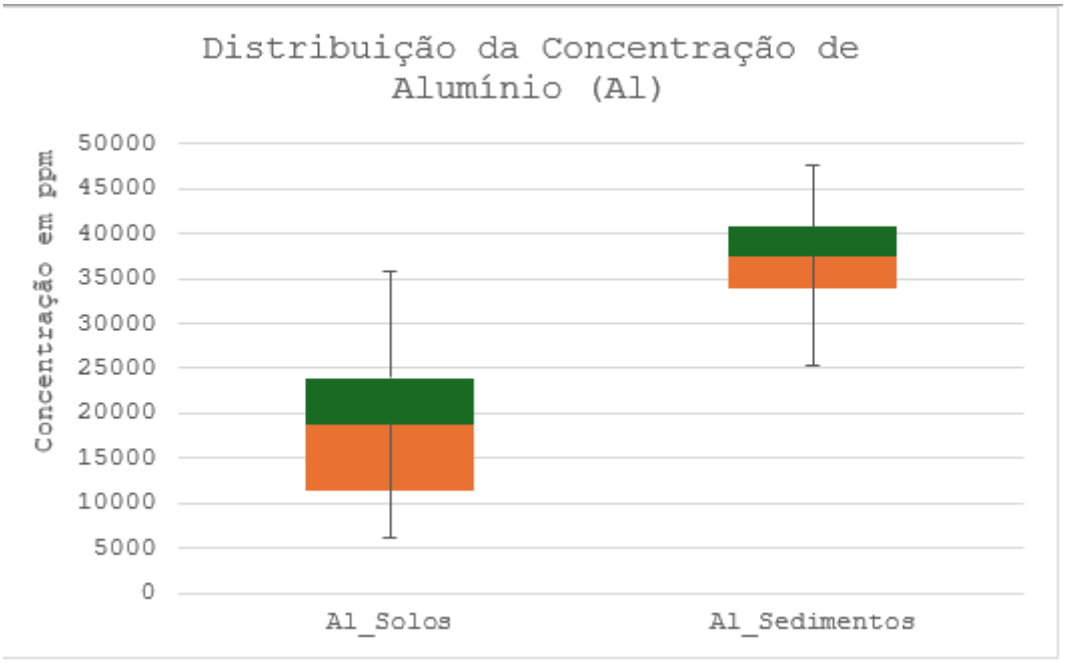
estendem até os valores mínimo e máximo reais, não havendo destaque específico para valores extremos (*outliers*).

A comparação entre os *boxplots* de solo e sedimentos permite identificar diferenças na concentração típica dos elementos, na variabilidade dos dados e na faixa de valores observados em cada compartimento ambiental. Essa abordagem contribui para uma interpretação mais integrada dos resultados, auxiliando na identificação de elementos com maior acúmulo ou maior heterogeneidade entre solo e sedimentos.

As Figuras 34 a 44 ilustram os gráficos *boxplots* dos elementos analisados, seguidos das respectivas justificativas de seleção para o cálculo do ICE. Para o cálculo do índice, a legislação de referência adotada foi a Resolução CONAMA nº 357/2005, para águas doces de Classe 2. Os elementos foram selecionados de acordo com a disponibilidade de comparação com essa legislação e com os dados monitorados pela CETESB, divulgados nos relatórios de Águas Interiores. Informações sobre os efeitos ambientais e sanitários de cada elemento foram consideradas com base no Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade, da CETESB.

a) **Alumínio dissolvido:** O alumínio apresentou aumento de concentração em períodos chuvosos, associado ao carreamento de partículas do solo e ao aumento da turbidez (Figura 34). Considerando as elevadas concentrações naturais no solo da região e a existência de limites na Resolução CONAMA nº 357/2005, o alumínio dissolvido foi selecionado para o cálculo do ICE, conforme os critérios metodológicos adotados.

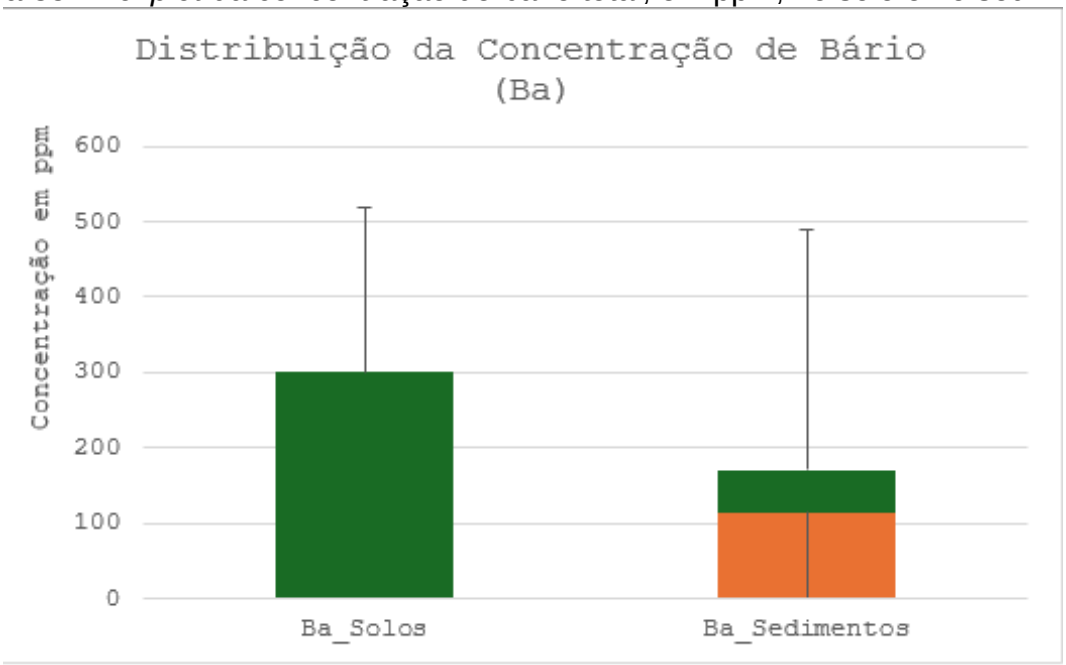
Figura 34 - *Boxplot* da concentração de alumínio total, em ppm, no solo e no sedimento.



Fonte: *Boxplots* de alumínio total em solos e sedimentos.

b) **Bário:** O bário apresentou concentrações elevadas (Figura 35). Apesar de possível origem natural, esse elemento apresenta riscos toxicológicos relevantes à saúde humana. Assim, sua inclusão no ICE atende ao critério metodológico de seleção por potencial risco ambiental e sanitário.

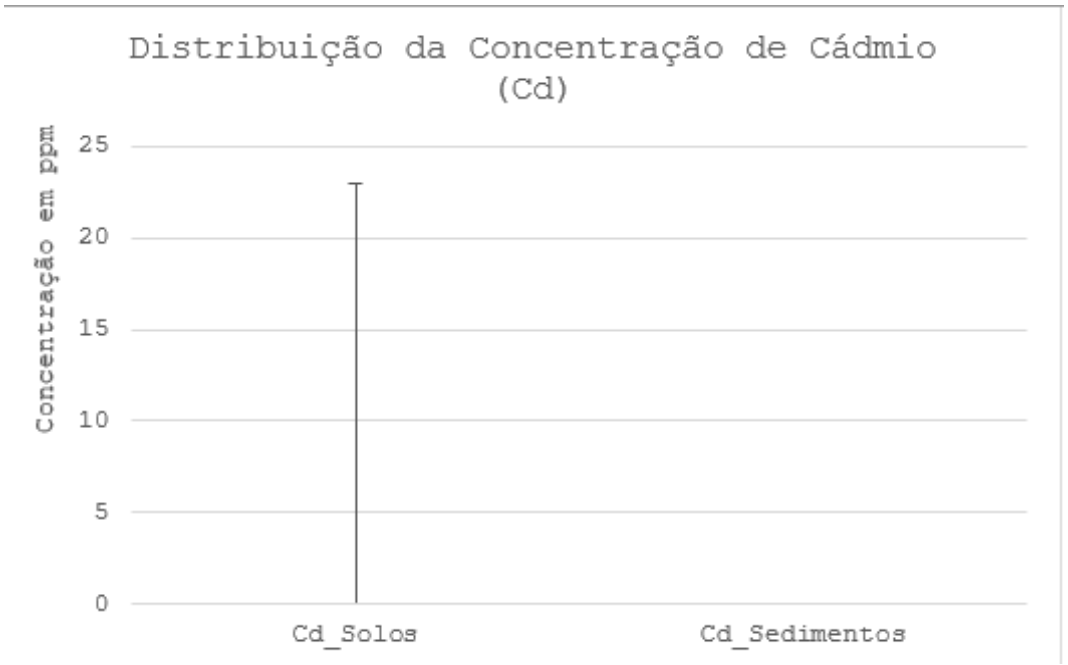
Figura 35 - *Boxplot* da concentração de bário total, em ppm, no solo e no sedimento.



Fonte: *Boxplots* de bário total em solos e sedimentos.

c) **Cádmio:** O cádmio não foi detectado na maioria das amostras; contudo, foi identificado um ponto de contaminação no solo, caracterizando ocorrência pontual (Figura 36). Trata-se de um metal de alta toxicidade e elevada capacidade de bioacumulação. Dessa forma, sua inclusão no ICE justifica-se pelo critério de risco, mesmo diante de baixa frequência de detecção.

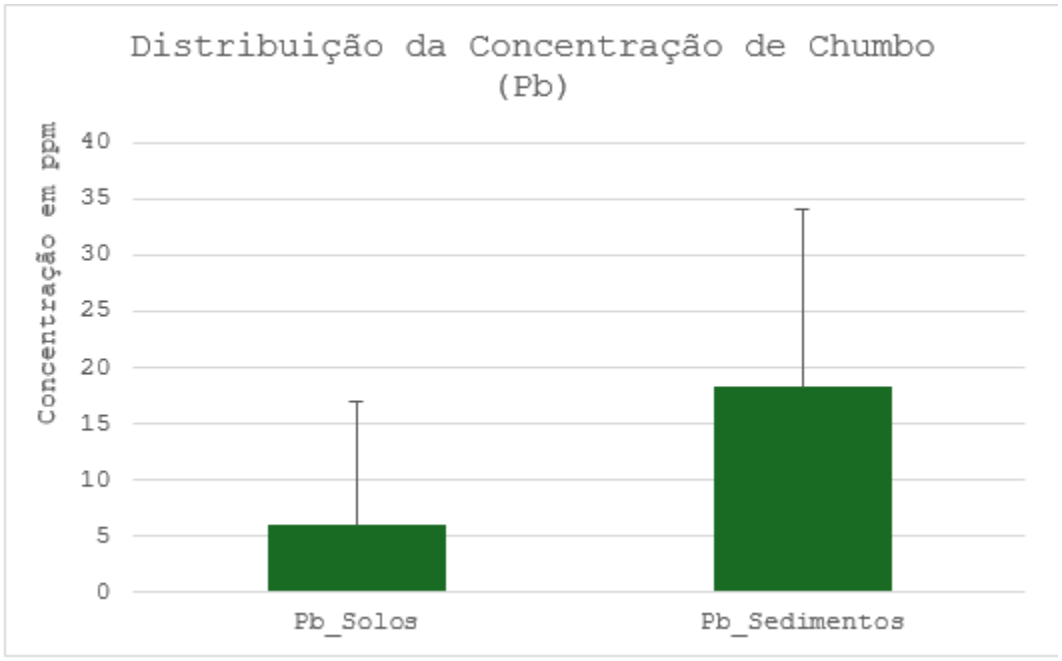
Figura 36 - *Boxplot* da concentração de cádmio total, em ppm, no solo e no sedimento.



Fonte: *Boxplots* de cádmio total em solos e sedimentos.

d) **Chumbo:** O chumbo apresentou padrão de contaminação pontual, sugerindo fontes localizadas (Figura 37). Por ser um metal cumulativo e altamente tóxico, foi incluído no ICE de acordo com o critério metodológico de relevância ambiental e sanitária.

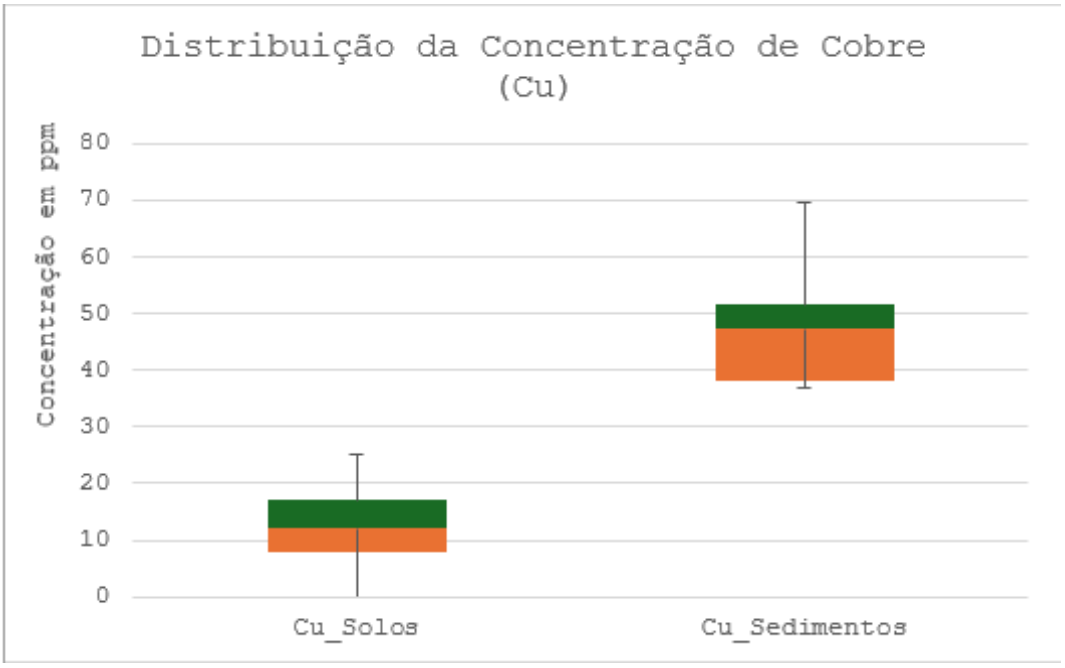
Figura 37 - *Boxplot* da concentração de chumbo total, em ppm, no solo e no sedimento.



Fonte: *Boxplots* de chumbo total em solos e sedimentos.

e) **Cobre dissolvido:** O cobre apresenta toxicidade à vida aquática, especialmente na forma dissolvida. Considerando a disponibilidade de limites legais na Resolução CONAMA nº 357/2005, o cobre dissolvido foi selecionado para compor o ICE, em conformidade com os critérios metodológicos de comparabilidade normativa (Figura 38).

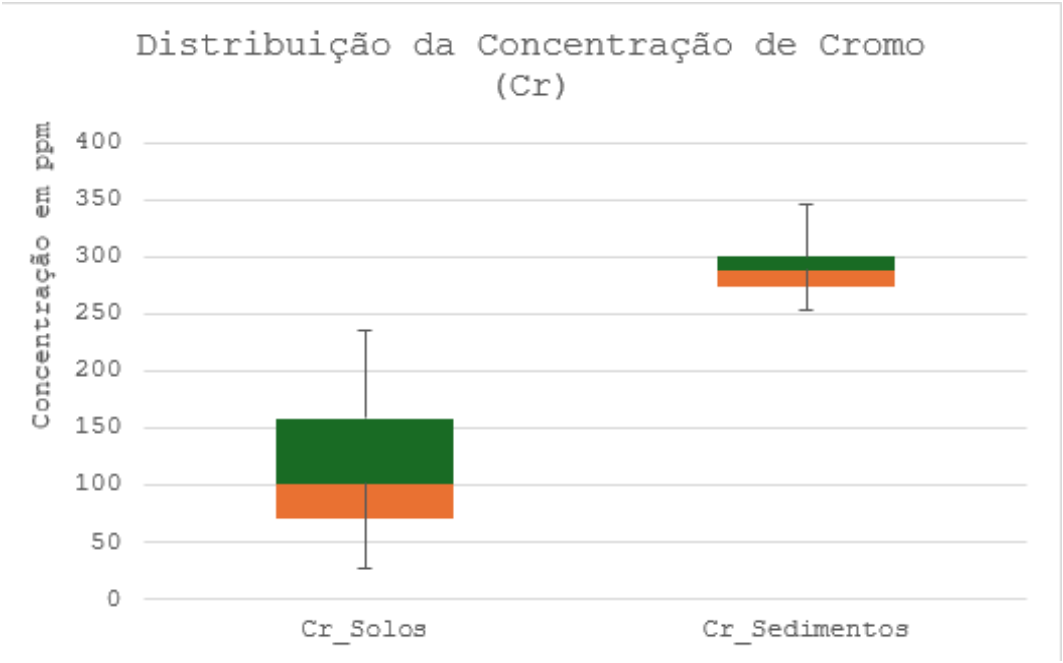
Figura 38 - *Boxplot* da concentração de cobre total, em ppm, no solo e no sedimento.



Fonte: *Boxplots* de cobre total em solos e sedimentos.

f) **Cromo:** O cromo apresentou contaminação crônica e distribuída em toda a área de estudo (Figura 39). A principal preocupação está associada à sua forma hexavalente (Cr VI), tóxica e cancerígena, utilizada como referência nos limites legais. Assim, o Cr foi incluído no ICE por atender aos critérios de persistência ambiental e risco elevado.

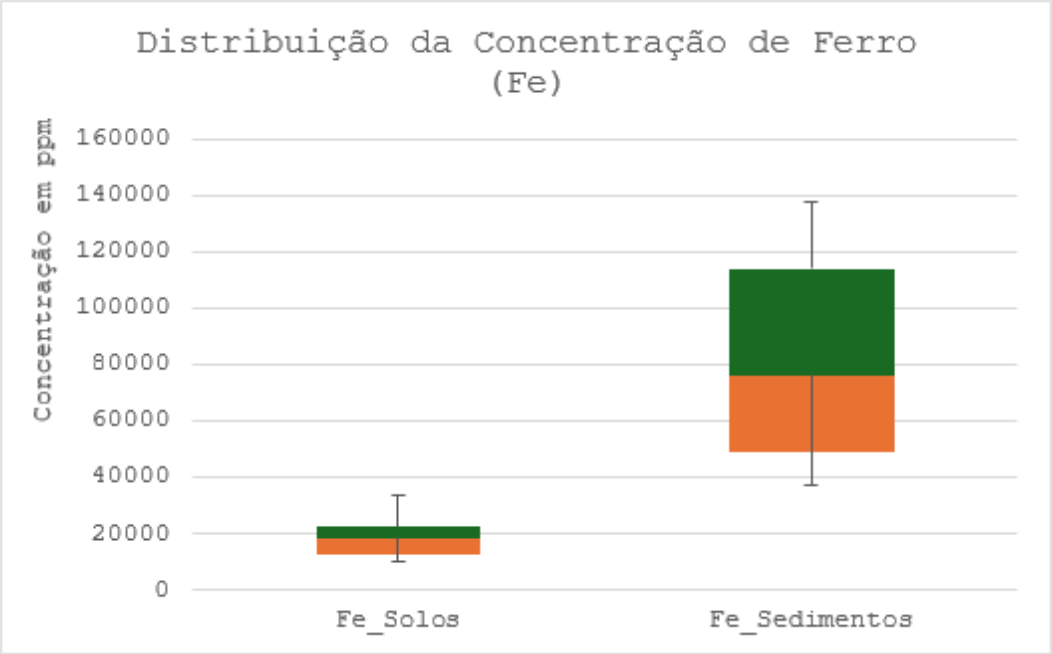
Figura 39 - *Boxplot* da concentração de cromo total, em ppm, no solo e no sedimento.



Fonte: *Boxplots* de cromo total em solos e sedimentos.

g) **Ferro dissolvido:** As concentrações de ferro foram elevadas, refletindo as características naturais do solo da região (Figura 40). Ainda assim, valores elevados de ferro dissolvido podem comprometer a qualidade da água. Considerando os limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/2005, o ferro dissolvido foi selecionado para o cálculo do ICE.

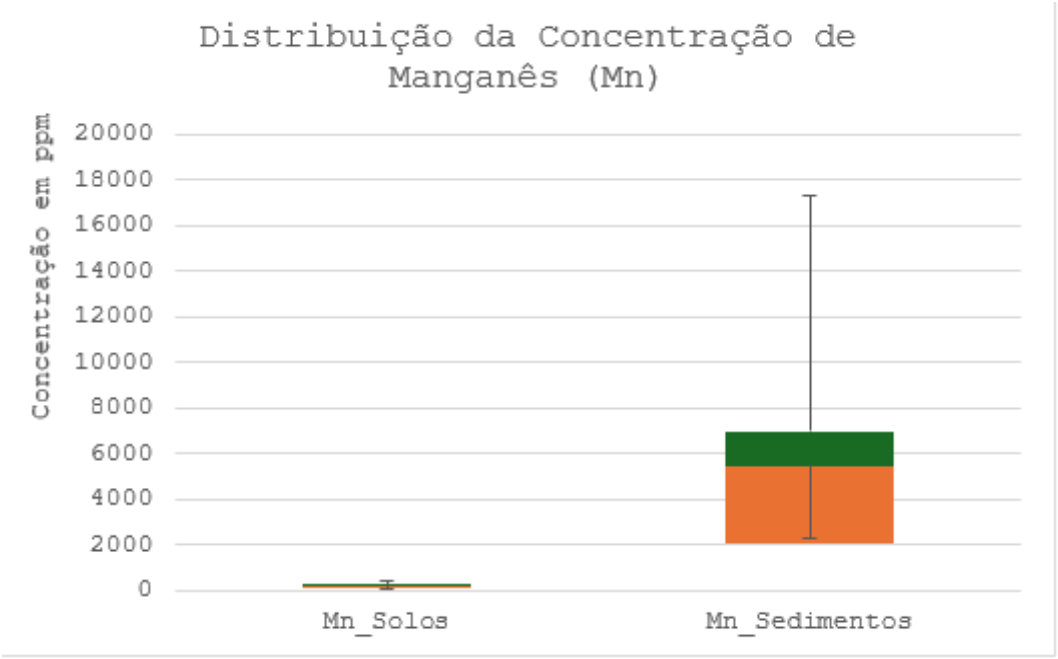
Figura 40 - *Boxplot* da concentração de ferro total, em ppm, no solo e no sedimento.



Fonte: *Boxplots* de ferro total em solos e sedimentos.

h) **Manganês:** O manganês apresentou concentrações relevantes nos sedimentos, indicando acúmulo preferencial nesse compartimento (Figura 41). Em níveis elevados, pode causar efeitos adversos à qualidade da água. Dessa forma, foi incluído no ICE com base no critério metodológico de comportamento ambiental e potencial impacto.

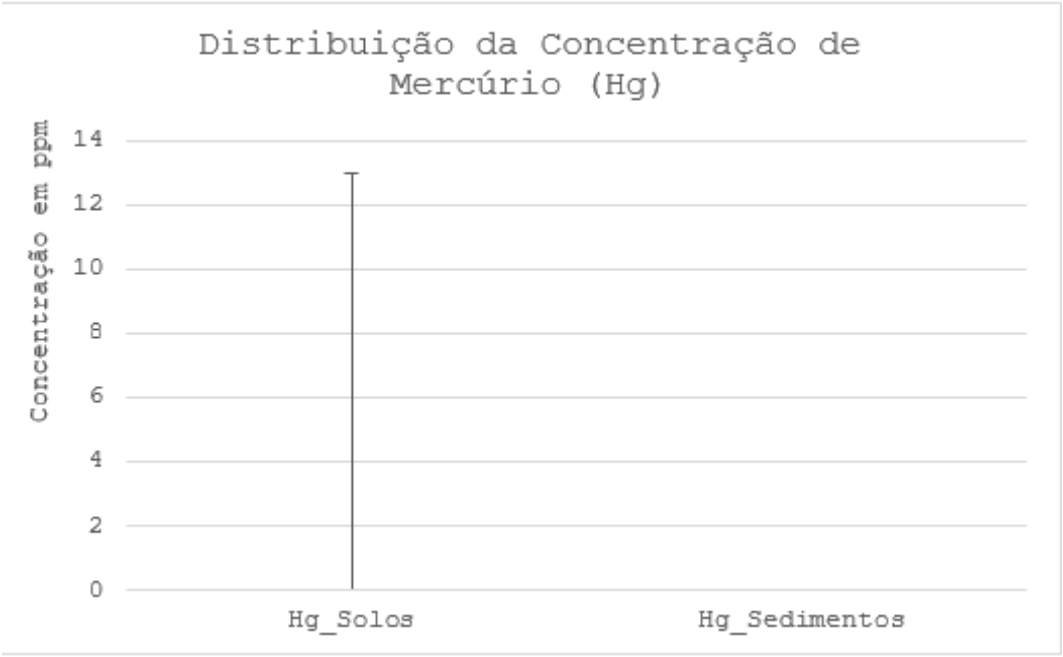
Figura 41 - *Boxplot* da concentração de manganês total, em ppm, no solo e no sedimento.



Fonte: *Boxplots* de manganês total em solos e sedimentos.

i) **Mercúrio:** O mercúrio apresentou um ponto de contaminação no solo, caracterizando ocorrência pontual, porém crítica (Figura 42). Trata-se de um metal altamente tóxico e cumulativo, com potencial de conversão em metilmercúrio e bioacumulação na cadeia alimentar. Em razão desses riscos, foi incluído no ICE conforme os critérios de severidade toxicológica.

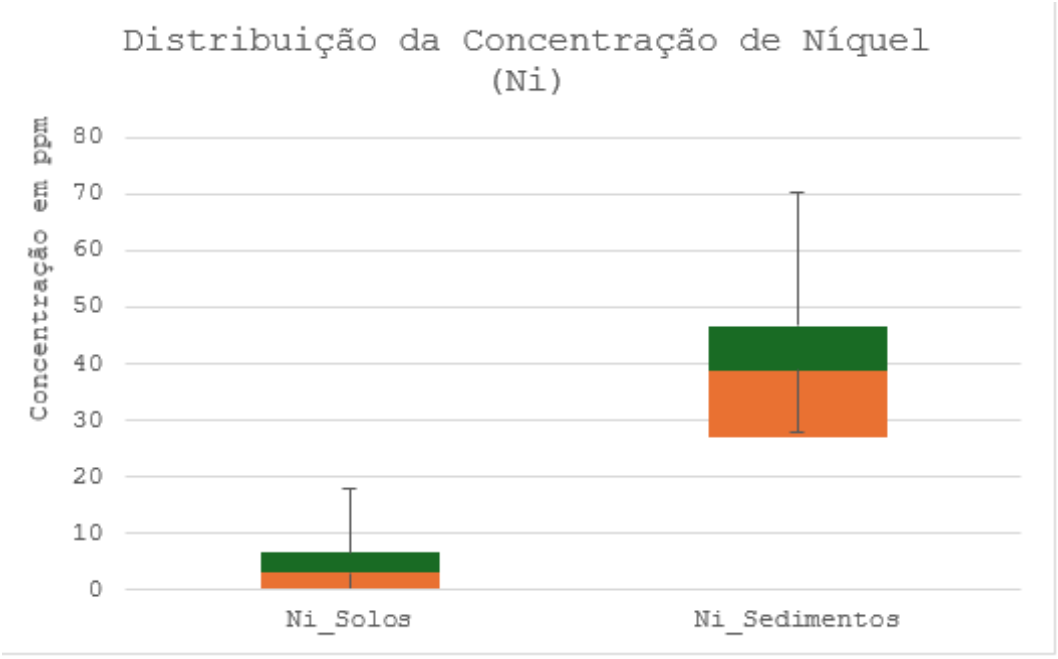
Figura 42 - *Boxplot* da concentração de mercúrio total, em ppm, no solo e no sedimento.



Fonte: *Boxplots* de mercúrio total em solos e sedimentos.

j) **Níquel:** O níquel apresentou concentrações consistentemente maiores no sedimento do que no solo, indicando maior retenção nesse compartimento (Figura 43). Em concentrações elevadas, pode causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos, justificando sua inclusão no ICE.

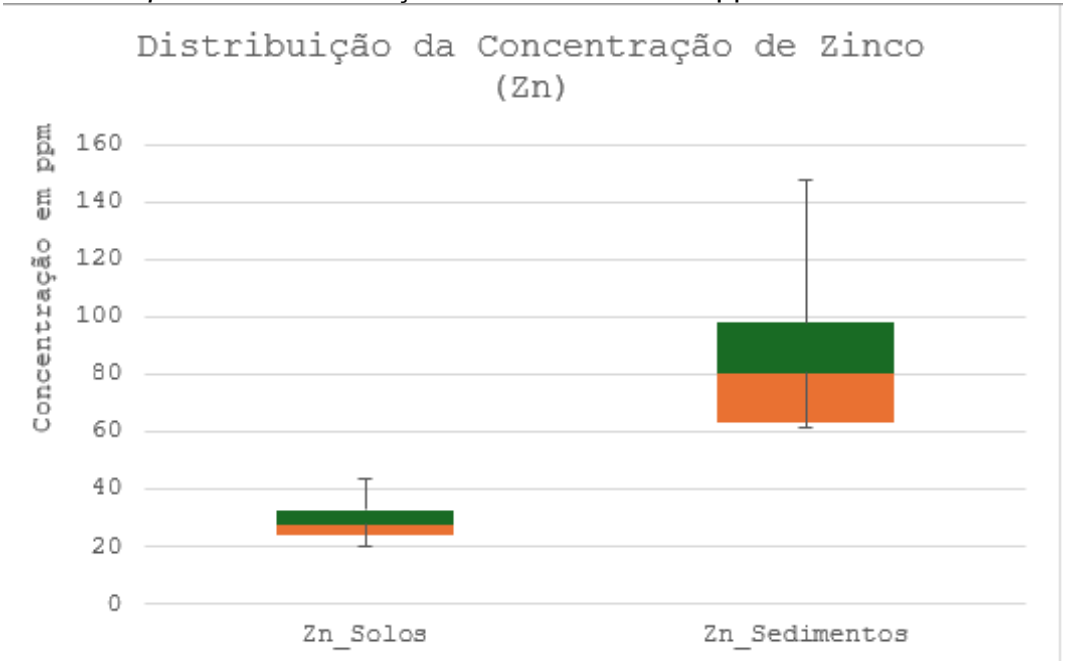
Figura 43 - *Boxplot* da concentração de níquel total, em ppm, no solo e no sedimento.



Fonte: *Boxplots* de níquel total em solos e sedimentos.

k) **Zinco:** O zinco apresentou presença consistente, com maiores concentrações no sedimento (Figura 44). Embora essencial em baixas concentrações, níveis elevados podem causar efeitos adversos à biota aquática. Assim, o Zn foi selecionado para compor o ICE, conforme os critérios metodológicos adotados.

Figura 44 - *Boxplot* da concentração de zinco total, em ppm, no solo e no sedimento.



Fonte: *Boxplots* de zinco total em solos e sedimentos.

De modo geral, a análise conjunta dos dados de solo e sedimentos do Córrego da Ponte Pensa, aliada à interpretação dos *boxplots* e à comparação orientativa com diferentes legislações ambientais, permitiu identificar os elementos mais relevantes para compor o ICE. As legislações foram utilizadas apenas como referência para auxiliar a leitura dos resultados, sem finalidade de enquadramento legal, considerando que cada norma foi elaborada para avaliar compartimentos ambientais distintos. A seleção dos elementos levou em conta o comportamento ambiental observado, os possíveis riscos à qualidade ambiental e à saúde humana, a existência de valores de referência na Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces Classe 2 e a disponibilidade de dados públicos da CETESB. Assim, os parâmetros escolhidos refletem as características do sistema estudado e garantem uma abordagem metodológica clara, coerente e alinhada aos objetivos da pesquisa.

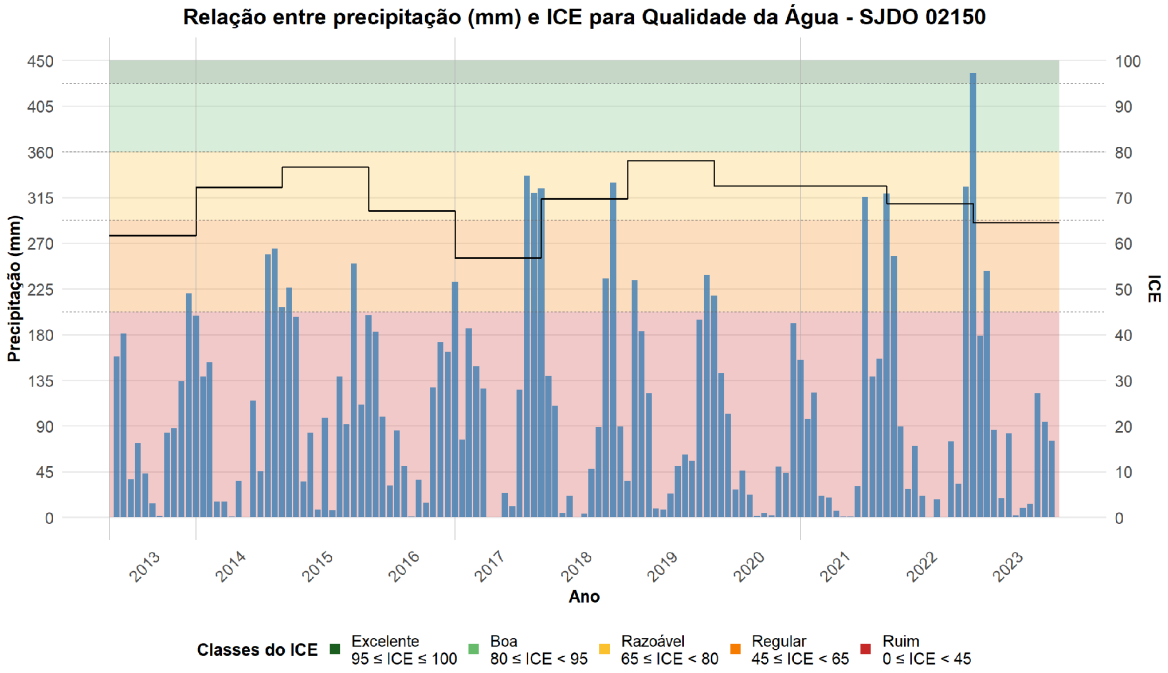
6.2. Aplicação do ICE no ponto SJDO 02150

O ponto de monitoramento SJDO 02150 está localizado na ponte da estrada de terra das duas pontes, à jusante da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Monte Aprazível, no município de Monte Aprazível, nas coordenadas geográficas latitude S 20°43'02'' e longitude W 49°46'00'', inserida na sub-bacia do Alto São José dos Dourados. O ponto dispõe de série histórica de dados disponibilizados pela CETESB, abrangendo o período de 2013 a 2023. A ETE de Monte Aprazível opera com vazão de 35,2 L/s, por meio de sistema de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa, com eficiência de remoção de DBO estimada em 80%, e lança seu efluente tratado diretamente no Rio São José dos Dourados, a montante do ponto de monitoramento (ANA, 2013; CBH-SJD, 2022).

6.2.1. Grupo Qualidade da Água – SJDO 02150

O Grupo Qualidade da Água do ponto SJDO 02150 (Alto São José dos Dourados) foi avaliado no período de 2013 a 2023, com base nos dados pluviométricos da estação B6-039 (Monte Aprazível). Os resultados anuais do ICE e os volumes de precipitação estão apresentados na Figura 45.

Figura 45 - Relação entre precipitação (mm) e ICE anual — SJDO 02150, Grupo Qualidade da Água.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 45 apresentou a sobreposição dos valores anuais do ICE com a precipitação total acumulada em cada ano, no ponto SJDO 02150. Observa-se que os anos de menor ICE não coincidem necessariamente com os de maior precipitação, o que indica que a variação interanual da chuva, isoladamente, não explica o desempenho do índice para o Grupo Qualidade da Água neste ponto. O ano de 2019, por exemplo, apresentou o melhor desempenho da série (ICE = 78,1) mesmo em ano de precipitação intermediária, enquanto 2017, ano de classificação Regular, apresentou precipitação acumulada também intermediária. Esse comportamento sugere que as não conformidades observadas neste ponto estão mais associadas a fontes pontuais e difusas de pressão do que ao regime pluviométrico, conforme aprofundado nas próximas seções.

Detalhando os valores anuais, os anos de 2013 (ICE = 61,7), 2017 (ICE = 56,8) e 2023 (ICE = 64,5) foram classificados como Regular, indicando qualidade frequentemente ameaçada ou degradada em relação aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para corpos d'água doces de Classe 2. O ano de 2019 registrou o melhor desempenho do período (ICE = 78,1), aproximando-se do limite da categoria Boa, porém sem alcançá-la. Os anos de 2020 e 2021 foram

calculados de forma conjunta, em razão do número insuficiente de amostras em cada ano isolado para atender ao mínimo exigido pela metodologia do CCME WQI, resultando em ICE = 72,6 (Razoável) para o biênio.

Na análise trienal, três dos quatro períodos foram classificados como Razoável: 2014–2013 (ICE = 66,6), 2020–2018 (ICE = 70,8) e 2023–2021 (ICE = 65,1). O período 2017–2015 foi o único classificado como Regular (ICE = 64,2). Os resultados anuais e trienais do Grupo Qualidade da Água para o ponto SJDO 02150 estão sintetizados na Tabela 4. Interpretados à luz do programa de efetivação do enquadramento (Resolução CNRH nº 91/2008), esses resultados fornecem uma medida do quanto o corpo hídrico se aproxima — ou se distancia — das metas intermediárias de qualidade previstas para a Classe 2, evidenciando o potencial do ICE como instrumento de acompanhamento progressivo dessas metas ao longo do tempo.

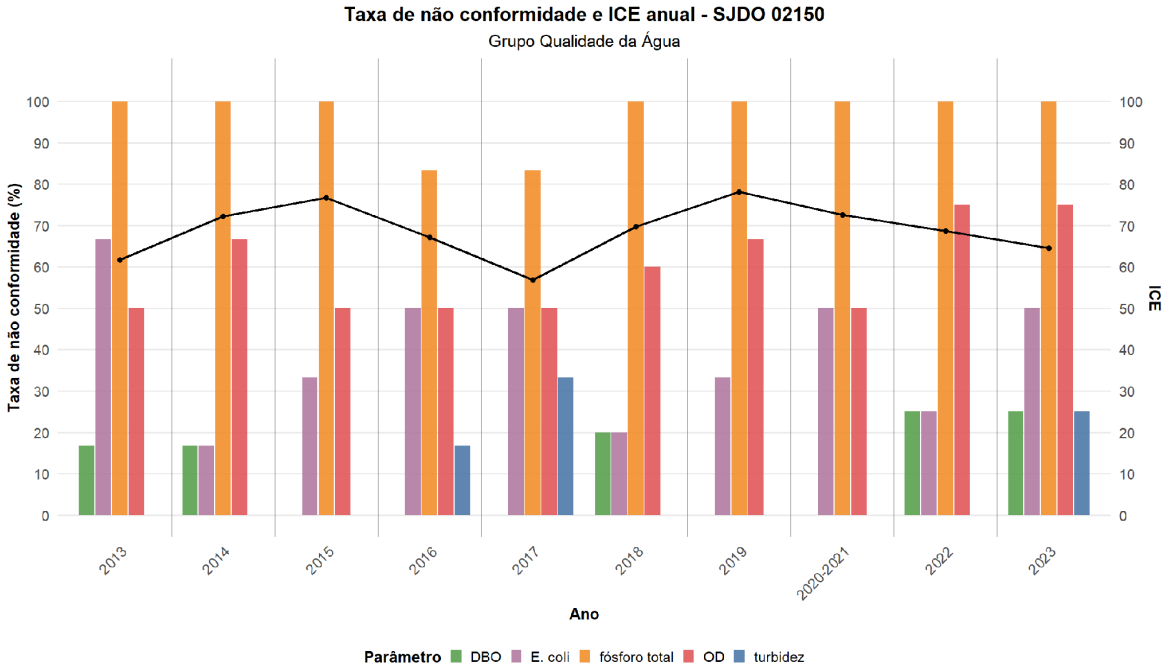
Tabela 4 - Resultados do ICE – Grupo Qualidade da Água – SJDO 02150.

Período	ICE	Categoria	Período	ICE	Categoria
2023	64,5	Regular	2023-2021	65,1	Razoável
2022	68,6	Razoável	2020-2018	70,8	Razoável
2021-2020	72,6	Razoável	2017-2015	64,2	Regular
2019	78,1	Razoável	2014-2013	66,6	Razoável
2018	69,7	Razoável			
2017	56,8	Regular			
2016	67,1	Razoável			
2015	76,7	Razoável			
2014	72,2	Razoável			
2013	61,7	Regular			

Fonte: Resultados obtidos pelo cálculo do ICE utilizando a calculadora CCME WQI 2.0 e Excel.

A Figura 46 apresentou a taxa de não conformidade dos parâmetros do Grupo Qualidade da Água ao longo do período.

Figura 46 - Taxa de não conformidade por parâmetro — SJDO 02150, Grupo Qualidade da Água.



Fonte: Autoria própria.

Os dados brutos de monitoramento utilizados na avaliação do Grupo Qualidade da Água no ponto SJDO 02150, com indicação visual das amostras em não conformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005, estão sistematizados no Apêndice A.

O fósforo total foi o parâmetro com maior frequência de não conformidade, registrando taxas próximas a 100% na maioria dos anos avaliados. Esse resultado indica que praticamente todas as amostras coletadas superaram o limite de 0,1 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para ambientes lóticos de Classe 2. O oxigênio dissolvido também apresentou falhas consistentes ao longo de todo o período, com taxas entre 50% e 75%. A Escherichia coli registrou não conformidades em todos os anos avaliados, com taxas que variaram ao longo do período — tratando-se, entre os parâmetros avaliados, de um dos mais complexos para a avaliação do enquadramento, dada a variabilidade de suas fontes e do seu comportamento no corpo hídrico.

A localização da ETE de Monte Aprazível a montante do ponto SJDO 02150 indica a presença de uma fonte pontual de lançamento de efluente tratado no corpo hídrico. Embora o sistema opere com eficiência de remoção de DBO estimada em 80%, sistemas de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa não são projetados

para a remoção específica de nutrientes como o fósforo (ANA, 2013; CBH-SJD, 2022). Dessa forma, a contribuição do efluente tratado não pode ser descartada como um dos fatores associados às não conformidades de fósforo total e de *Escherichia coli* observadas ao longo da série histórica, embora a identificação precisa das fontes demande estudos específicos de balanço de cargas, que estão além do escopo desta pesquisa.

A comparação com os índices convencionais utilizados pela CETESB evidencia diferenças no diagnóstico da qualidade da água neste ponto. O IQA apresentou classificação Boa em todos os anos avaliados, com valores entre 53 e 61, sem nenhuma variação de categoria ao longo de toda a série histórica, incluindo os anos de 2013, 2017 e 2023, nos quais o ICE-QA indicou categoria Regular. O IVA, disponível para a maioria dos anos, classificou o ponto como Ruim em quase todo o período (valores entre 4,3 e 6,6), sendo o índice convencional que apresentou diagnóstico mais próximo ao do ICE em termos de desconformidade. O IET variou entre as categorias Eutrófico e Hipereutrófico ao longo do período, o que é coerente com as altas taxas de não conformidade do fósforo total registradas pelo ICE. A divergência entre o IQA e o ICE-QA decorreu das diferenças metodológicas entre os índices: enquanto o IQA distribui ponderações entre múltiplos parâmetros e foi concebido com foco na aptidão para abastecimento humano, o ICE avalia diretamente o percentual de amostras e parâmetros fora dos limites da Resolução CONAMA nº 357/2005, sendo, portanto, mais sensível às desconformidades em relação às metas de enquadramento. A Tabela 5 apresenta os índices durante o período analisado para o ponto SJDO 02150.

Tabela 5 - Comparação anual dos índices de qualidade da água – SJDO 02150.

Ano	IQA	IQA-classe	IET	IET-classe	IVA	IVA-classe	ICE-QA	ICE-QA-classe	ICE-PE	ICE-PE-classe
2013	53	Boa	66	Supereutrófico	-	-	61,7	Regular	78,4	Razoável
2014	55	Boa	65	Supereutrófico	6,1	Ruim	72,2	Razoável	76,9	Razoável
2015	61	Boa	65	Supereutrófico	5,6	Ruim	76,7	Razoável	71,7	Razoável
2016	58	Boa	62	Eutrófico	5,1	Ruim	67,1	Razoável	74,8	Razoável
2017	55	Boa	62	Eutrófico	4,8	Ruim	56,8	Regular	73,0	Razoável
2018	61	Boa	65	Supereutrófico	5,7	Ruim	69,7	Razoável	81,3	Boa
2019	61	Boa	60	Eutrófico	4,3	Regular	78,1	Razoável	81,0	Boa
2020	-	Boa	-	-	-	-	72,6	Razoável	72,9	Razoável
2021	60	Boa	68	Hipereutrófico	-	-				
2022	56	Boa	68	Hipereutrófico	6,6	Ruim	68,6	Razoável	71,6	Razoável
2023	56	Boa	60	Eutrófico	-	-	64,5	Regular	75,1	Razoável

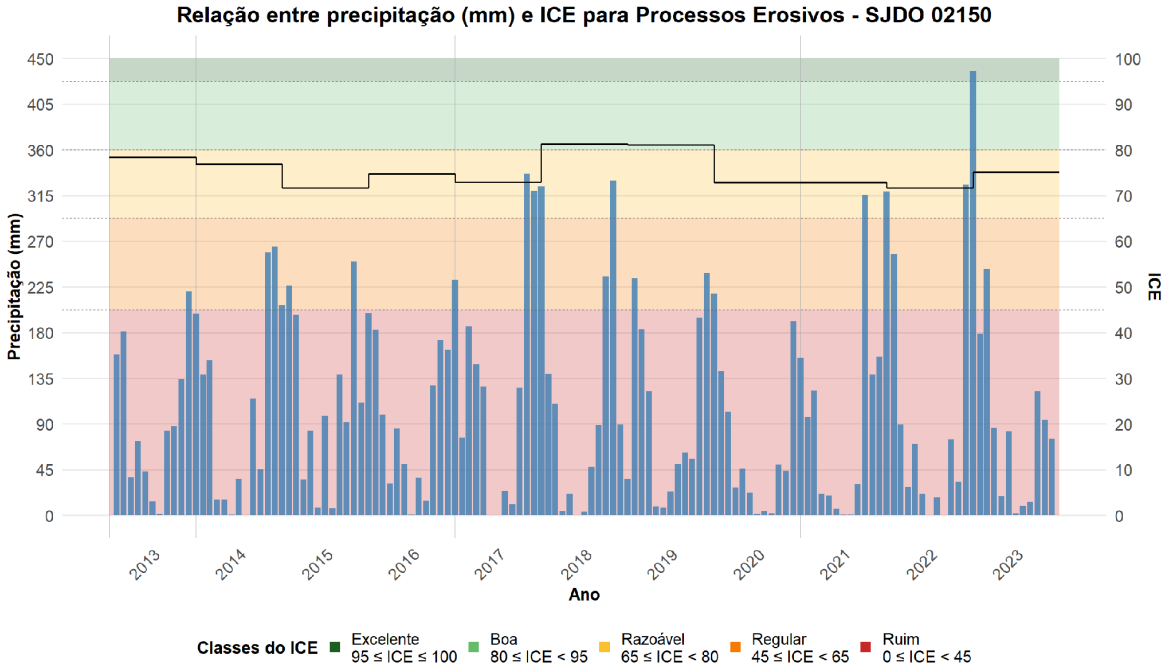
Fonte: IQA, IET e IVA obtidos dos Relatórios de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo (CETESB, 2013–2023); ICE-QA e ICE-PE calculados pela autora utilizando a calculadora CCME WQI 2.0 e Excel.

Os resultados observados no SJDO 02150 são coerentes com o padrão identificado em estudos recentes de aplicação do ICE em bacias brasileiras. Hinata *et al.* (2023), em análise abrangente de 172 estações distribuídas em 19 bacias do Rio Grande do Sul, identificaram o fósforo total, a *Escherichia coli* e o oxigênio dissolvido entre os parâmetros mais frequentemente associados às não conformidades em relação à Resolução CONAMA nº 357/2005, com classificações predominantemente razoáveis e marginais. Padrão semelhante foi apontado por Silva (2017), em aplicação do ICE na calha do rio das Velhas (MG), em que a *Escherichia coli* e o fósforo total foram destacados entre os parâmetros de maior persistência de desconformidade em corpos hídricos sob influência de aglomerados urbanos. Esses estudos reforçam que o desempenho observado no ponto SJDO 02150, com classificação predominantemente razoável e dominância de não conformidades em fósforo total, oxigênio dissolvido e *Escherichia coli*, não constitui um fenômeno isolado, mas reflete uma condição recorrente em bacias brasileiras sob pressão de lançamentos sanitários.

6.2.2. Grupo Processos Erosivos – SJDO 02150

O Grupo Processos Erosivos do ponto SJDO 02150 foi avaliado no período de 2013 a 2023, com base nos dados pluviométricos da estação B6-039 (Monte Aprazível). Os resultados anuais do ICE e os volumes de precipitação estão apresentados na Figura 47.

Figura 47 - Relação entre precipitação (mm) e ICE anual — SJDO 02150, Grupo Processos Erosivos.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 47 apresentou a sobreposição dos valores anuais do ICE com a precipitação total acumulada em cada ano, no ponto SJDO 02150 para o Grupo Processos Erosivos. Diferentemente do Grupo Qualidade da Água, observa-se aqui uma maior estabilidade dos valores do ICE entre os anos, com a quase totalidade dos valores na faixa Razoável e apenas dois anos na faixa Boa, indicando que a pressão erosiva sobre o corpo hídrico é estrutural e relativamente independente das oscilações anuais de precipitação. Anos com volumes de chuva elevados ou reduzidos resultaram em valores semelhantes de ICE, o que reforça a interpretação de que a não conformidade dos parâmetros erosivos está vinculada às características pedológicas da bacia e às transformações no uso do solo, mais do que ao regime pluviométrico de cada ano.

Detalhando os valores anuais, os anos de 2018 (ICE = 81,3) e 2019 (ICE = 81,0) foram classificados como Boa, indicando melhora pontual na conformidade dos parâmetros erosivos nesses dois anos. Os demais anos permaneceram na faixa Razoável, sem registrar classificações Regular ou inferiores. Os anos de 2020 e 2021 foram calculados de forma conjunta, pelo mesmo motivo descrito para o Grupo Qualidade da Água, resultando em ICE = 72,9 (Razoável) para o biênio.

Na análise trienal, todos os quatro períodos foram classificados como Razoável: 2014–2013 (ICE = 76,4), 2017–2015 (ICE = 69,9), 2020–2018 (ICE = 76,4) e 2023–2021 (ICE = 71,5), demonstrando estabilidade das condições erosivas ao longo do período, porém sem alcançar a categoria Boa em nenhum dos triênios avaliados. Os resultados anuais e trienais do Grupo Processos Erosivos para o ponto SJDO 02150 estão sintetizados na Tabela 6.

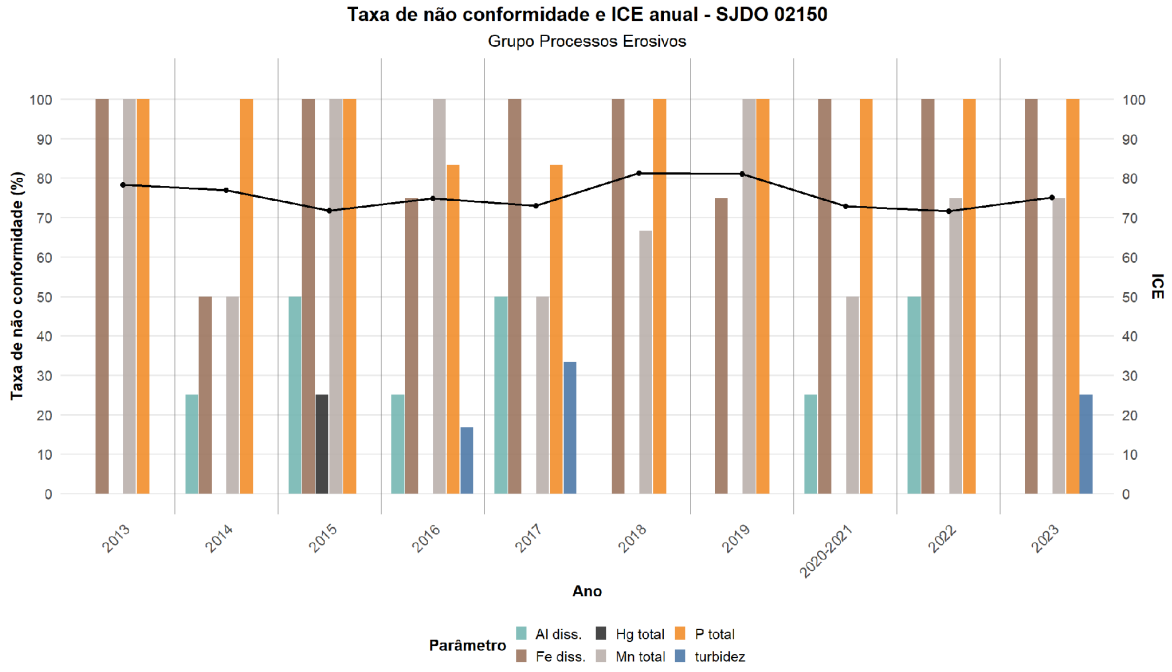
Tabela 6 - Resultados do ICE – Grupo Processos Erosivos – SJDO 02150.

Período	ICE	Categoria	Período	ICE	Categoria
2023	75,1	Razoável	2023-2021	71,5	Razoável
2022	71,6	Razoável	2020-2018	76,4	Razoável
2021-2020	72,9	Razoável	2017-2015	69,9	Razoável
2019	81,0	Boa	2014-2013	76,4	Razoável
2018	81,3	Boa			
2017	73,0	Razoável			
2016	74,8	Razoável			
2015	71,7	Razoável			
2014	76,9	Razoável			
2013	78,4	Razoável			

Fonte: Resultados obtidos pelo cálculo do ICE utilizando a calculadora CCME WQI 2.0 e Excel. Autoria própria.

A Figura 48 apresentou a taxa de não conformidade dos parâmetros do Grupo Processos Erosivos ao longo do período.

Figura 48 - Taxa de não conformidade por parâmetro — SJDO 02150, Grupo Processos Erosivos.



Fonte: Autoria própria.

Os dados brutos de monitoramento utilizados na avaliação do Grupo Processos Erosivos no ponto SJDO 02150, com indicação visual das amostras em não conformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005, estão sistematizados no Apêndice B.

O fósforo total e o ferro dissolvido foram os parâmetros com maior frequência de não conformidade, registrando taxas próximas a 100% em quase todos os anos avaliados. O manganês total também apresentou falhas expressivas ao longo de todo o período, com taxas entre 50% e 100%. O alumínio dissolvido registrou não conformidades em praticamente todos os anos, com variação entre os períodos. Os demais parâmetros do grupo apresentaram falhas em frequência menor e variável ao longo da série histórica.

A predominância de não conformidades em parâmetros associados a processos erosivos no ponto SJDO 02150 dialoga com achados de outros estudos brasileiros que aplicaram o CCME WQI em bacias com pressões semelhantes sobre metais e sedimentos. Pires (2022), em estudo na bacia do rio das Velhas (MG), avaliou o CCME WQI com base em parâmetros como alumínio dissolvido, ferro dissolvido, manganês total, sólidos suspensos totais, turbidez e zinco, e observou piora do índice associada ao aporte desses elementos, tanto em períodos de rompimento de barragens quanto em condições basais do rio. De forma análoga, Rocha *et al.* (2022), na avaliação da Represa de São Pedro (MG), manancial de abastecimento público enquadrado como Classe 1, observaram piora dos valores do ICE no período de 2006 a 2020, com classificações predominantemente “péssima” e “ruim”. A turbidez foi apontada como um dos parâmetros que mais apresentou desconformidades em relação aos limites legais, associada às obras de duplicação da BR-040 e à implantação da BR-440 nas margens do reservatório, que provocaram supressão da vegetação ciliar, movimentação de terras e assoreamento do corpo hídrico — processos que potencializaram o carreamento de sedimentos.

As elevadas taxas de não conformidade de ferro dissolvido, alumínio dissolvido e manganês total estão associadas às características pedológicas da bacia. A predominância de Argissolo Vermelho-Amarelo na região, solo com elevada erodibilidade intrínseca e naturalmente rico em óxidos de ferro e alumínio, favorece o carreamento de partículas e metais para o corpo hídrico durante eventos de precipitação (Rossi; Nalon; Kanashiro, 2022). Esse processo é denominado poluição difusa e sua intensidade está diretamente relacionada ao volume e à energia do

escoamento superficial sobre o solo exposto ou com cobertura de baixa capacidade de infiltração.

Do ponto de vista do uso e da ocupação do solo, a sub-bacia do Alto São José dos Dourados passou por expressiva transformação entre 1985 e 2020, com redução de aproximadamente 633 km² de pastagem e avanço da cana-de-açúcar sobre essas áreas (CBH-SJD, 2022; MAPBIOMAS, 2020). A cana-de-açúcar apresenta relação erosividade / infiltração (e/i) de valor 6, enquanto a pastagem apresenta valor 3 (CBH-SJD, 2022). Essa mudança representa aumento do potencial de geração de escoamento superficial e carreamento de sedimentos, o que pode contribuir para a pressão contínua sobre os parâmetros erosivos observada ao longo de toda a série histórica.

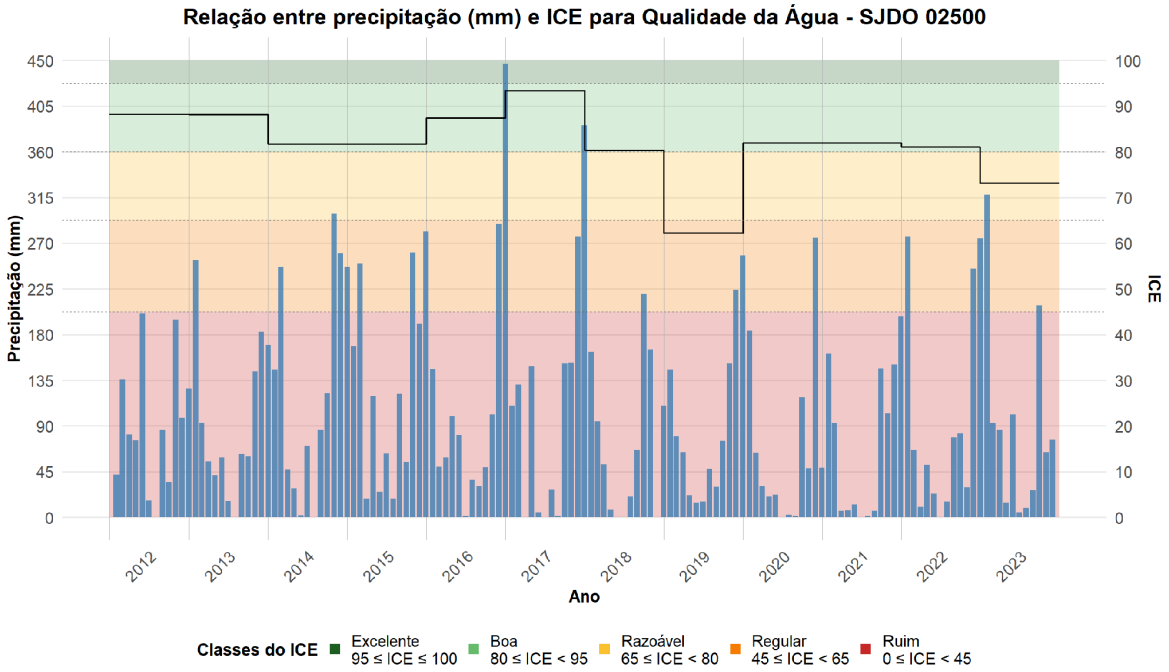
6.3. Aplicação do ICE no ponto SJDO 02500

O ponto SJDO 02500 está localizado na ponte da rodovia SP-463, no trecho que liga Araçatuba a Jales, no município de General Salgado, nas coordenadas S 20°30'31'' e W 50°31'08'', inserida na sub-bacia do Ribeirão Marimbondo. O ponto dispõe de série histórica de dados disponibilizados pela CETESB, abrangendo o período de 2012 a 2023. A ETE de General Salgado opera com vazão de 14,5 L/s, por meio de sistema de lagoa facultativa, com eficiência de remoção de DBO estimada em 75%, e lança seu efluente tratado no Ribeirão Buritis, afluente do Rio São José dos Dourados próximo ao ponto de monitoramento (ANA, 2013; CBH-SJD, 2022).

6.3.1. Grupo Qualidade da Água – SJDO 02500

O Grupo Qualidade da Água do ponto SJDO 02500 (Ribeirão Marimbondo / São José dos Dourados) foi avaliado no período de 2012 a 2023, com base nos dados pluviométricos da estação B7-038 (Pontalinda). Os resultados anuais do ICE e os volumes de precipitação estão apresentados na Figura 49.

Figura 49 - Relação entre precipitação (mm) e ICE anual — SJDO 02500, Grupo Qualidade da Água.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 49 apresenta a sobreposição dos valores anuais do ICE com a precipitação total acumulada em cada ano, no ponto SJDO 02500 para o Grupo Qualidade da Água. Observa-se que o melhor desempenho do índice ocorreu em 2017 (ICE = 93,4), em ano de precipitação intermediária, e que o pior desempenho ocorreu em 2019 (ICE = 62,3), também em ano de precipitação intermediária, o que demonstra ausência de correlação direta entre os dois indicadores anuais. O comportamento dos triênios mais recentes, com tendência de declínio do ICE, ocorre independentemente da variação anual da precipitação, indicando que a deterioração observada neste ponto está vinculada à pressão antrópica acumulada na sub-bacia, conforme discutido nas próximas seções.

Detalhando os valores anuais, o ano de 2017 registrou o melhor desempenho do período (ICE = 93,4), aproximando-se do limite da categoria Excelente. O ano de 2019 foi o único classificado como Regular (ICE = 62,3), indicando deterioração pontual da qualidade da água naquele ano. O ano de 2023 foi classificado como Razoável (ICE = 73,1), enquanto todos os demais anos permaneceram na categoria Boa, resultado superior ao observado no ponto SJDO 02150. Os anos de 2020 e 2021 foram calculados de forma conjunta, resultando em ICE = 81,9 (Boa) para o biênio.

Na análise trienal, os dois primeiros períodos foram classificados como Boa: 2014–2012 (ICE = 82,3) e 2017–2015 (ICE = 82,1). Os dois períodos seguintes recuaram para a categoria Razoável: 2020–2018 (ICE = 72,5) e 2023–2021 (ICE = 75,1), indicando tendência de declínio na qualidade da água ao longo dos anos mais recentes. Os resultados anuais e trienais do Grupo Qualidade da Água para o ponto SJDO 02500 estão sintetizados na Tabela 7.

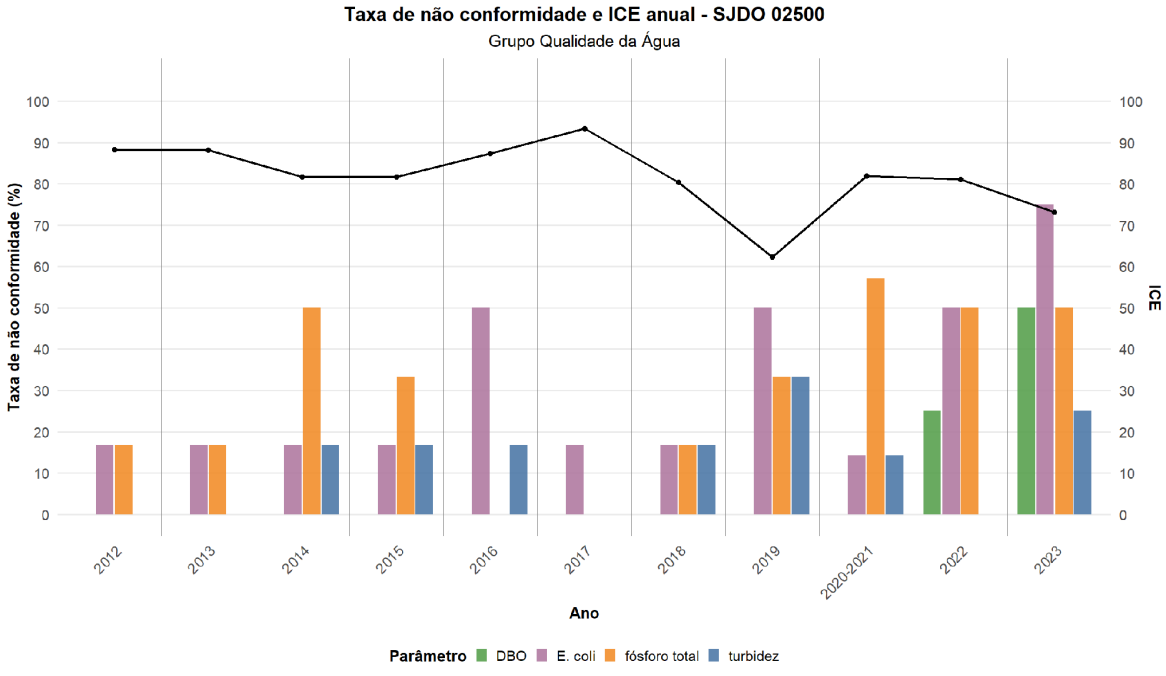
Tabela 7 - Resultados do ICE – Grupo Qualidade da Água – SJDO 02500.

Período	ICE	Categoria	Período	ICE	Categoria
2023	73,1	Razoável	2023-2021	75,1	Razoável
2022	81,1	Boa	2020-2018	72,5	Razoável
2021-2020	81,9	Boa	2017-2015	82,1	Boa
2019	62,3	Regular	2014-2012	82,3	Boa
2018	80,3	Boa			
2017	93,4	Boa			
2016	87,4	Boa			
2015	81,7	Boa			
2014	81,7	Boa			
2013	88,2	Boa			

Fonte: Resultados obtidos pelo cálculo do ICE utilizando a calculadora CCME WQI 2.0 e Excel. Autoria própria.

A Figura 50 apresentou a taxa de não conformidade dos parâmetros do Grupo Qualidade da Água ao longo do período.

Figura 50 - Taxa de não conformidade por parâmetro — SJDO 02500, Grupo Qualidade da Água.



Fonte: Autoria própria.

Os dados brutos de monitoramento utilizados na avaliação do Grupo Qualidade da Água no ponto SJDO 02500, com indicação visual das amostras em não conformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005, estão sistematizados no Apêndice C.

O fósforo total e a *Escherichia coli* foram os parâmetros com maior frequência de não conformidade ao longo do período. O fósforo total apresentou falhas em quase todos os anos, com taxas que variaram entre 16,7% nos primeiros anos e 57,1% no biênio 2020–2021, com tendência de aumento nos anos mais recentes. A *E. coli* registrou não conformidades em todos os anos avaliados, com taxas entre 14,3% e 75%, indicando aporte recorrente de carga microbiológica ao longo de toda a série histórica. A localização da ETE de General Salgado, cujo efluente tratado é lançado no Ribeirão Buritis, afluente do Rio São José dos Dourados próximo ao ponto de monitoramento, indica a presença de uma fonte pontual no entorno da área de influência do ponto SJDO 02500 (ANA, 2013; CBH-SJD, 2022). A contribuição desse lançamento sobre a qualidade da água no ponto de monitoramento não pode ser avaliada de forma isolada neste estudo, uma vez que a identificação precisa da influência de fontes pontuais demanda estudos específicos de balanço de cargas, que estão além do escopo desta pesquisa.

A comparação com os índices convencionais da CETESB para o ponto SJDO 02500 revelou maior convergência do que a observada em SJDO 02150. O IQA manteve a classificação Boa em todos os anos avaliados, com valores entre 62 e 72, o que é consistente com o desempenho predominantemente Boa do ICE-QA neste ponto. No entanto, o ICE foi capaz de registrar a deterioração nos anos mais recentes de forma mais explícita: o ano de 2019 foi classificado como Regular pelo ICE (ICE = 62,3) e como Boa pelo IQA (valor = 62), e o ano de 2023 foi classificado como Razoável pelo ICE (ICE = 73,1) e como Boa pelo IQA (valor = 62). O IVA variou entre as categorias Ótima e Boa ao longo do período, resultado coerente com o melhor desempenho do ICE-QA neste ponto em relação ao SJDO 02150. O IET apresentou trajetória de piora ao longo da série histórica, passando de Ultraoligotrófico nos anos de 2012 e 2013 para Mesotrófico nos anos mais recentes, o que é consistente com o aumento das taxas de não conformidade do fósforo total identificadas pelo ICE e indica pressão crescente por nutrientes no trecho Médio São José dos Dourados. A Tabela 8 apresenta os índices durante o período analisado para o ponto SJDO 02500.

Tabela 8 - Comparação anual dos índices de qualidade da água – SJDO 02500.

Ano	IQA	IQA-classe	IET	IET-classe	IVA	IVA-classe	ICE-QA	ICE-QA-classe	ICE-PE	ICE-PE-classe
2012	72	Boa	40	Ultraoligotrófico	2,1	Ótima	88,3	Boa	84,2	Boa
2013	72	Boa	46	Ultraoligotrófico	2	Ótima	88,2	Boa	89,9	Boa
2014	69	Boa	51	Oligotrófico	2,5	Ótima	81,7	Boa	76,2	Razoável
2015	68	Boa	52	Oligotrófico	2,5	Ótima	81,7	Boa	76,8	Razoável
2016	67	Boa	52	Oligotrófico	2,5	Ótima	87,4	Boa	86,2	Boa
2017	69	Boa	50	Oligotrófico	2,5	Ótima	93,4	Boa	85,0	Boa
2018	69	Boa	52	Oligotrófico	2,7	Boa	80,3	Boa	74,2	Razoável
2019	62	Boa	55	Mesotrófico	3,2	Boa	62,3	Regular	73,9	Razoável
2020	67	Boa	54	Mesotrófico	-	-	81,9	Boa	74,5	Razoável
2021	71	Boa	53	Mesotrófico	2,9	Boa				
2022	69	Boa	52	Oligotrófico	-	-	81,1	Boa	89,8	Boa
2023	62	Boa	54	Mesotrófico	-	-	73,1	Razoável	75,2	Razoável

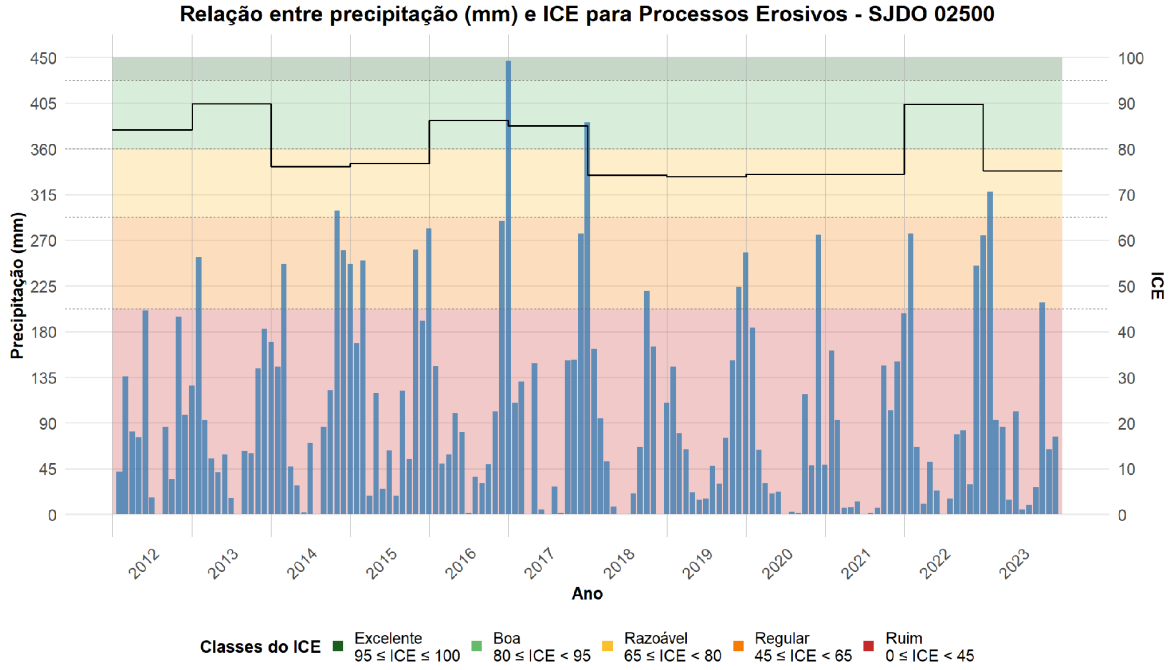
Fonte: IQA, IET e IVA obtidos dos Relatórios de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo (CETESB, 2013–2023); ICE-QA e ICE-PE calculados pela autora utilizando a calculadora CCME WQI 2.0 e Excel.

As divergências observadas entre o ICE-QA e o IQA para o ponto SJDO 02500, em especial nos anos de 2019 e 2023, em que o ICE indicou deterioração não capturada pelo IQA, evidenciou a leitura complementar que o ICE ofereceu em relação aos índices convencionais. Carvalho-Filho *et al.* (2024), em estudo de três riachos urbanos enquadrados como Classe 2 no Recife (PE), aplicaram o ICE em conjunto com o IQA e o IET e verificaram convergência entre os três índices no diagnóstico de elevada degradação, com não conformidades concentradas em parâmetros associados a esgoto sanitário, como fósforo total e coliformes termotolerantes. De forma semelhante, Reis *et al.* (2019), em aplicação do ICE na bacia do Rio Santo Antônio (MG), identificaram o fósforo total e a *Escherichia coli* como os parâmetros com maior porcentagem de violação dos limites estabelecidos para o enquadramento proposto, em especial no trecho do rio Guanhães classificado como classe 1 (ICE médio = 77, mediano). Os autores associaram essa condição ao despejo de efluentes domésticos sem tratamento adequado, evidenciando a sensibilidade do ICE à pressão sanitária mesmo em corpos hídricos enquadrados em classes mais restritivas.

6.3.2. Grupo Processos Erosivos – SJDO 02500

O Grupo Processos Erosivos no ponto SJDO 02500 foi avaliado no período de 2012 a 2023, com base nos dados pluviométricos da estação B7-038 (Pontalinda). Os resultados anuais do ICE e os volumes de precipitação estão apresentados na Figura 51.

Figura 51 - Relação entre precipitação (mm) e ICE anual — SJDO 02500, Grupo Processos Erosivos.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 48 apresenta a sobreposição dos valores anuais do ICE com a precipitação total acumulada em cada ano, no ponto SJDO 02500 para o Grupo Processos Erosivos. Observa-se alternância entre as categorias Boa e Razoável ao longo do período, com os melhores desempenhos em 2013 e 2022 e os piores em 2018, 2019 e no biênio 2020 a 2021. Os anos de melhor desempenho coincidiram com volumes de precipitação variados, e o mesmo se observa para os anos de pior desempenho, o que indica que a relação entre precipitação anual e valor do ICE é fraca neste ponto. A sensibilidade do índice a fatores estruturais da bacia, como a composição pedológica e o uso do solo, mostra-se mais determinante do que a oscilação interanual da chuva.

Detalhando os valores anuais, os anos de 2013 (ICE = 89,9) e 2022 (ICE = 89,8) foram os de melhor desempenho, próximos ao limite da categoria Excelente. Os anos de 2018 (ICE = 74,2), 2019 (ICE = 73,9) e o biênio 2020 a 2021 (ICE = 74,5) foram os de pior desempenho, permanecendo na categoria Razoável. Os anos de 2020 e 2021 foram calculados de forma conjunta pelo mesmo motivo descrito anteriormente. Nenhum ano registrou classificação Regular ou inferior.

Na análise trienal, todos os quatro períodos foram classificados como Razoável: 2014–2012 (ICE = 77,4), 2017–2015 (ICE = 77,7), 2020–2018 (ICE = 74,0) e 2023–2021 (ICE = 76,5), indicando que, apesar da variação anual entre as categorias Boa e Razoável, o desempenho consolidado ao longo dos triênios se manteve na faixa intermediária em todo o período. Os resultados anuais e trienais do Grupo Processos Erosivos para o ponto SJDO 02500 estão sintetizados na Tabela 9.

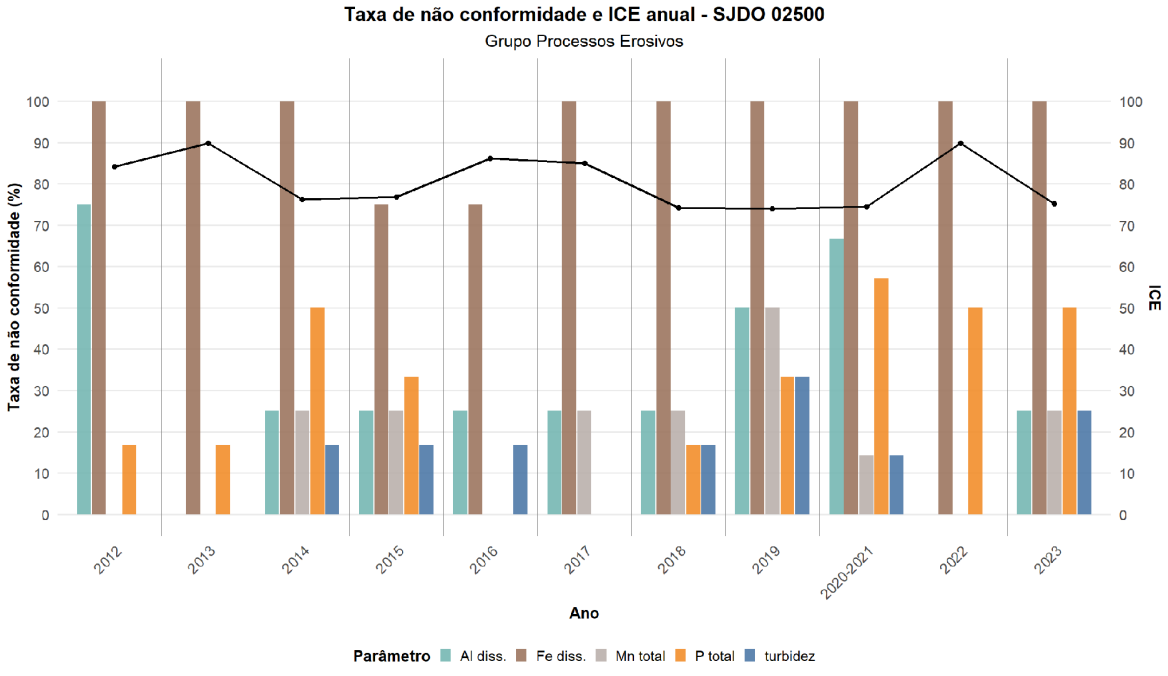
Tabela 9 - Resultados do ICE – Grupo Processos Erosivos – SJDO 02500.

Período	ICE	Categoria	Período	ICE	Categoria
2023	75,2	Razoável	2023-2021	76,5	Razoável
2022	89,8	Boa	2020-2018	74,0	Razoável
2021-2020	74,5	Razoável	2017-2015	77,7	Razoável
2019	73,9	Razoável	2014-2012	77,4	Razoável
2018	74,2	Razoável			
2017	85,0	Boa			
2016	86,2	Boa			
2015	76,8	Razoável			
2014	76,2	Razoável			
2013	89,9	Boa			

Fonte: Resultados obtidos pelo cálculo do ICE utilizando a calculadora CCME WQI 2.0 e Excel. Autoria própria.

A Figura 52 apresentou a taxa de não conformidade dos parâmetros do Grupo Processos Erosivos ao longo do período.

Figura 52 - Taxa de não conformidade por parâmetro — SJDO 02500, Grupo Processos Erosivos.



Fonte: Autoria própria.

Os dados brutos de monitoramento utilizados na avaliação do Grupo Processos Erosivos no ponto SJDO 02500, com indicação visual das amostras em não conformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005, estão sistematizados no Apêndice D.

O ferro dissolvido foi o parâmetro com maior frequência de não conformidade, registrando 100% de falhas em quase todos os anos avaliados, o que indica pressão constante ao longo de toda a série histórica, independente das variações anuais de precipitação. O alumínio dissolvido também apresentou falhas em praticamente todos os anos, com taxas entre 14,3% e 75%, sendo mais elevadas nos anos de maior precipitação acumulada. O fósforo total registrou não conformidades na maior parte do período, com variação entre os anos. Os demais parâmetros do grupo apresentaram falhas em frequência menor e distribuição variável ao longo da série histórica.

O comportamento do ferro dissolvido e do alumínio dissolvido no ponto SJDO 02500 é coerente com as características pedológicas da bacia. A predominância de Argissolo Vermelho-Amarelo, solo naturalmente rico em óxidos de ferro e alumínio e de elevada erodibilidade, favorece a mobilização desses elementos para o corpo hídrico durante eventos de precipitação por meio do escoamento superficial (Rossi; Nalon; Kanashiro, 2022). A maior sensibilidade do alumínio às variações de precipitação, com taxas mais elevadas em anos mais chuvosos, é consistente com esse mecanismo de transporte.

Na sub-bacia do Ribeirão Marimbondo, o processo de substituição de pastagens por cana-de-açúcar também esteve presente entre 1985 e 2020, porém em magnitude proporcionalmente menor que a observada nas sub-bacias do Alto e do Médio São José dos Dourados: a redução de área de pastagem foi de aproximadamente 358 km² (CBH-SJD, 2022; MAPBIOMAS, 2020). Considerando que a cana-de-açúcar apresenta relação e/i de valor 6, superior ao valor 3 da pastagem (CBH-SJD, 2022), essa transformação representa aumento do potencial de geração de escoamento superficial e carreamento de sedimentos, o que pode contribuir para a manutenção das pressões erosivas observadas ao longo do período, em especial nos parâmetros ferro dissolvido e alumínio dissolvido.

O padrão de não conformidade observado no SJDO 02500 dialoga com achados de outros estudos brasileiros que aplicaram o CCME WQI em bacias com pressões antrópicas semelhantes. Almeida e Oliveira (2018), em aplicação na bacia

do rio Joanes (BA), demonstraram a flexibilidade do CCME WQI para diferentes configurações de monitoramento e a possibilidade de adaptações metodológicas que considerem características hidrológicas locais. Moreira *et al.* (2024), em estudo na sub-bacia do Salgado (CE), enquadrada como Classe 2, observaram que pontos sob maior pressão antrópica apresentaram desempenho persistentemente pior em ambos os índices avaliados (CCME WQI e Índice de Poluição de *Nemerow*), com fósforo total entre os parâmetros mais críticos. Esses estudos reforçam a coerência dos resultados observados no SJDO 02500, no qual a manutenção do ICE-PE em faixas intermediárias, mesmo diante das transformações no uso do solo, evidencia a contribuição de fatores estruturais da bacia para o desempenho do índice ao longo do tempo.

7 PRODUTOS TÉCNICO-TECNOLÓGICOS APLICADOS À GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Este capítulo apresenta os Produtos Técnico-Tecnológicos (PTTs) desenvolvidos como desdobramento aplicado desta dissertação, em atendimento às diretrizes do Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua). Os produtos constituem um conjunto integrado voltado à disseminação e à aplicação prática do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE): um manual técnico, uma planilha eletrônica de cálculo e um vídeo tutorial.

7.1. Caracterização do problema

A avaliação da conformidade da qualidade da água às metas de enquadramento é um desafio recorrente na gestão de recursos hídricos. Embora o enquadramento seja um dos instrumentos centrais da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997), os índices convencionais adotados pelos órgãos ambientais, como o IQA, o IET e o IVA, não avaliam o grau de conformidade da água às classes estabelecidas. Na prática, gestores e comitês de bacia dispõem de grande volume de dados de monitoramento, mas carecem de uma ferramenta sintética que traduza esses dados em uma medida objetiva de atendimento ao enquadramento.

Esse problema manifesta-se de forma concreta na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 18 (UGRHI 18, bacia do rio São José dos Dourados), onde, conforme demonstrado nesta dissertação, o ICE ainda não havia sido aplicado. A ausência de uma orientação acessível para o cálculo do índice constitui uma barreira à sua adoção por técnicos e gestores de recursos hídricos.

7.2. Objetivo dos produtos

Objetivo geral: disponibilizar aos membros do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) um conjunto de ferramentas que viabilize a aplicação do Índice de Conformidade ao Enquadramento no monitoramento da qualidade das águas superficiais.

Objetivos específicos: elaborar um manual técnico com diretrizes e procedimentos para a aplicação do ICE, integrando a análise de variáveis relacionadas aos processos erosivos; disponibilizar uma planilha eletrônica, em formato Excel, estruturada para o cálculo do índice; e produzir um vídeo tutorial, disponibilizado no YouTube, com o passo a passo do cálculo na planilha e na Calculadora CCME WQI.

7.3. Público-alvo

Os produtos destinam-se aos membros do SINGREH, especificamente a técnicos de órgãos gestores de recursos hídricos, conselheiros e membros de comitês de bacia hidrográfica, equipes de agências de água e demais profissionais do setor envolvidos na avaliação e no acompanhamento da qualidade da água. O contexto institucional de aplicação abrange órgãos estaduais de recursos hídricos, comitês de bacia e entidades do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

7.4. Fundamentação técnica

A fundamentação técnica dos produtos apoia-se na metodologia do *Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index* (CCME, 2001), atualizada em 2017 e adaptada por Amaro (2009) sob a denominação de Índice de Conformidade ao Enquadramento. O índice combina três fatores complementares, abrangência (F1), frequência (F2) e amplitude (F3), em uma medida única de conformidade. As normativas aplicáveis são a Lei nº 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e a Resolução CONAMA nº 357/2005, que estabelece as classes de enquadramento e os limites dos parâmetros de qualidade da água, adotada como diretriz de referência no estudo de caso.

7.5. Desenvolvimento dos produtos

O desenvolvimento seguiu as etapas descritas no capítulo de Materiais e Métodos desta dissertação. A partir da seleção dos parâmetros de qualidade da água e da definição dos dois grupos de análise (Qualidade da Água e Processos Erosivos),

o cálculo do ICE foi implementado em duas ferramentas: a Calculadora CCME WQI 2.0, *software* gratuito do CCME, e uma planilha Excel adaptada, em português, desenvolvida especificamente para este trabalho. Os dados utilizados foram os de monitoramento da CETESB para os pontos SJDO 02150 e SJDO 02500, complementados pela análise de solo e sedimentos da sub-bacia do Ribeirão da Ponte Pensa. Com base nesses procedimentos, o manual técnico foi estruturado em sete seções e quatro apêndices, e o vídeo tutorial foi produzido para demonstrar, passo a passo, o preenchimento da planilha e o uso da calculadora.

7.6. Descrição dos produtos

O conjunto é composto por três produtos complementares. O primeiro é o Manual do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), um guia prático que apresenta o contexto do enquadramento, explica o funcionamento do índice, orienta a seleção de parâmetros, detalha o passo a passo do cálculo por duas ferramentas, ensina a interpretar os resultados e traz um estudo de caso completo na UGRHI 18. O segundo é uma planilha eletrônica em Excel, em português, que executa o cálculo do ICE com as etapas visíveis (F1, F2, F3 e a combinação final), organizada em sete abas. O terceiro é um vídeo tutorial, disponibilizado no YouTube, que demonstra o preenchimento da planilha e o uso da Calculadora CCME WQI. Os três produtos foram concebidos em linguagem acessível, de modo a permitir a aplicação do índice sem exigir formação especializada em estatística ou programação.

7.7. Validação

A validação dos produtos deu-se por aplicação piloto documentada, conforme previsto nas diretrizes de Produtos Técnico-Tecnológicos do ProfÁgua. O ICE foi aplicado a dois pontos reais de monitoramento da bacia do rio São José dos Dourados (SJDO 02150 e SJDO 02500), utilizando séries históricas de 11 a 12 anos da CETESB, em escalas anual e trienal, tanto pela planilha Excel quanto pela Calculadora CCME WQI 2.0. As duas ferramentas produziram os mesmos resultados, confirmando a consistência do cálculo. Os resultados, apresentados no capítulo de Resultados e Discussões, demonstraram a aplicabilidade do índice e sua capacidade

de evidenciar desconformidades não captadas pelos índices convencionais. Essa aplicação em contexto real caracteriza a validação técnica dos produtos, com potencial de aplicação demonstrado.

7.8. Aplicabilidade

Os produtos podem ser utilizados por qualquer órgão gestor, comitê de bacia ou agência de água que disponha de dados de monitoramento da qualidade da água, em qualquer bacia hidrográfica do país cujo enquadramento esteja definido. Como condições de uso, requerem-se, no mínimo, quatro parâmetros monitorados e quatro campanhas amostrais por período, além de diretrizes legais de referência para os parâmetros selecionados. Entre as limitações, destaca-se que o índice avalia o grau de conformidade, mas não identifica as causas ou fontes das desconformidades, e que a comparabilidade dos resultados ao longo do tempo exige a manutenção do mesmo conjunto de parâmetros e diretrizes.

7.9. Impacto

No plano técnico, os produtos ampliam a capacidade de avaliação integrada da qualidade da água, ao traduzir grande volume de dados de monitoramento em uma medida sintética de conformidade ao enquadramento e ao incorporar, de forma opcional, variáveis associadas aos processos erosivos. No plano institucional, oferecem apoio à tomada de decisão e ao planejamento de órgãos gestores e comitês de bacia, subsidiando a definição de prioridades de intervenção e o acompanhamento das metas de enquadramento ao longo do tempo. No plano social, contribuem para uma comunicação mais clara e objetiva da situação da qualidade da água à sociedade e aos usuários da bacia.

7.10. Estratégia de implementação

A adoção dos produtos pode ocorrer por meio da disponibilização pública do manual, da planilha e do vídeo tutorial, permitindo o uso direto por instituições e técnicos do setor. A transferência de conhecimento é favorecida pela linguagem

acessível dos materiais. A planilha e o vídeo foram depositados em repositório de acesso aberto, e o manual, uma vez emitidos o ISBN e o DOI, integrará o mesmo conjunto de materiais disponíveis para replicação em outras bacias hidrográficas.

7.11. Produtos finais

Os produtos estão disponibilizados de forma acessível e independente da dissertação. A planilha eletrônica de cálculo do ICE está depositada em repositório de acesso aberto sob o DOI 10.5281/zenodo.20709590 (disponível em https://doi.org/10.5281/zenodo.20709590). O vídeo tutorial está disponível no YouTube (https://youtu.be/1cE05Eg5szc). O Manual do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) integra a dissertação como produto principal e será depositado no repositório institucional, com ISBN nº 978-65-02-37996-7. Autoclassificação interna do PTT: T3.

8 CONCLUSÕES

A presente pesquisa avaliou a conformidade da qualidade da água do rio São José dos Dourados, na UGRHI 18, em relação às metas de enquadramento estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2, por meio da aplicação do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE).

A seleção dos parâmetros, conduzida em três etapas progressivas, resultou em dez parâmetros no Grupo Qualidade da Água e quatorze no Grupo Processos Erosivos, todos com referência legal na Resolução CONAMA nº 357/2005 e coerentes com os usos preponderantes da bacia.

A aplicação do ICE aos pontos SJDO 02150 e SJDO 02500, em recortes anuais e trienais, indicou classificação predominantemente Razoável no SJDO 02150 e Boa no SJDO 02500 no Grupo Qualidade da Água, e Razoável em ambos os pontos no Grupo Processos Erosivos, com destaque para o fósforo total, o oxigênio dissolvido, a *Escherichia coli* e o ferro dissolvido como parâmetros de maior frequência de não conformidade.

A comparação com os índices convencionais da CETESB evidenciou que o ICE registrou deteriorações da qualidade da água frente às metas de enquadramento que não foram captadas pelo IQA, especialmente no ponto SJDO 02150. Ressalta-se que o propósito específico do ICE é aferir a conformidade ao enquadramento. Adicionalmente, o Grupo Processos Erosivos representou uma dimensão não contemplada pelos índices convencionais. Nesse grupo, a pressão sobre a qualidade da água mostrou-se de natureza estrutural, associada às características pedológicas da bacia e às transformações no uso do solo.

A aplicação inédita do ICE na UGRHI 18 demonstrou sua utilidade como ferramenta de apoio à gestão da qualidade da água, oferecendo subsídios objetivos aos comitês de bacia e órgãos gestores.

Como Produtos Técnicos Tecnológicos, a pesquisa entregou aos membros do SINGREH um manual técnico com diretrizes para a aplicação do ICE, uma planilha Excel e um vídeo tutorial no YouTube com o passo a passo para o cálculo do índice em planilha Excel e na Calculadora CCME WQI.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G. S. de; OLIVEIRA, I. B. de. Application of the index WQI-CCME with data aggregation per monitoring campaign and per section of the river: case study — Joanes River, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 190, art. 195, p. 1-19, abr. 2018. DOI: 10.1007/s10661-018-6542-5. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-018-6542-5. Acesso em: 4 jun. 2026.

AMARO, C. A. **Proposta de um índice para avaliação de conformidade da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento**. 2009. 224 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília, DF: ANA, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/relatorio-conjuntura-dos-recursos-hidricos-no-brasil-atualiza-informacoes-sobre-aguas-do-pais. Acesso em: 16 jul. 2025.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Qualidade da água**. Brasília, DF: ANA, [s. d.]. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento-e-eventos-criticos/qualidade-da-agua. Acesso em: 1 ago. 2025.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Qualidade da água no Brasil**. Brasília, DF: ANA, [s. d.]. Disponível em: https://qualidadedaagua.ana.gov.br/. Acesso em: 16 jul. 2025.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Regiões hidrográficas do Brasil**. Brasília, DF: ANA, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/regioes-hidrograficas. Acesso em: 10 mar. 2026.

ANDRADE, A. G. de; FREITAS, P. L. de; LANDERS, J. Aspectos gerais sobre manejo e conservação do solo e da água e as mudanças ambientais. In: PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. de (org.). **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. cap. 1, p. 25-40.

BICUDO, C. E. de M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (org.). **Águas do Brasil**: análises estratégicas. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. 224 p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 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. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em

decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 dez. 2009.

BRASIL. Lei 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. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 470, 9 jan. 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 85, p. 127, 7 mai. 2021.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (CCME). **Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life**: CCME Water Quality Index 1.0 – Technical Report. Winnipeg, MB: CCME, 2001.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (CCME). CCME **Water Quality Index User's Manual 2017 Update**. Winnipeg, MB: CCME, 2017. 23 p.

CARVALHO FILHO, J. A. A. de; PAIVA, A. L. R. de; NASCIMENTO, R. F. do; CABRAL, J. J. da S. P. Efeito da urbanização e do revestimento da zona hiporreica na qualidade da água de riachos urbanos: estudo de caso no município do Recife – PE. **Geoconexões**, Natal, número especial, v. 2, n. 19, p. 455-481, 2024. DOI: 10.15628/geoconexes.2024.17276. Disponível em: https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/geoconexoes/article/view/17276. Acesso em: 4 jun. 2026.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Aspectos descritivos e quantitativos das redes de monitoramento**. São Paulo: CETESB, 2023. 68 p. Disponível em: https://www.cetesb.sp.gov.br/cetesb/qualidade_ambiental/agua/aguas_interiores/pub publicac_e_relatorios. Acesso em: 16 jul. 2025.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento**. São Paulo: CETESB, 2023. 30 p. Disponível em: https://www.cetesb.sp.gov.br/cetesb/qualidade_ambiental/agua/aguas_interiores/pub publicac_e_relatorios. Acesso em: 16 jul. 2025.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Índices de qualidade das águas**. São Paulo: CETESB, 2023. 32 p. Disponível em: https://www.cetesb.sp.gov.br/cetesb/qualidade_ambiental/agua/aguas_interiores/pub publicac_e_relatorios. Acesso em: 16 jul. 2025.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Mapa das redes de monitoramento por UGRHI**. São Paulo: CETESB, 2024. 22 p. Disponível em:

https://www.cetesb.sp.gov.br/cetesb/qualidade_ambiental/agua/aguas_interiores/pub publicac_e_relatorios. Acesso em: 10 mar. 2026.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Nota Técnica nº 0075456462**: relação entre carbono orgânico total e demanda bioquímica de oxigênio na avaliação da qualidade das águas dos corpos hídricos do Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, Diretoria de Qualidade Ambiental, 2025.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo**: 2022. São Paulo: CETESB, 2023. 316 p. (Série Relatórios). Disponível em: https://www.cetesb.sp.gov.br/cetesb/qualidade_ambiental/agua/aguas_interiores/pub publicac_e_relatorios. Acesso em: 16 jul. 2025.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo**: 2023. São Paulo: CETESB, 2024. 128 p. (Série Relatórios). Disponível em: https://www.cetesb.sp.gov.br/cetesb/qualidade_ambiental/agua/aguas_interiores/pub publicac_e_relatorios. Acesso em: 10 mar. 2026.

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Portaria CNPq nº 2.664, de 6 de março de 2026. **Institui a Política de Integridade na Atividade Científica do CNPq**. Brasília, DF: CNPq, 2026. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-cnpq-n-2.664-de-6-de-marco-de-2026-691779232. Acesso em: 14 set. 2026.

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução CNRH nº 91, de 5 de novembro de 2008. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 6 fev. 2009. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/cnrh/deliberacoes-cnrh-1/resolucoes/resolucao_91.pdf. Acesso em: 11 set. 2026.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA. **Programa para efetivação do enquadramento:** Distrito Federal. In: REUNIÃO DAS CÂMARAS TÉCNICAS E GRUPOS DE TRABALHO DO CBH PARANAÍBA, 2026, Brasília, DF. Apresentação 24 slides. Brasília, DF: CBH Paranaíba, 2026.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS. **Plano de Bacia Hidrográfica da UGRHI 18** – Rio São José dos Dourados (revisão e atualização): Produto 2 – Diagnóstico (Volume I). São Paulo: Regea Geologia, Engenharia e Estudos Ambientais, 2022. 175 p. Contrato FEHIDRO nº 015/2021.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS. **Plano de Bacia Hidrográfica da UGRHI 18** – Rio São José dos Dourados (revisão e atualização): Produto 2 – Diagnóstico (Volume II). São Paulo: Regea Geologia, Engenharia e Estudos Ambientais, 2022. 195 p. Contrato FEHIDRO nº 015/2021.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS. **Plano de Bacia Hidrográfica da UGRHI 18** – Rio São José dos Dourados (revisão e

atualização): Produto 2 – Diagnóstico (Volume III). São Paulo: Regea Geologia, Engenharia e Estudos Ambientais, 2022. 201 p. Contrato FEHIDRO nº 015/2021.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS. **Plano de Bacia Hidrográfica da UGRHI 18** – Rio São José dos Dourados (revisão e atualização): Produto 2 – Diagnóstico (Volume IV). São Paulo: Regea Geologia, Engenharia e Estudos Ambientais, 2022. 53 p. Contrato FEHIDRO nº 015/2021.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS. **Relatório de situação dos recursos hídricos – UGRHI 18**: ano base 2023. [Local]: CBH-SJD, 2024. 71 p.

DATAGEO – Sistema Ambiental Paulista. São Paulo: **Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo**, 2022. Disponível em: https://datageo.ambiente.sp.gov.br/app/?ctx=DATAGEO. Acesso em: 19 fev. 2026.

DINIZ, L. T. *et al*. O enquadramento de cursos d'água na legislação brasileira. In: **SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE**, 1, 2006, Curitiba. Anais [...]. Curitiba: ABRH, 2006. p. 1-19. Disponível em: https://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7500/enquadram-leg-brasil-diniz-2006.pdf. Acesso em: 1 jun. 2026.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Erodibilidade dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2024. Disponível em: https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dashboard/6498. Acesso em: 16 fev. 2026.

GUIDOLINI, J. F. **Atributos físicos e químicos de um argissolo sob diferentes sistemas de uso da terra (SUTs)**. 2015. 59 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015.

HINATA, S. da S.; KALISKI, A. D.; SCOTTÁ, F. C.; SCHUSTER, R. C.; CAVEDON, T. X. Situação de corpos hídricos em bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul sob a perspectiva do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) nos períodos 2017-2019 e 2020-2022. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, n. 44, p. 133-156, 2024. Disponível em: https://revistas.planejamento.rs.gov.br/index.php/boletim-geografico-rs/article/view/4593. Acesso em: 4 jun. 2026.

HINATA, S. da S.; KALISKI, A. D.; WOLFF, C. B.; SCOTTÁ, F. C.; SCHUSTER, R. C.; SOUZA, W. L. Z. M. de; CARDONE, L. B. Situação de corpos hídricos em bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul sob a perspectiva do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE). **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 20, e23, 2023. DOI: 10.21168/rega.v20e23. Disponível em: https://revistas.abrhidro.org.br/article.php?Article=5457. Acesso em: 4 jun. 2026.

ILHA SOLTEIRA. Prefeitura Municipal. **Plano de Saneamento Básico do Município de Ilha Solteira**, SP: Produto "C" – Diagnóstico Técnico-Participativo. Ilha Solteira, SP: Prefeitura Municipal de Ilha Solteira, ago. 2020. 376 p.

KAUR, M.; DAS, S. K.; SARMA, K. Water quality assessment of Tal Chhapar Wildlife Sanctuary using water quality index (CCME WQI). **Acta Ecologica Sinica**, v. 43, n. 1, p. 82-88, 2021. DOI: 10.1016/j.chnaes.2021.09.017.

KERTZMAN, F. F.; OLIVEIRA, A. M.; SALOMÃO, F. X. T.; GOUVEIA, M. I. F. Mapa de erosão do Estado de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. especial, p. 31-36, 1995.

KUJIEK, D. C.; SAHILE, Z. A. Water quality assessment of Elgo river in Ethiopia using CCME, WQI and IWQI for domestic and agricultural usage. **Heliyon**, v. 10, n. 1, e23234, p. 1-11, 2023. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e23234.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MAPBIOMAS. **Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. Projeto MapBiomas, 2020. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/. Acesso em: 10 mar. 2026.

MENEGAT, D.; BORTOLIN, T. A.; SCHNEIDER, V. E.; PANIZZON, T. Análise do cumprimento das metas e eficácia do enquadramento de corpos d'água das bacias hidrográficas de Caxias do Sul/RS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 17, n. 3, p. 1792-1811, 2024. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/259596. Acesso em: 4 jun. 2026.

MOREIRA, Y. W. N.; SILVA, F. J. A. da; ARAÚJO, A. L. de; LIMA, G. R. R. Qualidade da água em bacia hidrográfica do nordeste brasileiro: aplicação do IQA CCME e do índice de poluição de Nemerow. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v. 17, n. 3, p. 1-25, 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.3-001. Disponível em: https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/3828. Acesso em: 4 jun. 2026.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Transformando nosso mundo**: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 16 jul. 2025.

PHILLIPS, J. M.; RUSSELL, M. A.; WALLING, D. E. Time-integrated sampling of fluvial suspended sediment: a simple methodology for small catchments. **Hydrological Processes**, v. 14, p. 2589-2602, 2000.

PIRES, A. S. C. **Proposição de uso do Índice Canadense de Qualidade de Água (CCME WQI) na bacia do Rio das Velhas/MG como ferramenta para atuação proativa em eventos de rompimento de barragens de mineração**. 2022. 141 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROFÁGUA) – Instituto de Ciências Puras e Aplicadas, Universidade Federal de Itajubá, Itabira, 2022. Disponível em: https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/3462. Acesso em: 4 jun. 2026.

REIS, G. B.; ABREU, V. de O.; FRAGA, M. de S.; TOZI, T.; SILVA, D. D. da. Proposta de enquadramento de corpos hídricos em classes de uso na bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio (MG). **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 2, p. 189-196, mar./abr. 2019. DOI: 10.31413/nativa.v7i2.6333. Disponível em: http://www.ufmt.br/nativa. Acesso em: 5 jun. 2026.

RIBEIRO, L. G. **Qualidade e ecotoxicidade da água da bacia hidrográfica do rio São José dos Dourados-SP**. 2018. 112 p. Dissertação (Mestrado em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2018.

ROCCHINI, R.; SWAIN, L. G. **The British Columbia Water Quality Index**. Victoria, BC: Water Quality Branch, Environmental Protection Department, British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks, 1995.

ROCHA, C. H. B.; DUARTE, R. L.; MATOSO, R. O. de C.; SOUZA, L. do V.; SILVEIRA, F. J.; MACHADO, M. M. de M. Vulnerabilidades socioambientais associadas à implantação de rodovias às margens do reservatório de abastecimento público da Represa de São Pedro, Juiz de Fora, Minas Gerais. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS**, São Paulo, v. 11, n. 1, e19805, p. 1-27, 2022. DOI: 10.5585/geas.v11i1.19805. Disponível em: https://periodicos.uninove.br/geas/article/view/19805. Acesso em: 5 jun. 2026.

ROSSI, M.; NALON, M. A.; KANASHIRO, M. M. **Atlas de suscetibilidades dos solos do Estado de São Paulo**: erodibilidade, erosividade, declividade, suscetibilidade aos processos geomórficos dominantes, grupos hidrológicos dos solos e suscetibilidade ambiental. São Paulo: Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente; Instituto de Pesquisas Ambientais, 2022.

SÃO PAULO (Estado). Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Decisão de Diretoria nº 125/2021/E, de 9 de dezembro de 2021. Atualiza os Valores Orientadores para Solo e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 10 dez. 2021.

SÃO PAULO (Estado). Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). Decisão de Diretoria nº 195/2005/E, de 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 24 nov. 2005.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 10.755, de 22 de novembro de 1977. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água e diretrizes ambientais no Estado de São Paulo. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 23 nov. 1977.

SÃO PAULO (Estado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp). Resolução Unesp nº 13, de 22 de abril de 2025. Dispõe sobre a utilização da Inteligência Artificial na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp) e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 16 maio 2025. Caderno Executivo, Seção Atos Normativos. Disponível em: https://www.doe.sp.gov.br/autenticidade. Acesso em: 14 set. 2026.

SILVA, M. T. L. **Aplicação do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) de cursos d'água**. 2017. 114 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-ATQNWV. Acesso em: 4 jun. 2026.

STRADA, D. C. **Aplicação do IQA-CCME em série histórica de qualidade da água: estudo de caso das sub-bacias do Arroio do Salso e do Arroio Lami, RS**. 2021. 120 p. Dissertação (Mestrado em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – ProfÁgua) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. **Gestão da água no Brasil**. Brasília, DF: UNESCO, 2001.

USGS – United States Geological Survey. **Where is Earth's water?** Reston, VA: USGS, 2018. Disponível em: https://www.usgs.gov/water-science-school/science/where-earths-water. Acesso em: 15 jul. 2025.

WRIGHT, C. R.; SAFFRAN, K. A.; ANDERSON, A. M.; NEILSON, R. D.; MACALPINE, N. D.; COOKE, S. E. **A Water Quality Index for agricultural streams in Alberta**: The Alberta Agricultural Water Quality Index (AAWQI). Edmonton, AB: Alberta Environmentally Sustainable Agriculture Program; Alberta Agriculture, Food and Rural Development, 1999.

ZAGATTO, P. A.; LORENZETTI, M. L.; LAMPARELLI, M. C.; SALVADOR, M.E. P.; MENEGON JR., N.; BERTOLETTI, E. **Aperfeiçoamento de um índice de qualidade de águas**. Acta Limnologica Brasiliensia, 11(2): 111-126. 1999.

APÊNDICE A – Dados brutos e conformidade: SJDO 02150 – Grupo Qualidade da Água

Ano	Data	SDT	turbidez	DBO	fósforo total	N amoniacal	nitrato	nitrito	OD	pH	*E. coli*
	Limite CONAMA 357/05	**500**	**100**	**5**	**0,1**	**3,7**	**10**	**1**	**5**	**6 a 9**	**600**
	Unidade	**mg/L**	**NTU**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**-**	**NMP/100mL**
2013	21/01/2013	108	50,0	5,00	**0,209**	0,310	0,470	0,0800	5,30	7,00	**680**
	14/03/2013	70,0	90,0	4,00	**0,204**	0,180	0,620	0,0400	**4,40**	6,01	**25000**
	21/05/2013	122	35,0	4,00	**0,220**	0,530	0,840	0,100	**4,62**	6,55	**2000**
	16/07/2013	136	36,0	4,00	**0,200**	0,580	0,940	0,100	5,31	6,33	500
	03/09/2013	138	60,0	**8,00**	**0,471**	0,830	1,14	0,170	5,27	6,34	**700**
	26/11/2013	132	27,0	4,00	**0,259**	0,870	0,760	0,180	**3,85**	6,25	236
2014	14/01/2014	122	34,0	4,00	**0,190**	0,500	0,590	0,140	**3,79**	6,72	480
	11/03/2014	166	45,0	4,00	**0,150**	0,630	0,340	0,0700	**4,02**	6,89	**1060**
	13/05/2014	138	29,0	**21,0**	**0,190**	0,530	1,16	0,120	5,87	7,22	500
	22/07/2014	128	18,0	5,00	**0,250**	0,760	1,25	0,200	6,35	7,19	192
	09/09/2014	204	18,0	5,00	**0,302**	1,55	0,740	0,180	**4,78**	7,22	276
	04/11/2014	214	80,0	3,00	**0,299**	0,0500	0,430	0,0600	**3,06**	6,85	600
2015	13/01/2015	164	54,0	5,00	**0,236**	0,580	0,670	0,140	**3,86**	6,87	228
	03/03/2015	112	50,0	2,00	**0,159**	0,290	0,370	0,0600	**4,10**	7,09	**6000**
	12/05/2015	126	34,0	4,00	**0,104**	0,340	1,07	0,100	6,73	7,04	**1040**
	21/07/2015	93,0	38,0	2,00	**0,142**	0,530	0,830	0,100	6,24	7,02	232
	01/09/2015	149	30,0	2,00	**0,191**	0,660	1,15	0,150	5,98	6,96	144
	10/11/2015	162	45,0	2,00	**0,208**	0,350	0,760	0,190	**4,86**	7,24	224

Ano	Data	SDT	turbidez	DBO	fósforo total	N amoniacal	nitrato	nitrito	OD	pH	*E. coli*
2016	12/01/2016	138	180	2,00	0,112	0,0700	0,200	0,100	4,16	6,83	8300
	01/03/2016	86,0	55,0	2,00	0,0990	0,210	0,460	0,100	4,91	7,16	500
	10/05/2016	137	36,0	2,00	0,142	0,380	0,930	0,0800	6,01	7,26	560
	12/07/2016	69,0	31,0	2,00	0,162	0,500	1,00	0,100	6,72	7,42	252
	13/09/2016	122	37,0	3,00	0,168	0,330	1,21	0,130	5,74	7,20	6400
	08/11/2016	134	37,0	2,00	0,222	0,580	0,940	0,180	4,46	7,23	4300
2017	10/01/2017	130	69,4	4,00	0,200	0,540	0,590	0,140	4,21	7,14	440
	07/03/2017	128	150	2,00	0,0670	0,130	0,240	0,0300	6,16	7,11	4400
	09/05/2017	140	36,0	2,00	0,113	0,230	0,690	0,0600	6,47	7,34	324
	04/07/2017	85,0	33,0	2,00	0,127	0,370	0,970	0,0700	6,79	7,47	38000
	12/09/2017	134	31,0	2,00	0,221	0,560	1,53	0,200	4,92	7,30	120
	28/11/2017	90,0	250	2,00	0,145	0,0600	0,200	0,100	3,91	6,94	8600
2018	06/03/2018	96,0	40,0	2,00	0,115	0,160	0,560	0,100	4,83	7,29	400
	22/05/2018	104	31,0	2,00	0,110	0,410	0,780	0,100	6,77	7,28	500
	24/07/2018	70,0	23,0	6,00	0,140	0,670	1,24	0,110	6,22	7,29	440
	11/09/2018	149	80,0	2,00	0,220	0,860	1,40	0,190	4,74	7,24	152
	27/11/2018	132	50,0	2,00	0,200	0,270	0,280	0,0500	4,78	7,22	10000
2019	15/01/2019	132	34,0	2,00	0,160	0,300	0,820	0,150	4,30	7,24	460
	12/03/2019	109	4,50	2,00	0,240	0,310	0,390	0,0700	4,34	7,16	1040
	14/05/2019	141	40,0	2,00	0,150	0,280	0,840	0,0800	5,21	7,21	188
	16/07/2019	115	27,0	2,00	0,180	0,530	1,49	0,130	5,30	7,29	460
	03/09/2019	116	26,0	3,00	0,280	0,720	1,17	0,230	4,39	7,22	780

Ano	Data	SDT	turbidez	DBO	fósforo total	N amoniacal	nitrato	nitrito	OD	pH	*E. coli*
	19/11/2019	115	23,0	2,00	**0,230**	0,470	1,20	0,280	**4,72**	7,17	400
2020	14/01/2020	147	55,0	2,00	**0,120**	0,390	0,470	0,110	5,26	7,11	**6800**
2021	02/02/2021	183	20,0	2,00	**0,300**	0,600	1,44	0,260	**4,22**	7,37	**620**
	20/07/2021	151	13,0	3,00	**0,400**	1,70	1,69	0,170	6,78	7,30	240
	09/11/2021	146	26,0	2,00	**0,300**	0,470	1,33	0,270	**4,19**	7,10	140
2022	11/01/2022	145	33,0	**5,04**	**0,400**	0,650	0,880	0,140	**4,51**	7,15	520
	05/04/2022	161	37,0	3,79	**0,300**	0,410	1,28	0,190	**4,18**	7,04	**4700**
	12/07/2022	139	25,0	3,14	**0,300**	1,05	1,92	0,190	5,46	6,93	280
	18/10/2022	140	21,0	3,69	**0,300**	0,940	1,94	0,260	**3,99**	7,33	128
2023	10/01/2023	152	**140**	**11,3**	**0,200**	0,500	0,280	0,0360	**4,11**	6,94	**3100**
	11/04/2023	108	37,0	3,00	**0,200**	1,00	0,700	0,0600	**4,98**	7,20	296
	11/07/2023	128	28,0	3,00	**0,200**	0,580	1,02	0,0800	5,06	7,21	27,0
	17/10/2023	129	36,0	3,00	**0,200**	1,00	1,21	0,230	**3,67**	7,18	**1440**

Fonte: Dados brutos das variáveis de Água disponibilizados pela CETESB. Células em vermelho indicam valores em não conformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2. (–) indica dado não disponível. SDT: sólidos dissolvidos totais. DBO: demanda bioquímica de oxigênio. N amoniacal: nitrogênio amoniacal. OD: oxigênio dissolvido. pH: potencial hidrogeniônico. *E. coli: Escherichia coli.*

APÊNDICE B – Dados brutos e conformidade: SJDO 02150 – Grupo Processos Erosivos

Ano	Data	SDT	turbidez	P total	Al diss.	Ba total	Cd total	Pb total	Cu diss.	Cr total	Fe diss.	Mn total	Hg total	Ni total	Zn total
	Limite CONAMA 357/05	**500**	**100**	**0,1**	**0,1**	**0,7**	**0,001**	**0,01**	**0,009**	**0,05**	**0,3**	**0,1**	**0,0002**	**0,025**	**0,18**
	Unidade	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**
2013	21/01/2013	108	50,0	**0,209**	0,0560	0,109	0,0010	0,0090	0,0050	0,0050	**1,28**	**0,195**	0,00020	0,0100	0,0430
	14/03/2013	70,0	90,0	**0,204**	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	21/05/2013	122	35,0	**0,220**	0,0670	0,132	0,0010	0,0090	0,0050	0,0050	**0,429**	**0,137**	0,00020	0,0100	0,0370
	16/07/2013	136	36,0	**0,200**	0,0500	0,110	0,0010	0,0090	0,0050	0,0050	**0,394**	**0,130**	0,00020	0,0100	0,0370
	03/09/2013	138	60,0	**0,471**	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	26/11/2013	132	27,0	**0,259**	0,0510	0,120	0,0010	0,0090	0,0050	0,0050	**0,501**	**0,139**	0,00020	0,0100	0,0030
2014	14/01/2014	122	34,0	**0,190**	0,0500	0,123	0,0010	0,0090	0,0050	0,0050	**1,08**	**0,166**	0,00020	0,0100	0,0030
	11/03/2014	166	45,0	**0,150**	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	13/05/2014	138	29,0	**0,190**	0,0500	0,106	0,0010	0,0090	0,0050	0,0050	0,218	0,0840	0,00020	0,0100	0,0030
	22/07/2014	128	18,0	**0,250**	0,0500	0,102	0,0010	0,0080	0,0050	0,0050	0,175	0,0740	0,00020	0,0100	0,0050
	09/09/2014	204	18,0	**0,302**	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	04/11/2014	214	80,0	**0,299**	**0,362**	0,104	0,0010	0,0080	0,0050	0,0050	**1,28**	**0,111**	0,00020	0,0100	0,0120
2015	13/01/2015	164	54,0	**0,236**	0,0690	0,149	0,0010	0,0080	0,0050	0,0050	**0,811**	**0,228**	0,00020	0,0100	0,0340
	03/03/2015	112	50,0	**0,159**	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	12/05/2015	126	34,0	**0,104**	0,0850	0,109	0,0010	0,0080	0,0050	0,0050	**0,784**	**0,129**	**0,00050**	0,0100	0,0130
	21/07/2015	93,0	38,0	**0,142**	**0,113**	0,135	0,0010	0,0080	0,0050	0,0050	**0,629**	**0,147**	0,00020	0,0100	0,0070
	01/09/2015	149	30,0	**0,191**	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	10/11/2015	162	45,0	**0,208**	**0,104**	0,126	0,0010	0,0080	0,0050	0,0050	**0,834**	**0,157**	0,00020	0,0100	0,0190

Ano	Data	SDT	turbidez	P total	Al diss.	Ba total	Cd total	Pb total	Cu diss.	Cr total	Fe diss.	Mn total	Hg total	Ni total	Zn total
2016	12/01/2016	138	180	0,112	0,186	0,107	0,0010	0,0080	0,0050	0,0050	0,592	0,137	0,00020	0,0100	0,0200
	01/03/2016	86,0	55,0	0,0990	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	10/05/2016	137	36,0	0,142	0,0670	0,102	0,0010	0,0080	0,0050	0,0050	0,460	0,118	0,00020	0,0100	0,0150
	12/07/2016	69,0	31,0	0,162	0,0580	0,120	0,0010	0,0080	0,0050	0,0050	0,336	0,107	0,00020	0,0100	0,0050
	13/09/2016	122	37,0	0,168	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	08/11/2016	134	37,0	0,222	0,0500	0,119	0,00050	0,0080	0,0050	0,0028	0,294	0,165	0,00020	0,0050	0,0050
2017	10/01/2017	130	69,4	0,200	0,100	0,160	0,00070	0,0090	0,0090	0,0200	0,880	0,240	0,00020	0,0200	0,0200
	07/03/2017	128	150	0,0670	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	09/05/2017	140	36,0	0,113	0,103	0,108	0,00050	0,0080	0,0050	0,0010	0,554	0,144	0,00020	0,0050	0,0050
	04/07/2017	85,0	33,0	0,127	0,0820	0,107	0,00050	0,0080	0,0050	0,0020	0,447	0,0980	0,00020	0,0050	0,0050
	12/09/2017	134	31,0	0,221	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	28/11/2017	90,0	250	0,145	0,296	0,0750	0,00050	0,0080	0,0050	0,0040	0,763	0,0670	0,00020	0,0050	0,0050
2018	06/03/2018	96,0	40,0	0,115	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	22/05/2018	104	31,0	0,110	0,0500	0,110	0,0010	0,0100	0,0050	0,0100	0,340	0,130	0,00020	0,0100	0,0100
	24/07/2018	70,0	23,0	0,140	0,0500	0,120	0,0010	0,0100	0,0050	0,0100	0,350	0,0840	0,00020	0,0100	0,0100
	11/09/2018	149	80,0	0,220	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	27/11/2018	132	50,0	0,200	0,100	0,100	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	1,00	0,200	0,00020	0,0200	0,0100
2019	15/01/2019	132	34,0	0,160	0,100	0,170	0,00070	0,0070	0,0040	0,0100	0,420	0,180	0,00020	0,0030	0,0100
	12/03/2019	109	4,50	0,240	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	14/05/2019	141	40,0	0,150	0,100	0,150	0,00080	0,0070	0,0040	0,0100	0,510	0,150	0,00010	0,0030	0,0100
	16/07/2019	115	27,0	0,180	0,100	0,130	0,00070	0,0070	0,0040	0,0100	0,360	0,130	0,00010	0,0030	0,0100
	03/09/2019	116	26,0	0,280	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Ano	Data	SDT	turbidez	P total	Al diss.	Ba total	Cd total	Pb total	Cu diss.	Cr total	Fe diss.	Mn total	Hg total	Ni total	Zn total
	19/11/2019	115	23,0	**0,230**	0,100	0,140	0,00080	0,0100	0,0040	0,0200	0,270	**0,130**	0,00020	0,0200	0,0200
2020	14/01/2020	147	55,0	**0,120**	**0,220**	0,160	0,0010	0,0100	0,0050	0,0100	**3,49**	**0,260**	0,00010	0,0100	0,0100
2021	02/02/2021	183	20,0	**0,300**	0,100	0,100	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**0,700**	0,100	0,00010	0,0200	0,100
	20/07/2021	151	13,0	**0,400**	0,100	0,100	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**0,500**	0,100	0,00010	0,0200	0,100
	09/11/2021	146	26,0	**0,300**	0,100	0,200	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**1,00**	**0,200**	0,00010	0,0200	0,100
2022	11/01/2022	145	33,0	**0,400**	**0,200**	0,200	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**2,00**	**0,200**	0,00010	0,0200	0,100
	05/04/2022	161	37,0	**0,300**	0,100	0,200	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**1,00**	**0,300**	0,00010	0,0200	0,100
	12/07/2022	139	25,0	**0,300**	0,100	0,100	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**0,600**	0,100	0,00010	0,0200	0,100
	18/10/2022	140	21,0	**0,300**	**0,400**	0,100	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**0,600**	**0,200**	0,00010	0,0200	0,100
2023	10/01/2023	152	**140**	**0,200**	0,100	0,100	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**1,00**	0,100	0,00010	0,0200	0,100
	11/04/2023	108	37,0	**0,200**	0,100	0,200	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**1,00**	**0,300**	0,00020	0,0200	0,100
	11/07/2023	128	28,0	**0,200**	0,100	0,100	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**0,700**	**0,200**	0,000020	0,0200	0,100
	17/10/2023	129	36,0	**0,200**	0,100	0,200	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**1,00**	**0,300**	0,00010	0,0200	0,100

Fonte: Dados brutos das variáveis de Água disponibilizados pela CETESB. Células em vermelho indicam valores em não conformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2. (–) indica dado não disponível. SDT: sólidos dissolvidos totais. P total: fósforo total. Al diss.: alumínio dissolvido. Ba total: bário total. Cd total: cádmio total. Pb total: chumbo total. Cu diss.: cobre dissolvido. Cr total: cromo total. Fe diss.: ferro dissolvido. Mn total: manganês total. Hg total: mercúrio total. Ni total: níquel total. Zn total: zinco total.

APÊNDICE C – Dados brutos e conformidade: SJDO 02500 – Grupo Qualidade da Água

Ano	Data	SDT	turbidez	DBO	fósforo total	N amoniacal	nitrato	nitrito	OD	pH	E. coli
	Limite CONAMA 357/05	**500**	**100**	**5**	**0,1**	**3,7**	**10**	**1**	**5**	**6 a 9**	**600**
	Unidade	**mg/L**	**NTU**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**-**	**NMP/100mL**
2012	28/02/2012	97,0	32,0	2,00	0,0070	0,100	0,350	0,0100	6,70	7,50	148
	10/04/2012	111	52,0	2,00	0,0070	0,100	0,430	0,0100	6,70	7,60	**1180**
	12/06/2012	85,0	35,0	2,00	0,0380	0,100	0,350	0,0100	7,70	7,60	272
	21/08/2012	96,0	11,0	2,00	0,0670	0,100	0,490	0,0200	7,60	7,70	104
	16/10/2012	104	13,0	2,00	0,0810	0,100	0,670	0,0200	6,90	7,80	252
	11/12/2012	122	22,0	2,00	**0,105**	0,100	0,920	0,0200	6,40	7,80	252
2013	26/02/2013	118	60,0	2,00	0,0690	0,100	0,190	0,0070	6,60	7,50	428
	09/04/2013	92,0	25,0	2,00	0,0680	0,100	0,200	0,0070	6,90	7,50	152
	11/06/2013	99,0	18,0	2,00	0,0520	0,100	0,390	0,100	7,70	7,60	152
	20/08/2013	97,0	9,40	2,00	0,0740	0,100	0,930	0,100	8,40	7,80	71,0
	15/10/2013	92,0	13,0	2,00	0,0900	0,110	–	–	7,00	7,30	404
	10/12/2013	99,0	40,0	2,00	**0,156**	0,100	0,690	0,0200	6,70	7,60	**1260**
2014	04/02/2014	81,0	18,0	2,00	0,0980	0,100	0,740	0,0200	7,60	7,70	312
	15/04/2014	46,0	**145**	2,00	0,0910	0,100	1,00	0,200	6,90	7,50	**1780**
	10/06/2014	111	10,0	2,00	0,0970	0,100	1,00	0,200	8,00	7,70	172
	19/08/2014	111	8,60	2,00	**0,200**	0,100	1,00	0,200	8,00	7,80	96,0
	07/10/2014	101	20,0	2,00	**0,121**	0,120	1,00	0,200	6,00	7,50	148
	04/12/2014	132	50,0	2,00	**0,107**	0,100	1,00	0,200	6,10	7,40	252

Ano	Data	SDT	turbidez	DBO	fósforo total	N amoniacal	nitrato	nitrito	OD	pH	E. coli
2015	03/02/2015	84,0	37,0	2,00	0,0820	0,100	0,300	0,100	6,80	7,50	500
	14/04/2015	117	27,0	2,00	0,0540	0,100	1,00	0,200	7,00	7,60	188
	09/06/2015	118	18,0	2,00	0,0640	0,100	1,00	0,200	7,50	7,70	308
	18/08/2015	122	11,0	2,00	**0,102**	0,100	1,00	0,200	8,40	7,60	312
	06/10/2015	127	14,0	2,00	0,0830	0,100	1,00	0,200	7,20	7,70	224
	01/12/2015	121	**143**	3,00	**0,104**	0,100	1,00	0,200	5,80	7,00	**3300**
2016	23/02/2016	136	**177**	2,00	0,0720	0,100	1,00	0,200	6,40	7,10	**1300**
	26/04/2016	97,0	40,0	2,00	0,0670	0,100	1,00	0,200	6,90	7,40	**1360**
	16/06/2016	67,0	23,0	2,00	0,0480	0,100	1,00	0,200	8,50	7,30	164
	16/08/2016	82,0	15,0	2,00	0,0720	0,100	1,00	0,200	7,70	7,40	300
	18/10/2016	101	45,0	2,00	0,0770	0,100	1,00	0,200	6,50	7,40	**900**
	06/12/2016	111	61,0	2,00	0,0790	0,100	1,00	0,200	6,90	7,40	580
2017	14/02/2017	99,0	55,0	2,00	0,0560	0,100	1,00	0,200	6,10	7,40	**2600**
	19/04/2017	105	34,0	2,00	0,0410	0,100	0,300	0,0100	7,40	7,20	336
	27/06/2017	89,0	19,0	2,00	0,0650	0,100	0,370	0,0200	8,50	7,40	440
	01/08/2017	94,0	16,0	2,00	0,0530	0,100	0,830	0,0100	7,80	7,60	420
	26/10/2017	100	20,0	2,00	0,0740	0,100	0,750	0,0100	6,30	7,50	560
	05/12/2017	100	61,0	2,00	0,0560	0,100	0,220	0,0100	6,00	7,10	196
2018	27/02/2018	109	**230**	2,00	**0,160**	0,100	0,160	0,0100	6,70	7,20	**6000**
	10/04/2018	107	25,0	2,00	0,0440	0,500	0,480	0,0100	7,20	7,30	312
	19/06/2018	100	16,0	2,00	0,0520	0,100	0,830	0,0100	8,60	7,70	248
	07/08/2018	100	14,0	2,00	0,0620	0,100	0,910	0,0100	7,90	7,60	288

Ano	Data	SDT	turbidez	DBO	fósforo total	N amoniacal	nitrato	nitrito	OD	pH	E. coli
	23/10/2018	105	25,0	2,00	0,0600	0,100	0,750	0,0200	6,70	7,60	500
	11/12/2018	102	26,0	2,00	0,0600	0,200	0,610	0,0100	6,80	7,50	420
2019	19/02/2019	108	**140**	2,00	**0,170**	0,100	0,370	0,0100	6,90	7,40	**4000**
	02/04/2019	115	18,0	2,00	0,0600	0,100	0,420	0,0200	7,90	8,00	**1540**
	25/06/2019	106	14,0	2,00	0,0500	0,200	0,810	0,0100	8,60	7,60	440
	13/08/2019	100	23,0	2,00	0,0700	0,100	0,680	0,0100	7,90	7,50	344
	24/10/2019	100	29,0	2,00	0,0800	0,100	0,640	0,0100	6,80	7,50	312
	10/12/2019	137	**204**	4,00	**0,180**	0,200	0,540	0,0100	5,70	7,20	**42000**
2020	14/01/2020	110	**131**	3,00	**0,130**	0,0800	0,220	0,0100	5,50	7,10	**660**
	23/06/2020	107	13,0	2,00	0,0500	0,0500	0,990	0,0200	8,50	7,60	500
	25/08/2020	118	12,0	2,00	0,0800	0,0800	1,08	0,0400	8,60	6,60	520
	20/10/2020	109	15,0	2,00	0,0700	0,0800	0,530	0,0200	6,90	7,00	500
2021	12/01/2021	106	26,0	2,00	**0,120**	0,0500	0,980	0,0200	6,00	7,70	300
	13/07/2021	132	8,30	3,00	**0,140**	0,190	1,55	0,0400	8,70	7,40	120
	28/10/2021	131	40,0	2,00	**0,140**	0,0500	1,18	0,0200	7,20	7,30	180
2022	25/01/2022	114	31,0	**5,04**	0,0700	0,200	0,790	0,0100	6,60	7,50	168
	26/04/2022	112	18,0	2,35	0,0900	0,100	0,930	0,0200	7,40	6,40	**740**
	26/07/2022	112	9,70	2,63	**0,160**	0,220	1,33	0,0400	8,20	7,20	**820**
	20/10/2022	123	12,0	3,30	**0,120**	0,500	0,890	0,0200	7,40	7,40	500
2023	12/01/2023	144	**108**	**10,9**	**0,240**	0,500	0,410	0,0200	6,30	7,10	**1940**
	09/05/2023	108	25,0	3,20	0,0800	0,100	0,640	0,0200	7,54	7,50	**625**
	13/07/2023	114	17,0	1,90	0,0600	0,500	0,860	0,0100	8,00	6,60	352

Ano	Data	SDT	turbidez	DBO	fósforo total	N amoniacal	nitrato	nitrito	OD	pH	E. coli
	09/11/2023	100	39,0	**5,70**	**0,130**	0,500	0,500	0,0500	6,50	7,60	**900**

Fonte: Dados brutos das variáveis de Água disponibilizados pela CETESB. Células em vermelho indicam valores em não conformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2. (–) indica dado não disponível. SDT: sólidos dissolvidos totais. DBO: demanda bioquímica de oxigênio. N amoniacal: nitrogênio amoniacal. OD: oxigênio dissolvido. pH: potencial hidrogeniônico. *E. coli: Escherichia coli.*

APÊNDICE D – Dados brutos e conformidade: SJDO 02500 – Grupo Processos Erosivos

Ano	Data	SDT	turbidez	P total	Al diss.	Ba total	Cd total	Pb total	Cu diss.	Cr total	Fe diss.	Mn total	Hg total	Ni total	Zn total
	Limite CONAMA 357/05	**500**	**100**	**0,1**	**0,1**	**0,7**	**0,001**	**0,01**	**0,009**	**0,05**	**0,3**	**0,1**	**0,0002**	**0,025**	**0,18**
	Unidade	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**	**mg/L**
2012	28/02/2012	97,0	32,0	0,0070	**0,160**	0,120	0,00050	0,0050	0,0090	0,0200	**1,06**	0,0800	0,00020	0,0200	0,0200
	10/04/2012	111	52,0	0,0070	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	12/06/2012	85,0	35,0	0,0380	**0,224**	0,0870	0,0010	0,0090	0,0050	0,0050	**1,10**	0,0650	0,00020	0,0100	0,0050
	21/08/2012	96,0	11,0	0,0670	0,0500	0,0870	0,0010	0,0090	0,0050	0,0050	**0,365**	0,0300	0,00020	0,0100	0,0040
	16/10/2012	104	13,0	0,0810	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	11/12/2012	122	22,0	**0,105**	**0,103**	0,0950	0,0010	0,0090	0,0050	0,0050	**0,468**	0,0460	0,00020	0,0100	0,0030
2013	26/02/2013	118	60,0	0,0690	0,0770	0,109	0,0010	0,0090	0,0050	0,0050	**0,962**	0,0690	0,00020	0,0100	0,0040
	09/04/2013	92,0	25,0	0,0680	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	11/06/2013	99,0	18,0	0,0520	0,0500	0,0820	0,0010	0,0090	0,0050	0,0050	**0,535**	0,0350	0,00020	0,0100	0,0030
	20/08/2013	97,0	9,40	0,0740	0,0620	0,0850	0,0010	0,0090	0,0050	0,0050	**0,308**	0,0300	0,00020	0,0100	0,0060
	15/10/2013	92,0	13,0	0,0900	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	10/12/2013	99,0	40,0	**0,156**	0,0680	0,0980	0,0010	0,0090	0,0050	0,0050	**0,475**	0,0570	0,00020	0,0100	0,0030
2014	04/02/2014	81,0	18,0	0,0980	0,0500	0,0970	0,0010	0,0090	0,0050	0,0050	**0,548**	0,0350	0,00020	0,0100	0,0030
	15/04/2014	46,0	**145**	0,0910	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	10/06/2014	111	10,0	0,0970	0,0520	0,0910	0,0010	0,0090	0,0050	0,0050	**0,336**	0,0300	0,00020	0,0100	0,0030
	19/08/2014	111	8,60	**0,200**	0,0500	0,0930	0,0010	0,0080	0,0050	0,0050	**0,305**	0,0210	0,00020	0,0100	0,0050
	07/10/2014	101	20,0	**0,121**	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	04/12/2014	132	50,0	**0,107**	**0,168**	0,107	0,0010	0,0080	0,0050	0,0050	**1,94**	**0,123**	0,00020	0,0100	0,0050

Ano	Data	SDT	turbidez	P total	Al diss.	Ba total	Cd total	Pb total	Cu diss.	Cr total	Fe diss.	Mn total	Hg total	Ni total	Zn total
2015	03/02/2015	84,0	37,0	0,0820	0,0540	0,0970	0,0010	0,0080	0,0050	0,0050	**1,31**	0,0570	0,00020	0,0100	0,0050
	14/04/2015	117	27,0	0,0540	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	09/06/2015	118	18,0	0,0640	0,0500	0,0950	0,0010	0,0080	0,0050	0,0050	**0,875**	0,0490	0,00020	0,0100	0,0050
	18/08/2015	122	11,0	**0,102**	0,0500	0,0960	0,0010	0,0080	0,0050	0,0050	0,136	0,0250	0,00020	0,0100	0,0050
	06/10/2015	127	14,0	0,0830	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	01/12/2015	121	**143**	**0,104**	**0,275**	0,0960	0,0010	0,0080	0,0050	0,0050	**0,786**	**0,102**	0,00020	0,0100	0,0110
2016	23/02/2016	136	**177**	0,0720	0,0700	0,0940	0,0010	0,0080	0,0050	0,0090	**0,432**	0,0790	0,00020	0,0100	0,0050
	26/04/2016	97,0	40,0	0,0670	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	16/06/2016	67,0	23,0	0,0480	0,0500	0,0790	0,0010	0,0080	0,0050	0,0050	**0,372**	0,0340	0,00020	0,0100	0,0050
	16/08/2016	82,0	15,0	0,0720	0,0500	0,0918	0,00050	0,0080	0,0050	0,0010	0,179	0,0272	0,00020	0,0050	0,0050
	18/10/2016	101	45,0	0,0770	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	06/12/2016	111	61,0	0,0790	**0,222**	0,0804	0,00050	0,0080	0,0050	0,0041	**0,882**	0,0456	0,00020	0,0050	0,0050
2017	14/02/2017	99,0	55,0	0,0560	0,0500	0,105	0,00050	0,0080	0,0050	0,0025	**1,15**	**0,107**	0,00020	0,0050	0,0050
	19/04/2017	105	34,0	0,0410	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	27/06/2017	89,0	19,0	0,0650	0,0750	0,0920	0,00050	0,0080	0,0050	0,0010	**0,733**	0,0370	0,00020	0,0050	0,0090
	01/08/2017	94,0	16,0	0,0530	0,0940	0,0870	0,00050	0,0080	0,0050	0,0020	**0,591**	0,0230	0,00020	0,0050	0,0050
	26/10/2017	100	20,0	0,0740	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	05/12/2017	100	61,0	0,0560	**0,161**	0,0690	0,00070	0,0080	0,0050	0,0020	**0,802**	0,0490	0,00020	0,0050	0,0050
2018	27/02/2018	109	**230**	**0,160**	**1,10**	0,140	0,0010	0,0100	0,0050	0,0230	**1,19**	**0,210**	0,00020	0,0100	0,0100
	10/04/2018	107	25,0	0,0440	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	19/06/2018	100	16,0	0,0520	0,0500	0,110	0,0010	0,0100	0,0050	0,0100	**0,340**	0,0290	0,00020	0,0100	0,0100
	07/08/2018	100	14,0	0,0620	0,0500	0,100	0,0010	0,0100	0,0050	0,0100	**0,470**	0,0390	0,00020	0,0100	0,0100

Ano	Data	SDT	turbidez	P total	Al diss.	Ba total	Cd total	Pb total	Cu diss.	Cr total	Fe diss.	Mn total	Hg total	Ni total	Zn total
	23/10/2018	105	25,0	0,0600	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	11/12/2018	102	26,0	0,0600	0,100	0,100	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**1,00**	0,100	0,00020	0,0200	0,0100
2019	19/02/2019	108	**140**	**0,170**	**0,110**	0,120	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**0,740**	**0,190**	0,00020	0,0200	0,100
	02/04/2019	115	18,0	0,0600	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	25/06/2019	106	14,0	0,0500	0,100	0,100	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**0,420**	0,100	0,00010	0,0200	0,100
	13/08/2019	100	23,0	0,0700	0,100	0,0900	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**0,580**	0,100	0,00010	0,0200	0,100
	24/10/2019	100	29,0	0,0800	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	10/12/2019	137	**204**	**0,180**	**0,440**	0,140	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**1,49**	**0,210**	0,00020	0,0200	0,100
2020	14/01/2020	110	**131**	**0,130**	**0,300**	0,130	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**2,86**	**0,350**	0,00020	0,0200	0,100
	23/06/2020	107	13,0	0,0500	–	0,110	0,0010	0,0100	–	0,0500	–	0,100	0,00020	0,0200	0,100
	25/08/2020	118	12,0	0,0800	**0,250**	0,130	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**0,440**	0,100	0,00020	0,0200	0,100
	20/10/2020	109	15,0	0,0700	**0,120**	0,120	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**0,340**	0,100	0,00020	0,0200	0,100
2021	12/01/2021	106	26,0	**0,120**	0,100	0,140	0,00080	0,0100	0,0090	0,0200	**0,900**	0,0600	0,00010	0,0200	0,0200
	13/07/2021	132	8,30	**0,140**	0,100	0,100	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**0,350**	0,100	0,00020	0,0200	0,100
	28/10/2021	131	40,0	**0,140**	**0,180**	0,140	0,0010	0,0100	0,0050	0,0500	**1,41**	0,100	0,00020	0,0200	0,100
2022	25/01/2022	114	31,0	0,0700	–	–	–	–	–	–	–	–	0,00010	–	–
	26/04/2022	112	18,0	0,0900	–	0,130	0,00080	0,0100	–	0,0200	–	0,0400	0,00020	0,0200	0,0200
	26/07/2022	112	9,70	**0,160**	0,100	0,120	0,00080	0,0100	0,0090	0,0200	**0,370**	0,0300	0,00020	0,0200	0,0200
	20/10/2022	123	12,0	**0,120**	0,100	0,120	0,00080	0,0100	0,0090	0,0200	**0,610**	0,0400	0,00020	0,0200	0,0200
2023	12/01/2023	144	**108**	**0,240**	**0,240**	0,150	0,00080	0,0100	0,0090	0,0300	**0,820**	**0,200**	0,00020	0,0200	0,0200
	09/05/2023	108	25,0	0,0800	0,100	0,130	0,00080	0,0100	0,0090	0,0200	**0,980**	0,0700	0,00020	0,0200	0,0200
	13/07/2023	114	17,0	0,0600	0,100	0,120	0,00080	0,0100	0,0090	0,0200	**0,870**	0,0300	0,00020	0,0200	0,0200

Ano	Data	SDT	turbidez	P total	Al diss.	Ba total	Cd total	Pb total	Cu diss.	Cr total	Fe diss.	Mn total	Hg total	Ni total	Zn total
	09/11/2023	100	39,0	**0,130**	0,100	0,130	0,00080	0,0100	0,0090	0,0200	**0,850**	0,0900	0,00010	0,0200	0,0200

Fonte: Dados brutos das variáveis de Água disponibilizados pela CETESB. Células em vermelho indicam valores em não conformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2. (–) indica dado não disponível. SDT: sólidos dissolvidos totais. P total: fósforo total. Al diss.: alumínio dissolvido. Ba total: bário total. Cd total: cádmio total. Pb total: chumbo total. Cu diss.: cobre dissolvido. Cr total: cromo total. Fe diss.: ferro dissolvido. Mn total: manganês total. Hg total: mercúrio total. Ni total: níquel total. Zn total: zinco total.

APÊNDICE E – Escolha dos parâmetros para os grupos: Qualidade da água e Processos Erosivos

				Índices			Apêndice 2 CCME		ICE	
	Parâmetro	Unidade	Conama 357/05	IQA	IET	IVA	Coluna 1 (gado)	Coluna 2 (lavoura)	Qualidade da Água	Processos Erosivos
Físicos	Condutividade	µS/cm	-							
	Cor Verdadeira	mg.Pt/L	< 75							
	Sólido Dissolvido Total	mg/L	< 500					x	x	x
	Sólido Suspenso Total	mg/L	-				x	x		
	Sólido Total	mg/L	-	x						
	Temperatura da Água	°C	-	x						
	Turbidez	UNT	< 100	x			x	x	x	x
Químicos	COT	mg/L	-				x	x		
	DBO	mg/L	< 5	x			x	x	x	
	Cloreto Total	mg/L	< 250							
	Dureza	mg/L	-							
	Fluoreto Total	mg/L	< 1.4							
	Fósforo Total	mg/L	< 0.1	x	x		x	x	x	x
	Fósforo-Ortofosfato	mg/L	-							
	Nitrogênio Total	mg/L	-	x						
	Nitrogênio Amoniacal	mg/L	< 2				x	x	x	
	Nitrogênio Kjeldahl	mg/L	-							
	Nitrogênio-Nitrato	mg/L	< 10				x	x	x	
	Nitrogênio-Nitrito	mg/L	< 1				x	x	x	
	Oxigênio Dissolvido	mg/L	> 5	x		x	x	x	x	
	pH	U.pH	6 até 9	x		x	x	x	x	
	Subst. Tensoat. reagem c/ Azul Metileno	mg/L	< 0.5			x				
	Sulfato Total	mg/L	< 250							
Químicos (metais e semi-metais)	Alumínio Dissolvido	mg/L	< 0.1							x
	Alumínio Total	mg/L	-							
	Bário Total	mg/L	< 0.7							x
	Cádmio Total	mg/L	< 0.001			x				x
	Cálcio Total	mg/L	-							
	Chumbo Total	mg/L	< 0.01			x				x
	Cobre Dissolvido	mg/L	< 0.009			x				x
	Cobre Total	mg/L	-							
	Cromo Total	mg/L	< 0.05			x				x
	Ferro Dissolvido	mg/L	< 0.3							x
	Ferro Total	mg/L	-							
	Magnésio Total	mg/L	-							
	Manganês Total	mg/L	< 0.1							x
	Mercúrio Total	mg/L	< 0.0002			x				x
	Níquel Total	mg/L	< 0.025			x				x
	Potássio	mg/L	-							
	Sódio	mg/L	-							
	Zinco Total	mg/L	< 0.18			x				x
Microbiológicos	*Escherichia coli*	UFC/100mL	< 600	x			x	x	x	
Hidrobiológicos	Clorofila-a	µg/L	< 30		x					
Ecotoxicológico	Ens. Ecotoxic. C/ *Ceriodaphnia dubia*	-	Não tóxico			x				
								Pesticidas	10	14
									Total de parâmetros	

APÊNDICE F – Laudos de água bruta, córrego da Ponte Pensa

suprema analítica

Relatório de Ensaio 44489/2025.0.A

Proposta Comercial: PC1471/2025.1

ABNT NBR ISO/IEC 17025 CRL 1546

Data de Publicação: 23/10/2025 14:44

Identificação Conta	
Cliente: Mauricio Augusto Leite	**CNPJ/CPF:** 126.655.278-20
Contato: Iolanda Alves R. Fonseca	**Telefone:** (17)997049849
Endereço: Rua Monções, 226 Zona Norte - Ilha Solteira - São Paulo - Brasil	

Nº Amostra: 44489-1/2025.0 - 115.096 - RIBEIRÃO DA PONTE PENSA	
Tipo de Amostra: Água Bruta (AB)	**Responsável pela Amostragem:** Cliente
Endereço do Ponto de Coleta:	
Data Coleta: 01/10/2025 09:54	**Data Recebimento:** 09/10/2025 09:30
ID Amostra: 260276	

Resultados Analíticos

Físico Químico I

Análise	Resultado	Conama 357 - Artigo 15 *	LD	LQ	Incerteza	Referência	Data Análise
Fósforo Total	0,1 mg/L	0,1 mg/L	-	0,01	0,00589	SMWW 24º Edição, 4500-P E.	13/10/2025

Físico-Químico III

Análise	Resultado	Conama 357 - Artigo 15 *	LD	LQ	Incerteza	Referência	Data Análise
Alumínio Dissolvido	< 0,025 mg/L	0,1 mg/L	0,001	0,025	0,001	Método USEPA Method 6010-D.	10/10/2025
Alumínio	< 0,025 mg/L	-	0,001	0,025	-	USEPA Method 6010-D:2018	13/10/2025
Cromo	< 0,010 mg/L	0,05 mg/L	0,001	0,010	-	USEPA Method 6010-D:2018	13/10/2025
Ferro	< 0,025 mg/L	-	0,001	0,025	-	USEPA Method 6010-D:2018	13/10/2025
Ferro Dissolvido	< 0,025 mg/L	0,3 mg/L	0,001	0,025	0,001	Método USEPA Method 6010-D.	10/10/2025
Manganês	< 0,025 mg/L	0,1 mg/L	0,001	0,025	-	USEPA Method 6010-D:2018	13/10/2025
Vanádio	< 0,025 mg/L	0,1 mg/L	0,001	0,025	-	USEPA Method 6010-D:2018	13/10/2025

Especificações

Conama 357 - Artigo 15 *: Conama 357 - Artigo 15 *

Interpretações

Os parâmetros analisados atendem os padrões e condições do Conama 357 -Artigo 15 de 17 de Março de 2005.

suprema analítica

Relatório de Ensaio 44489/2025.0.A

Proposta Comercial: PC1471/2025.1

ABNT NBR ISO/IEC 17025 CRL 1546

Notas

Declaração:

"Este relatório atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório".

"As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório"

Os resultados expressos neste relatório aplicam-se à amostra conforme recebida e exclusivamente para os parâmetros analisados.

Amostragem: Quando realizada pela Suprema Analítica, fica estabelecido o procedimento IT 001 Procedimento Geral de Coleta (documento interno), considerando as metodologias :

- **Ensaios Químicos:** SMWW 24ª Edição, 2023, Método 1060.
- **Ensaios Biológicos/ Microbiológicos:** SMWW 24ª Edição, 2023, Método 9060.

O laboratório dispõe do FO 130 Plano de Amostragem, documento único e exclusivo para cada contrato formalizado, podendo ser utilizado quando pertinente para a validade ou aplicação dos resultados, além da CA (Cadeia de Amostra), que possui numeração unívoca, detalhando ponto de coleta, matriz, frascaria e preservação utilizada, quantidade de amostras coletadas.

Os resultados expressos no campo Amostragem, aplicam-se a ensaios realizados em Instalações de Cliente, nos campos Físico Químico I, II, III, IV e Biologia aplicam-se a ensaios realizados em Instalações permanentes. Quando constar o nome do laboratório ou nome do laboratório + CRL indica que os ensaios foram subcontratados.

Regra de Decisão: A regra de decisão é estimada com base na largura de banda de guarda, onde pode ser definido uma zona de aceitação e uma zona de rejeição. A largura da banda de guarda é calculada através da multiplicação 1,65*U (Onde 1,65 corresponde a um valor *t* para um nível de confiança de 95% resultando no limite de decisão e U corresponde a incerteza padrão combinada do método).

Valores de LD e LQ:

- Os valores de LD e LQ estão expressos nas mesmas unidades de medida em que os resultados estão apresentados

Legendas:

NA: Não se aplica.
LQ: Limite de Quantificação.
LD: Limite de Detecção
IT: Instrução de Trabalho
SMWW: *Standard Methods* for the Examination of Water and Wastewater, 24nd. Edition.
USEPA: United States Environmental Protection Agency
ISO: International Organization of Normalization
ABNT NBR: Associação Brasileira de Normas Técnicas
*: Ensaio subcontratado não acreditado
**: Ensaio não acreditado realizados pela Suprema Analítica
***: Ensaio subcotratado acreditado
(Sem asterisco): Ensaios acreditados realizados pela Suprema Analítica

mg/L: Miligramas por Litro
As datas e horas apresentadas neste documento estão baseadas no fuso horário:(UTC-03:00) Brasilia

Signatário Autorizado

Raphael Fernandes
Raphael Fernandes CRQ: 04492821
Gerente Técnico

Signatário Autorizado

Sidinei Junior
Sidinei Tacão Junior CRQ: 04486061
Diretor Técnico

Chave de Validação: 83ad6616cbd947e7b1a090e9ffed6c61

A validação deste documento pode ser realizada em: portal.mylimsweb.com.

suprema analítica

Relatório de Ensaio 62729/2025.0.A

Proposta Comercial: PC1471/2025.1

ABNT NBR ISO/IEC 17025 CRL 1546

Data de Publicação: 09/01/2026 09:58

Identificação Conta	
Cliente: Mauricio Augusto Leite	**CNPJ/CPF:** 126.655.278-20
Contato: Iolanda Alves R. Fonseca	**Telefone:** (17)997049849
Endereço: Rua Monções, 226 Zona Norte - Ilha Solteira - São Paulo - Brasil	

Nº Amostra: 62729-1/2025.0 - 117.148 - CÓRREGO RIBEIRÃO DA PONTE PENSA	
Tipo de Amostra: Água Bruta (AB)	**Responsável pela Amostragem:** Cliente
Endereço do Ponto de Coleta:	
Data Coleta: 16/12/2025 10:10	**Data Recebimento:** 17/12/2025 21:04
ID Amostra: 277836	

Resultados Analíticos

Físico Químico I

Análise	Resultado	Conama 357 - Artigo 15 *	LD	LQ	Incerteza	Referência	Data Análise
Fósforo Total	0,1 mg/L	0,1 mg/L	-	0,01	0,00589	SMWW 24º Edição, 4500-P E	29/12/2025

Físico-Químico III

Análise	Resultado	Conama 357 - Artigo 15 *	LD	LQ	Incerteza	Referência	Data Análise
Alumínio Dissolvido	0,044 mg/L	0,1 mg/L	0,001	0,025	0,002	Método USEPA Method 6010-D.	19/12/2025
Alumínio	0,031 mg/L	-	0,010	0,025	-	USEPA Method 6010-D:2018	18/12/2025
Cromo	< 0,010 mg/L	0,05 mg/L	0,005	0,010	-	USEPA Method 6010-D:2018	18/12/2025
Ferro	0,043 mg/L	-	0,014	0,025	-	USEPA Method 6010-D:2018	18/12/2025
Ferro Dissolvido	0,029 mg/L	0,3 mg/L	0,001	0,025	0,002	Método USEPA Method 6010-D.	19/12/2025
Manganês	< 0,025 mg/L	0,1 mg/L	0,013	0,025	-	USEPA Method 6010-D:2018	18/12/2025
Vanádio	< 0,025 mg/L	0,1 mg/L	0,018	0,025	-	USEPA Method 6010-D:2018	18/12/2025

Especificações

Conama 357 - Artigo 15 *: Conama 357 - Artigo 15 *

Interpretações

Os parâmetros analisados atendem os padrões e condições do Conama 357 -Artigo 15 de 17 de Março de 2005.

suprema analítica

Relatório de Ensaio 62729/2025.0.A

Proposta Comercial: PC1471/2025.1

ABNT NBR ISO/IEC 17025 CRL 1546

Notas

Declaração:

"Este relatório atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório".

"As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório"

Os resultados expressos neste relatório aplicam-se à amostra conforme recebida e exclusivamente para os parâmetros analisados.

Amostragem: Quando realizada pela Suprema Analítica, fica estabelecido o procedimento IT 001 Procedimento Geral de Coleta (documento interno), considerando as metodologias :

- **Ensaios Químicos:** SMWW 24ª Edição, 2023, Método 1060.
- **Ensaios Biológicos/ Microbiológicos:** SMWW 24ª Edição, 2023, Método 9060.

O laboratório dispõe do FO 130 Plano de Amostragem, documento único e exclusivo para cada contrato formalizado, podendo ser utilizado quando pertinente para a validade ou aplicação dos resultados, além da CA (Cadeia de Amostra), que possui numeração unívoca, detalhando ponto de coleta, matriz, frascaria e preservação utilizada, quantidade de amostras coletadas.

Os resultados expressos no campo Amostragem, aplicam-se a ensaios realizados em Instalações de Cliente, nos campos Físico Químico I, II, III, IV e Biologia aplicam-se a ensaios realizados em Instalações permanentes. Quando constar o nome do laboratório ou nome do laboratório + CRL indica que os ensaios foram subcontratados.

Regra de Decisão: A regra de decisão é estimada com base na largura de banda de guarda, onde pode ser definido uma zona de aceitação e uma zona de rejeição. A largura da banda de guarda é calculada através da multiplicação 1,65*U (Onde 1,65 corresponde a um valor *t* para um nível de confiança de 95% resultando no limite de decisão e U corresponde a incerteza padrão combinada do método).

Valores de LD e LQ:

- Os valores de LD e LQ estão expressos nas mesmas unidades de medida em que os resultados estão apresentados

Legendas:

NA: Não se aplica.
LQ: Limite de Quantificação.
LD: Limite de Detecção
IT: Instrução de Trabalho
SMWW: *Standard Methods* for the Examination of Water and Wastewater, 24nd. Edition.
USEPA: United States Environmental Protection Agency
ISO: International Organization of Normalization
ABNT NBR: Associação Brasileira de Normas Técnicas
*: Ensaio subcontratado não acreditado
**: Ensaio não acreditado realizados pela Suprema Analítica
***: Ensaio subcotratado acreditado
(Sem asterisco): Ensaios acreditados realizados pela Suprema Analítica

mg/L: Miligramas por Litro
As datas e horas apresentadas neste documento estão baseadas no fuso horário:(UTC-03:00) Brasilia

Signatário Autorizado

Raphael Fernandes
Raphael Fernandes CRQ: 04492821
Gerente Técnico

Signatário Autorizado

Sidinei Junior
Sidinei Tacão Junior CRQ: 04486061
Diretor Técnico

Chave de Validação: b1c1ddbb182b45508c0a45fd8ab23841

A validação deste documento pode ser realizada em: portal.mylimsweb.com.

APÊNDICE G – DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

Em atendimento à Portaria CNPq nº 2.664/2026, de 6 de março de 2026, que institui a Política de Integridade na Atividade Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, e em conformidade com a Resolução Unesp nº 13, de 22 de abril de 2025, que dispõe sobre a utilização da Inteligência Artificial na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", declara-se que ferramentas de Inteligência Artificial generativa foram utilizadas em etapas específicas da elaboração desta dissertação, com a finalidade e nas condições descritas a seguir.

O modelo Claude, desenvolvido pela Anthropic, foi utilizado em três frentes ao longo do desenvolvimento da dissertação: na revisão linguística e textual de trechos do corpo do trabalho; na geração de códigos em linguagem R, executados no ambiente RStudio, para a elaboração de gráficos e visualizações associadas aos resultados; e no apoio à diagramação do manual técnico elaborado como Produto Técnico Tecnológico desta pesquisa. A ferramenta também foi consultada para esclarecimento de dúvidas pontuais relacionadas ao uso do Microsoft Excel e à organização estrutural do manual técnico.

O modelo ChatGPT, desenvolvido pela OpenAI, foi utilizado para a revisão linguística e textual de trechos do corpo da dissertação, e para o esclarecimento de dúvidas pontuais relacionadas ao uso do Microsoft Excel e à organização do manual técnico.

A concepção da pesquisa, a definição da pergunta de pesquisa, dos objetivos e da metodologia, a seleção e a organização da base de dados secundários disponibilizados pela CETESB, o cálculo do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), a interpretação dos resultados e a redação original do texto foram conduzidos exclusivamente pela autora. As análises laboratoriais de solo e sedimentos utilizadas na caracterização do Grupo Processos Erosivos foram conduzidas pela Profa. Dra. Bárbara Pereira Christofaro Silva, coorientadora desta pesquisa.

Todo o conteúdo produzido com o auxílio dessas ferramentas foi revisado criticamente e validado pela autora, que assume integral responsabilidade pela originalidade, pela exatidão técnica e pela veracidade científica do texto final, inclusive

por eventuais imprecisões, erros ou imperfeições que possam ter sido introduzidos pelas ferramentas e não detectados na revisão. Em conformidade com a Portaria CNPq nº 2.664/2026 e com a Resolução Unesp nº 13/2025, as ferramentas de Inteligência Artificial empregadas não são consideradas autoras da pesquisa nem responsáveis pelos resultados apresentados, sendo a autora a única responsável pelo conjunto da obra.