



PRODUTO TÉCNICO-TECNOLÓGICO

ProfÁgua — Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos

MANUAL DO ÍNDICE DE CONFORMIDADE AO ENQUADRAMENTO (ICE)

Guia prático para membros do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

Iolanda Alves Roque da Fonseca Beleli



Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” — Câmpus de Ilha Solteira
Orientação: Maurício Augusto Leite • Coorientação: Bárbara Pereira Christofaro Silva
Ilha Solteira • 2026



Ficha técnica

Autoria: Iolanda Alves Roque da Fonseca Beleli

ORCID: 0009-0002-3464-7470 **Lattes:** 4620562054630931

Orientação: Maurício Augusto Leite

Coorientação: Bárbara Pereira Christofaro Silva

Programa: Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (ProfÁgua)

Instituição: UNESP — Câmpus de Ilha Solteira / Faculdade de Engenharia

Vínculo: Produto Técnico-Tecnológico vinculado à dissertação “Utilização do Índice de Conformidade ao Enquadramento no Rio São José dos Dourados” (2026).

Local e ano: Ilha Solteira, 2026

ISBN: 978-65-02-37996-7

Como citar: BELELI, I. A. R. F. *Manual do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE)*. Ilha Solteira: ProfÁgua, 2026.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua apoio técnico científico aportado até o momento.

Sumário

1. Apresentação	3
2. Contexto: enquadramento, qualidade da água e o ICE	4
A água que temos e a água que precisamos	4
O enquadramento como instrumento de planejamento	4
Índices da qualidade da água	4
Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE)	5
Quadro comparativo: IQA, IET, IVA e ICE	5
Para quais bacias o ICE é indicado?	6
3. Como funciona o ICE: entendendo o índice	7
Uma medida com três dimensões	7
Os três fatores do ICE	7
Interpretação do resultado: as cinco categorias do ICE	9
Regras importantes para a aplicação correta do ICE	9
4. Seleção dos parâmetros para o cálculo do ICE	11
Requisitos obrigatórios (válidos para qualquer bacia — metodologia CCME)	11
Orientações flexíveis de seleção (adaptáveis a cada bacia)	11
Parâmetros e limites no estudo de caso (UGRHI 18 – São José dos Dourados)	12
Regras de consistência na seleção de parâmetros	13
5. Passo a passo: como aplicar o ICE na sua bacia	14
Antes de calcular: preparação dos dados	14
Cálculo do ICE com a planilha Excel adaptada	14
Cálculo do ICE com a Calculadora CCME WQI 2.0	16
Erros comuns e como evitá-los	17
6. Interpretação dos resultados e apoio à tomada de decisão	18
Antes do ICE final: leia F1, F2 e F3 separadamente	18
Interpretação do ICE final: o que significa cada categoria	18
Acompanhamento da evolução do ICE ao longo do tempo	19
Comunicação dos resultados do ICE	19
7. Estudo de caso: aplicação do ICE na bacia do rio São José dos Dourados	20
A bacia e os pontos avaliados	20
Como o ICE foi aplicado	20
Resultados — SJDO 02150	20
Resultados — SJDO 02500	22
O que o ICE revelou além dos índices convencionais	23
Orientações para o gestor	24

Apêndice A — Como incorporar processos erosivos ao ICE	25
Apêndice B — Como baixar e instalar a Calculadora CCME WQI 2.0	27
Apêndice C — Planilha Excel adaptada: download e vídeo de apoio	29
Apêndice D — Glossário de termos técnicos	30
Referências bibliográficas	31

1 Apresentação

Este manual foi elaborado para apoiar gestores de recursos hídricos, técnicos ambientais e membros de comitês de bacia na aplicação do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), uma ferramenta que avalia, de forma objetiva e sintética, o quanto a qualidade da água de um corpo hídrico está em conformidade com as metas legais definidas pelo seu enquadramento (Amaro, 2009; CCME, 2017)

A pergunta que motiva este material é simples e cotidiana na gestão das bacias: a qualidade da água na nossa bacia está dentro dos padrões normativos? Responder a isso exige reunir dezenas de parâmetros, monitorados ao longo de anos, e traduzi-los em uma informação clara, comparável e útil para a tomada de decisão. É exatamente isso que o ICE faz, e é isso que este manual ensina a fazer — passo a passo, com linguagem acessível e sem exigir formação especializada em estatística ou programação.

Para quem é este manual - Para quem precisa avaliar, comunicar ou acompanhar a qualidade da água de uma bacia como gestores e técnicos ambientais, conselheiros e membros de comitês de bacia, equipes de agências de água e demais profissionais do setor.

O que você encontrará aqui - O manual está organizado em sete seções e quatro apêndices. As Seções 2 e 3 apresentam o contexto e explicam como o índice funciona. A Seção 4 orienta a escolha dos parâmetros. A Seção 5 traz o passo a passo do cálculo por duas ferramentas: o software canadense CCME WQI 2.0 e uma planilha Excel adaptada, em português, disponibilizada gratuitamente. A Seção 6 ensina a interpretar os resultados e usá-los na gestão. A Seção 7 apresenta um estudo de caso completo na UGRHI 18 (bacia do rio São José dos Dourados, SP). Os apêndices reúnem orientações complementares, instruções de download e um glossário.

Como usar - Se este é seu primeiro contato com o ICE, recomenda-se a leitura na ordem proposta. Se você já conhece o índice e quer apenas aplicá-lo, pode ir direto à Seção 4 (seleção de parâmetros) e à Seção 5 (cálculo). As duas ferramentas produzem o mesmo resultado: escolha a que melhor se adapta à sua familiaridade com recursos computacionais, a planilha Excel é a opção mais simples e transparente; o software CCME WQI 2.0 é indicado para quem trabalha com muitos pontos ou longas séries de dados.

Convenções - Ao longo do texto, quadros resumem informações de consulta rápida; figuras ilustram telas e gráficos; e boxes de atenção destacam erros comuns e cuidados metodológicos. Sempre que um termo técnico aparece pela primeira vez, ele é explicado e todos estão reunidos no Glossário (Apêndice D).

Ao final da leitura, você terá condições de aplicar o ICE na sua bacia, interpretar os resultados de forma desagregada (F1, F2 e F3) e utilizá-los como subsídio concreto para a gestão dos recursos hídricos.

2

Contexto: enquadramento, qualidade da água e o ICE

A água que temos e a água que precisamos

Garantir que os rios, lagos e reservatórios de uma bacia hidrográfica mantenham qualidade suficiente para seus usos é um dos maiores desafios da gestão ambiental. Esse desafio não é apenas técnico: é político, econômico e, sobretudo, de responsabilidade pública (Tucci; Hespanhol; Cordeiro Netto, 2001).

No Brasil, a legislação reconhece essa complexidade ao estabelecer que a água é um bem de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. Mais do que isso, define que a sua gestão deve ser integrada, descentralizada e participativa, papel que cabe, em grande medida, aos comitês de bacia hidrográfica e aos órgãos estaduais de recursos hídricos (BRASIL, 1997).

Para que essa gestão seja efetiva, porém, é preciso saber responder a uma pergunta concreta: **a qualidade da água na nossa bacia está dentro dos padrões normativos?** Responder a essa pergunta de forma integrada, sistemática e baseada em dados é exatamente o que este manual se propõe a apoiar.

O enquadramento como instrumento de planejamento

O enquadramento dos corpos d'água é um dos instrumentos centrais da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433/1997. Sua função é estabelecer metas de qualidade para cada corpo hídrico, de acordo com os usos preponderantes da água, como abastecimento humano, irrigação, recreação, preservação da vida aquática, entre outros (BRASIL, 1997).

Na prática, o enquadramento define qual classe de qualidade um rio, lago ou reservatório deve alcançar ou manter. Essa classificação é regulamentada em âmbito federal pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que estabelece classes para as águas doces (da Especial à Classe 4), cada uma associada a limites máximos ou mínimos para parâmetros físicos, químicos e biológicos (BRASIL, 2005).

No estado de São Paulo, o enquadramento foi inicialmente definido pelo Decreto Estadual nº 10.755/1977 e foi adotado como referência pelas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHs) (São Paulo, 1977). Para que esse instrumento cumpra seu papel de orientar o planejamento ambiental, é necessário que os gestores disponham de ferramentas capazes de avaliar, de forma objetiva, se a qualidade da água está ou não em conformidade com as Classes estabelecidas.

Índices da qualidade da água

O monitoramento da qualidade da água no Brasil conta com índices consolidados, amplamente utilizados por órgãos ambientais como a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Alguns conhecidos são:

Índice de Qualidade das Águas (IQA): é o determinante principal da utilização da água para abastecimento público, com base em nove variáveis consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas (CETESB, 2023).

Índice do Estado Trófico (IET): classifica os corpos d'água quanto ao grau de enriquecimento por nutrientes, especialmente o fósforo, indicando riscos de eutrofização e proliferação de algas (CETESB, 2023).

Índice de Qualidade das Águas para a Proteção da Vida Aquática (IVA): incorpora contaminantes tóxicos e variáveis essenciais à biota, sendo mais sensível às pressões sobre os ecossistemas aquáticos (CETESB, 2023).

Notas: o IQA apresenta variações nas faixas de classificação entre os estados brasileiros (ANA, [s.d.]). O IET segue metodologia uniforme em âmbito nacional (LAMPARELLI, 2004; ANA, [s.d.]). O IVA é utilizado exclusivamente pela CETESB (SP) (CETESB, 2023); gestores de outros estados devem verificar quais índices são adotados pelo respectivo órgão ambiental.

Esses índices são ferramentas valiosas e seguem sendo utilizados. No entanto, nenhum deles permite avaliar, de forma direta, a conformidade da qualidade da água em relação às classes de enquadramento. Quando se trabalha com dezenas de parâmetros monitorados ao longo de vários anos, a análise individual de cada variável se torna inviável para o cotidiano da gestão. É preciso um instrumento que sintetize essa informação em uma medida única, objetiva e comparável ao longo do tempo.

Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE)

O Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) é uma ferramenta desenvolvida para avaliar, de forma integrada, o quanto a qualidade da água de um corpo hídrico está em conformidade com as metas legais estabelecidas pelo seu enquadramento. Ele foi proposto pelo Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME, 2001), atualizado em 2017 e foi adaptado por Amaro (2009).

O ICE é reconhecido por sua robustez e flexibilidade e utilizado pela ANA como ferramenta de apoio à gestão dos recursos hídricos, sendo aplicável a rios, córregos, lagos e reservatórios, em qualquer região do país, desde que haja dados de monitoramento disponíveis.

O que torna o ICE distinto dos demais índices é sua lógica de cálculo, baseada em três dimensões complementares da conformidade:

Abrangência (F1): quantos parâmetros deixaram de atender aos limites legais em pelo menos uma medição?

Frequência (F2): com que frequência os parâmetros ultrapassaram os limites ao longo do período analisado?

Amplitude (F3): qual foi a magnitude dos desvios em relação aos limites?

Esses três fatores são combinados em uma única equação para produzir um valor entre 0 e 100, onde 100 representa conformidade plena e valores próximos de 0 indicam desconformidade generalizada. O resultado é classificado em cinco categorias — Excelente, Boa, Razoável, Regular e Ruim — que orientam a interpretação e a tomada de decisão (CCME, 2017).

Quadro comparativo: IQA, IET, IVA e ICE

O Quadro 1 resume as principais diferenças entre os índices tradicionais e o ICE, facilitando a compreensão do papel específico de cada ferramenta na gestão da qualidade da água.

Quadro 1. Comparativo entre os principais índices de qualidade da água e o ICE

Índice	O que avalia	Pergunta que responde	Limitação / papel
IQA	Qualidade geral para abastecimento público (9 variáveis)	A água é adequada para o abastecimento público?	Não mede conformidade ao enquadramento
IET	Grau de enriquecimento por nutrientes (eutrofização)	Há risco de eutrofização?	Foca apenas em nutrientes
IVA	Proteção da vida aquática (contaminantes tóxicos + biota)	A água protege a vida aquática?	Uso exclusivo da CETESB (SP)
ICE	Conformidade da água às classes de enquadramento	Em que medida a água atende às classes legais?	Exige enquadramento definido e diretrizes legais

Fonte: AMARO (Proposta de um índice para avaliação de conformidade da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento. 2009). CETESB (Índices de qualidade das águas. 2023). CCME (Water Quality Index User's Manual 2017 Update).

Para quais bacias o ICE é indicado?

O ICE pode ser aplicado a qualquer bacia hidrográfica que disponha de dados de monitoramento da qualidade da água em séries temporais consistentes. Para sua aplicação, são necessários, no mínimo, quatro parâmetros monitorados e quatro campanhas amostrais por ano. O ideal, conforme o manual canadense, é contar com coletas mensais ao longo de pelo menos um ano, sendo o período de três anos considerado o mais adequado para análises de tendência temporal (CCME, 2017).

O ICE é especialmente útil em bacias onde:

O enquadramento já foi definido e há interesse em avaliar sistematicamente o grau de conformidade ao longo do tempo.

O monitoramento envolve muitos parâmetros, tornando inviável a análise individual e periódica de cada variável.

Há necessidade de comparar diferentes pontos de monitoramento ou diferentes períodos históricos com base em um critério objetivo e unificado.

A gestão demanda comunicação clara e objetiva sobre a situação da qualidade da água para comitês, órgãos reguladores e sociedade civil.

3 Como funciona o ICE: entendendo o índice

Uma medida com três dimensões

O ICE é calculado a partir de três fatores complementares, denominados F1, F2 e F3. Cada um deles captura uma dimensão diferente da desconformidade entre os valores medidos e os limites legais estabelecidos para a classe de enquadramento do corpo hídrico.

Além de saber se houve violações, também é possível medir com que frequência essas violações ocorrem e o quanto os valores medidos se afastam do limite permitido. Um corpo hídrico que viola esporadicamente um único parâmetro por uma margem pequena é uma situação muito diferente de um corpo hídrico que viola sistematicamente vários parâmetros com grande amplitude, mas ambos poderiam gerar o mesmo resultado em um índice que considerasse apenas a presença ou ausência de violações.

O ICE resolve esse problema ao combinar as três dimensões em um único valor entre 0 e 100, onde 100 representa conformidade plena com o enquadramento e valores próximos de 0 indicam desconformidade generalizada (AMARO, 2009; CCME, 2017).

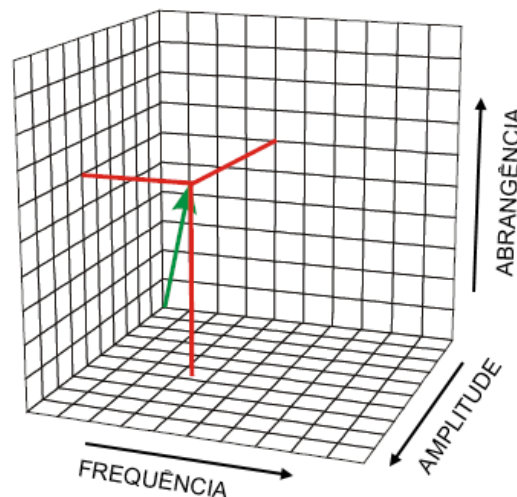


Figura 1 — Modelo conceitual do ICE: os três eixos — F1 (abrangência), F2 (frequência) e F3 (amplitude).

Fonte: adaptado de CCME (2017).

Os três fatores do ICE

F1 — Abrangência: quantos parâmetros falharam?

F1 mede a proporção de parâmetros avaliados que apresentou pelo menos uma medição fora dos limites legais durante o período analisado. Quanto mais parâmetros violarem os limites, maior será F1 e, conseqüentemente, menor o ICE. Um valor elevado de F1 indica que a desconformidade não está concentrada em um único parâmetro, mas se distribui por várias variáveis.

$$F_1 = \frac{\text{número de parâmetros que falharam}}{\text{número total de parâmetros}} \times 100$$

F2 — Frequência: com que regularidade as violações ocorreram?

F2 mede a proporção de todas as medições realizadas que ficaram fora dos limites legais, considerando todos os parâmetros em conjunto. Enquanto F1 pergunta 'quais parâmetros falharam?', F2 pergunta 'em quantas medições houve falha?'. Um valor elevado de F2 indica que as violações são recorrentes ao longo do período monitorado.

$$F_2 = \frac{\text{número de testes que falharam}}{\text{número total de testes}} \times 100$$

F3 — Amplitude: o quanto os valores se afastaram dos limites?

F3 mede a magnitude das violações, não apenas se os limites foram ultrapassados, mas o quanto foram ultrapassados. É calculado a partir da soma normalizada das variações, que representam a diferença proporcional entre cada valor medido e o limite legal correspondente. Um valor elevado de F3 indica que os valores medidos se afastam consideravelmente dos padrões legais.

O fator F3 é obtido em três passos:

- Variação de cada teste fora do limite — limite máximo: (valor medido ÷ limite) - 1; limite mínimo: (limite ÷ valor medido) - 1.

$$\text{Para limite máximo: } \text{variação} = \frac{\text{valor medido}}{\text{limite}} - 1$$

$$\text{Para limite mínimo: } \text{variação} = \frac{\text{limite}}{\text{valor medido}} - 1$$

Soma Normalizada das Variações (snv).

$$\text{snv} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{variações}}{\text{número total de testes}}$$

- 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.

$$F_3 = \frac{\text{snv}}{0,01 \times \text{snv} + 0,01}$$

Os fatores F1, F2 e F3 são combinados como vetores (Teorema de Pitágoras) em uma única equação. O divisor 1,732 ($\approx \sqrt{3}$) normaliza o resultado para a faixa de 0 a 100, garantindo que o ICE nunca seja negativo (CCME, 2017).

$$\text{ICE} = 100 - \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732}$$

Interpretação do resultado: as cinco categorias do ICE

O valor calculado do ICE é classificado em cinco categorias, que orientam a interpretação dos resultados e a tomada de decisão.

Quadro 2. Categorias de classificação do ICE e seus significados para a gestão dos recursos hídricos

Categoria	Faixa	Significado para a gestão
Excelente	$95 \leq ICE \leq 100$	A qualidade da água está protegida, com ausência praticamente total de ameaças ou degradação; condições muito próximas aos níveis naturais ou intocados.
Boa	$80 \leq ICE < 95$	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.
Razoável	$65 \leq ICE < 80$	A qualidade da água geralmente está protegida, mas ocasionalmente é ameaçada ou degradada; as condições às vezes se afastam dos níveis naturais ou desejáveis.
Regular	$45 \leq ICE < 65$	A qualidade da água é frequentemente ameaçada ou degradada; as condições frequentemente se afastam dos níveis naturais ou desejáveis.
Ruim	$0 \leq ICE < 45$	A qualidade da água é quase sempre ameaçada ou degradada; as condições geralmente se afastam dos níveis naturais ou desejáveis.

Fonte: CCME, 2017, adaptado.

É importante ressaltar que as categorias do ICE não substituem a análise individual dos parâmetros, elas sintetizam a informação para facilitar a comunicação e orientar prioridades. A análise desagregada de F1, F2 e F3 permite identificar nuances, conforme discutido na Seção 6.

Regras importantes para a aplicação correta do ICE

O manual canadense (CCME, 2017), no qual o ICE se baseia, estabelece regras que devem ser respeitadas para garantir a validade e a comparabilidade dos resultados. As principais são:

- **Preparação e validação dos dados:** Revise os dados quanto à qualidade, coerência de unidades e faça uma avaliação criteriosa de valores extremos e de eventos hidrológicos atípicos.
- **Uso de dados antigos:** Dados antigos podem ter limites de detecção elevados, gerando falsos positivos; avalie-os com cautela.
- **Seleção adequada de parâmetros:** Inclua apenas parâmetros relevantes; evite excesso e parâmetros altamente correlacionados.
- **Tamanho mínimo do conjunto:** Recomenda-se não calcular com menos de quatro parâmetros e quatro campanhas (coletas); para rios, cerca de dez amostras anuais, número que pode ser maior em rios de regime mais variável (que respondem rapidamente às chuvas, com grandes oscilações de vazão e de qualidade) e menor em rios ou lagos de condições mais estáveis ao longo do ano.
- **Definição do período:** Recomenda-se um período mínimo de um ano para o cálculo do índice. Um intervalo de cerca de três anos é geralmente recomendado. Períodos excessivamente longos devem ser evitados.
- **Comparabilidade:** Comparações só são válidas com os mesmos parâmetros, diretrizes, períodos e número de amostras.
- **Adequação das diretrizes ao local:** Quando necessário, utilize diretrizes específicas para o local.

- **Validação do valor:** Valide o resultado por julgamento técnico, análise dos parâmetros dominantes e comparação com avaliações anteriores.

4 Seleção dos parâmetros para o cálculo do ICE

A escolha dos parâmetros é uma das etapas mais importantes da aplicação do ICE. Ela determina a representatividade, a confiabilidade e a comparabilidade do índice ao longo do tempo, e uma seleção inadequada pode levar a interpretações equivocadas da qualidade da água (AMARO, 2009; CCME, 2017).

Diferentemente dos índices tradicionais, como o IQA e o IET, que possuem conjuntos de parâmetros fixos, o ICE oferece flexibilidade ao usuário na definição dos parâmetros. Essa flexibilidade é, ao mesmo tempo, uma vantagem e uma responsabilidade: permite adaptar o índice às características de cada bacia, mas exige escolhas tecnicamente justificadas e metodologicamente consistentes (CCME, 2017).

Requisitos obrigatórios (válidos para qualquer bacia — metodologia CCME)

Independentemente da bacia, alguns requisitos da metodologia canadense não podem ser alterados:

- **Diretriz legal de comparação:** Cada parâmetro deve ter um limite definido na legislação vigente para o enquadramento daquele corpo hídrico — pode ser a CONAMA 357/2005 em qualquer classe aplicável, ou a legislação estadual correspondente. Sem diretriz, o parâmetro não entra no cálculo.
- **Dados consistentes e suficientes:** Mínimo de 4 parâmetros e 4 campanhas; ideal de 8 a 20 parâmetros e 10 amostras por ano.
- **Manutenção do conjunto:** Mantenha os mesmos parâmetros e diretrizes em toda análise que se pretende comparar.
- **Evitar redundância:** Evite parâmetros muito correlacionados; acima de 20. Faça a segmentação em subíndices temáticos.

Orientações flexíveis de seleção (adaptáveis a cada bacia)

A escolha de quais parâmetros usar deve ser adaptada à realidade de cada bacia. Este manual propõe organizá-los em dois grupos: um genérico (Qualidade da Água) e um específico para bacias com suscetibilidade à erosão (Processos Erosivos). O uso de um ou dos dois grupos fica a critério do gestor.

Grupo Qualidade da Água

Composto por parâmetros diretamente relacionados à qualidade da água superficial para os usos preponderantes do enquadramento. As orientações de seleção são:

Quadro 3. Orientações de seleção de parâmetros para o Grupo Qualidade da Água

Orientação

- 1 Selecionar parâmetros com diretriz legal definida na legislação de enquadramento aplicável — principalmente a Resolução CONAMA nº 357/2005 (na classe do corpo hídrico) ou a legislação estadual correspondente. Sem diretriz, o parâmetro não pode ser avaliado.
- 2 Verificar quais parâmetros são efetivamente monitorados na bacia (órgão ambiental, ANA, comitê, laboratórios).
- 3 Usar os índices consolidados (IQA, IET, IVA) como referência orientativa — sem exigir que o parâmetro conste neles.
- 4 Consultar o Apêndice 2 do CCME WQI, escolhendo as colunas correspondentes aos estressores predominantes da bacia.
- 5 Priorizar parâmetros relevantes aos usos preponderantes e às pressões locais.

Fonte: Beleli, 2026.

Grupo Processos Erosivos (opcional)

Expansão metodológica do ICE, indicada para bacias com alta suscetibilidade à erosão, onde o carreamento de partículas do solo influencia a qualidade da água. Sua aplicação é opcional. É recomendado que seja feito um estudo de solo e sedimentos do corpo hídrico, que permita ao gestor escolher os parâmetros que melhor representam a realidade local (ver Apêndice A).

Quadro 4. Orientações de seleção de parâmetros para o Grupo Processos Erosivos**# Orientação**

- 1 Selecionar parâmetros com diretriz legal definida na legislação de enquadramento aplicável — principalmente a Resolução CONAMA nº 357/2005 (na classe do corpo hídrico) ou a legislação estadual correspondente. Sem diretriz, o parâmetro não pode ser avaliado.
- 2 Apresentar concentração relevante em solo/sedimento.
- 3 Ter potencial de carreamento ao corpo hídrico (associação a turbidez/sólidos, períodos chuvosos).
- 4 Representar risco ambiental/sanitário (toxicidade, bioacumulação, persistência).
- 5 Ser coerente com a pedologia e o uso do solo da bacia.

Fonte: Beleli, 2026.

Parâmetros e limites no estudo de caso (UGRHI 18 – São José dos Dourados)

A título ilustrativo, o Quadro 5 apresenta os parâmetros e limites adotados no estudo de caso da Seção 7. A seleção e a legislação de referência devem ser adaptadas à realidade de cada bacia.

Quadro 5. Parâmetros e limites usados em cada grupo no estudo de caso da UGRHI 18 (diretriz: CONAMA 357/2005, águas doces, Classe 2)

Grupo Qualidade da Água	Limite	Tipo
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L	máximo (>)
Turbidez	100 NTU	máximo (>)
DBO	5 mg/L	máximo (>)
Fósforo total	0,1 mg/L	máximo (>)
Nitrogênio amoniacal	3,7 mg/L	máximo (>)
Nitrato	10 mg/L	máximo (>)
Nitrito	1 mg/L	máximo (>)
Oxigênio dissolvido (OD)	5 mg/L	mínimo (<)
pH	6 a 9	faixa (<>)
<i>Escherichia coli</i>	600 NMP/100 mL	máximo (>)

Grupo Processos Erosivos	Limite	Tipo
Sólidos dissolvidos totais	500 mg/L	máximo (>)
Turbidez	100 NTU	máximo (>)
Fósforo total	0,1 mg/L	máximo (>)
Alumínio dissolvido	0,1 mg/L	máximo (>)
Bário total	0,7 mg/L	máximo (>)
Cádmio total	0,001 mg/L	máximo (>)
Chumbo total	0,01 mg/L	máximo (>)
Cobre dissolvido	0,009 mg/L	máximo (>)
Cromo total	0,05 mg/L	máximo (>)
Ferro dissolvido	0,3 mg/L	máximo (>)
Manganês total	0,1 mg/L	máximo (>)
Merúrio total	0,0002 mg/L	máximo (>)
Níquel total	0,025 mg/L	máximo (>)
Zinco total	0,18 mg/L	máximo (>)

Fonte: CONAMA 357/2005, águas doces Classe 2. CETESB. Nota: o limite de Nitrogênio amoniacal varia com o pH; adotou-se 3,7 mg/L ($\text{pH} \leq 7,5$).

Regras de consistência na seleção de parâmetros

- **Coerência das diretrizes:** todos os parâmetros de um grupo devem referenciar a mesma legislação e o mesmo uso da água.
- **Manutenção ao longo do tempo:** comparações temporais só são válidas com os mesmos parâmetros, diretrizes e pontos de monitoramento.
- **Comparabilidade entre pontos:** para comparar pontos, todos devem ser avaliados com o mesmo conjunto de parâmetros e diretrizes.
- **Documentação das escolhas:** registre por escrito quais parâmetros foram incluídos, excluídos e por quê.

5 Passo a passo: como aplicar o ICE na sua bacia

Esta seção apresenta o procedimento completo para calcular o ICE, da organização dos dados até o registro dos resultados. O cálculo pode ser feito por duas ferramentas complementares. O Quadro 6 as compara.

Quadro 6. Comparativo entre as duas ferramentas disponíveis para o cálculo do ICE

Aspecto	Calculadora CCME WQI 2.0	Planilha Excel adaptada
Idioma	Inglês	Português
Instalação	Windows + arquivo de dados (Excel/CSV)	Nenhuma (basta o Excel)
Cálculo	Automático	Etapas visíveis e transparentes
Valores < limite de detecção	Reconhecidos automaticamente (< ou L)	Inserir manualmente o valor do LD
Indicação	Muitos pontos / séries longas	Iniciantes / fins didáticos
Saída	Relatório exportável	Abas com F1, F2, F3 e resultado

Fonte: CCME WQI. Planilha adaptada ICE.

Antes de calcular: preparação dos dados

Esta etapa define a qualidade do resultado final e vale para qualquer ferramenta.

Defina o objetivo e período - Registre por escrito: o corpo hídrico e o(s) ponto(s) de monitoramento; o período de análise (data inicial e final); a classe de enquadramento do trecho e a legislação usada como diretriz; e o uso preponderante da água.

Selecione os parâmetros - Escolha de 8 a 20 parâmetros com medições que tenham pelo menos 4 amostras no período; limite definido na diretriz e relevância aos usos e pressões da bacia (Seção 4).

Identifique as diretrizes de referência - Para cada parâmetro, anote o limite e a regra de excedência:

Máximo (>): desconforme se o valor medido for maior que o limite (ex.: fósforo, DBO, turbidez, coliformes).

Mínimo (<): desconforme se o valor for menor que o limite (ex.: oxigênio dissolvido).

Faixa (<>): desconforme se o valor estiver fora da faixa (ex.: pH entre 6 e 9).

Trate os dados especiais - Valores abaixo do limite de detecção: o software CCME WQI 2.0 reconhece os símbolos '<' ou 'L' automaticamente; na planilha Excel, insira manualmente o próprio valor do limite de detecção. Lacunas na série: não preencha com estimativas — mantenha a lacuna e documente o motivo.

Cálculo do ICE com a planilha Excel adaptada

A planilha está em português, não exige instalação e mostra cada etapa do cálculo. O preenchimento é manual: você insere os dados e identifica as não conformidades; o Excel já possui as fórmulas. Esta etapa exige conhecimento básico em Excel.

Aba “Fórmula ICE” — leia primeiro. Apresenta a fórmula e as etapas do cálculo (F1, F2, as três subetapas de F3 e a combinação final pelo Teorema de Pitágoras). É uma aba de consulta.

Aba “Dados Analíticos” — conheça os símbolos (>, <, <>), veja o exemplo preenchido e consulte a tabela de categorias. É uma aba de consulta.

Aba “Folha Inicial” — cadastre os parâmetros escolhidos, suas diretrizes (limites) e a regra de excedência (campo Exceder_Se).

Aba “Inserir Dados” — confirme/organize o conjunto de parâmetros e diretrizes que será aplicado aos pontos. Aqui, marque em vermelho as não conformidades observadas, atenção nesta etapa!

Abas “Folha Ponto 1”, “Folha Ponto 2”... — insira as medições de cada campanha, por data, para cada ponto. Conte os parâmetros que falharam e o número de testes fora do limite. Use uma aba por ponto.

Aba “Resultados” — leia o resultado consolidado por ponto: F1, F2, F3, o valor final do ICE e a categoria.

Atenção: a planilha é de preenchimento manual. A quantidade de parâmetros e o número de abas de cálculo por ponto variam conforme os dados — basta acrescentar uma “Folha Ponto” para cada estação avaliada.

Para mais informações:
Ver Manual do ICE

Parâmetros:

Diretriz:

Estação/Ponto:

Escolha parâmetros com amostras suficientes e limites definidos na diretriz selecionada. Recomenda-se utilizar entre 8 e 20 parâmetros e coletar cerca de 10 amostras anuais para rios e córregos, garantindo representatividade temporal adequada.

Escolha diretrizes relevantes e específicas para o local, considerando características naturais e usos da água.

A estação ou ponto de amostragem deve ser escolhido conforme o objetivo do monitoramento e uso da água. O número de estações/pontos e amostras devem ser suficientes para obter resultados confiáveis.

Símbolos

Exceder_Se: Significa que o parâmetro vai exceder se for maior ou ficar abaixo da diretriz conforme símbolo.

>

<

<>

maior

menor

entre

Exemplo:

Diretriz

CONAMA 357/05 Águas doces classe II

1/10/2023

4/11/2023

7/11/2023

10/17/2023

1/12/2023

5/9/2023

7/13/2023

11/9/2023

SDT

turbidez

DBO

fósforo total

N amoniacal

nitrito

nitrito

OD

pH

E. coli

>

>

>

>

>

>

>

<

<>

>

500

100

5

0.1

2

10

1

5

6, 9

600

152

140

11.3

0.2

0.5

0.3

0.04

4.1

6.9

3100

108

37

3.0

0.2

1.0

0.7

0.06

5.0

7.2

296

128

28

3.0

0.2

0.6

1.0

0.08

5.1

7.2

27

129

36

3.0

0.2

1.0

1.2

0.23

3.7

7.2

1440

144

108

10.9

0.2

0.5

0.4

0.02

6.3

7.1

1940

108.0

25

3.2

0.1

0.1

0.6

0.02

7.5

7.5

625

114

17

1.9

0.1

0.5

0.9

0.01

8.0

6.6

352

100

39

5.7

0.5

0.5

0.5

0.05

6.5

7.6

900

Exemplo: SDT (sólido dissolvido total, excede a diretriz se for maior que 500 mg/L conforme a CONAMA 357/05 para águas doces classe II)

Após cálculo ICE

Estação/Ponto 1/2/3...

Categoria

Valor ICE

Condição do corpo hídrico

Excelente

$95 \leq \text{ICE} \leq 100$

A qualidade da água está protegida, com ausência praticamente total de ameaças ou degradação; condições muito próximas aos níveis naturais ou intoxicados

Boa

$80 \leq \text{ICE} < 95$

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

Razoável

$65 \leq \text{ICE} < 80$

A qualidade da água geralmente está protegida, mas ocasionalmente é ameaçada ou degradada; as condições às vezes se afastam dos níveis naturais ou desejáveis

Regular

$45 \leq \text{ICE} < 65$

A qualidade da água é frequentemente ameaçada ou degradada; as condições frequentemente se afastam dos níveis naturais ou desejáveis

Ruim

$0 \leq \text{ICE} < 45$

A qualidade da água é quase sempre ameaçada ou degradada; as condições geralmente se afastam dos níveis naturais ou desejáveis

Figura 2 — Planilha ICE-Excel: cadastro dos parâmetros, diretrizes e regra de excedência, com a tabela de categorias.

Fonte: Beleli (2026).

Insira nesta planilha os parâmetros selecionados, seus valores-limite conform					
Cálculo do ICE para Estação/Pi					
	Parâmetros	SDT	turbidez	DBO	fósforo total
Diretriz	CONAMA 357/05 - Águas doces classe II	500	100	5	0.1
	Exceder_Se	>	>	>	>
Estação/Ponto 1	6/14/2023				
	6/15/2023				
	6/16/2023				
	6/17/2023				
Cálculo do ICE para Estação/Pi					
	Parâmetros	SDT	turbidez	DBO	fósforo total
Diretriz	CONAMA 357/05 - Águas doces classe II	500	100	5	0.1
	Exceder_Se	>	>	>	>
Estação/Ponto 2	6/14/2023				
	6/15/2023				
	6/16/2023				
	6/17/2023				

Figura 3 — Planilha ICE-Excel: entrada das medições e cálculo por ponto de monitoramento.

Fonte: Beleli (2026).

Cálculo do ICE com a Calculadora CCME WQI 2.0

O CCME WQI 2.0 é um software gratuito, em inglês, autônomo (não usa macro do Excel), indicado para muitos pontos ou séries longas. Requisitos: Windows 32 ou 64 bits e um arquivo de dados de qualidade da água em Excel ou CSV. Download e instalação detalhada no Apêndice B.

Monte as duas planilhas – Data e Guidelines (Excel ou CSV). Na planilha de dados, organize as medições por data, uma coluna por parâmetro. Na planilha de diretrizes, informe o limite de cada parâmetro e se ele é máximo, mínimo ou faixa. Dois cuidados ao preparar os arquivos: os nomes dos parâmetros devem ser idênticos nas duas planilhas (é por eles que o programa faz a correspondência) e os valores abaixo do limite de detecção devem ser marcados com "<" ou "L" (reconhecidos automaticamente; se o limite de detecção for maior que a diretriz, use-o como diretriz). Alternativamente, é possível usar as diretrizes CCME padrão já embutidas no programa.

Abra o programa e importe a planilha de dados (data).

Importe a planilha de diretrizes (guidelines).

Confira a correspondência (match) entre as planilhas. O programa associa automaticamente cada parâmetro da planilha de dados à sua diretriz, pelo nome. Verifique se todos os parâmetros foram corretamente correspondidos antes de prosseguir.

Execute o cálculo. O software retorna F1, F2, F3, o valor do CCME WQI (ICE) e a categoria correspondente.

(Opcional) Intervalos de confiança. O programa também permite calcular intervalos de confiança, recurso que exige a instalação do programa estatístico R (versão 3 ou superior). É opcional; para detalhes, consulte o manual do usuário do CCME WQI.

Exporte o relatório para registrar e comunicar os resultados.

As duas ferramentas usam a mesma metodologia e produzem o mesmo resultado. A escolha depende da sua familiaridade com recursos computacionais e do volume de dados.

Observação: formato numérico (separador decimal). A Calculadora CCME WQI 2.0 espera os números no formato norte-americano, com ponto (.) como separador decimal. No Windows/Excel em português do Brasil, o padrão é vírgula (,) para decimais e ponto e vírgula (;) como separador de listas — formato que o programa não reconhece, o que pode gerar erros ou resultados inesperados na importação. Antes de importar os dados, ajuste o separador decimal para ponto: altere temporariamente as configurações regionais do Windows (Painel de Controle → Região) para um formato que use ponto como decimal, ou salve o arquivo CSV/Excel já com os números nesse formato. Conferir esse detalhe logo no início evita boa parte da confusão no primeiro uso.

Erros comuns e como evitá-los

Quadro 7. Erros comuns na aplicação do ICE e orientações para evitá-los

Erro	Como evitar
Misturar diretrizes de classes/usos diferentes	Usar uma legislação, classe e uso da água
Incluir parâmetro sem diretriz legal	Só incluir parâmetros com limite definido
Alterar o conjunto de parâmetros entre períodos/pontos	Manter o mesmo conjunto e diretrizes
Usar menos de 4 parâmetros / 4 campanhas	Respeitar o mínimo; ideal 8–20 e ~10 amostras/ano, conforme orientações do Manual CCME WQI (2017)
Usar mais de 20 parâmetros sem segmentar	Dividir em subíndices temáticos
Incluir parâmetros muito correlacionados	Evitar redundância entre variáveis
Preencher lacunas com estimativas	Manter a lacuna e documentar o motivo
Tratar < LD incorretamente	Usar o valor do LD; se LD > diretriz, usar LD como diretriz
Não validar o resultado	Conferir parâmetros dominantes e comparar com avaliações anteriores

Fonte: CCME WQI.

6

Interpretação dos resultados e apoio à tomada de decisão

Calcular o ICE é apenas parte do trabalho; a parte mais importante é saber o que fazer com o resultado. Esta seção apresenta como interpretar F1, F2, F3 e o ICE final, identificar tendências e orientar decisões.

Antes do ICE final: leia F1, F2 e F3 separadamente

F1 elevado indica que a desconformidade é ampla, muitos parâmetros falharam ao menos uma vez. A identificação de quais parâmetros falharam é o primeiro passo para compreender as origens do problema.

F2 elevado indica que as violações são frequentes, ocorrendo em grande parte das medições.

F3 elevado indica que as violações são intensas, os valores se afastam consideravelmente dos limites. A análise dos parâmetros com maiores variações é essencial para orientar ações prioritárias.

A análise combinada dos três fatores oferece um diagnóstico mais rico do que o ICE final isolado. Um ICE Razoável com F1 baixo, F2 baixo e F3 alto (poucos parâmetros falham raramente, mas com grande intensidade) é muito diferente de um ICE Razoável com F1 alto, F2 alto e F3 baixo (muitos parâmetros falham com frequência, mas de forma discreta).

Interpretação do ICE final: o que significa cada categoria

Excelente ($95 \leq \text{ICE} \leq 100$). A qualidade da água está protegida, com ausência praticamente total de ameaça; condições próximas do estado natural. Quase todas as medições atendem às diretrizes.

***Orientação de gestão:** manter o monitoramento de rotina e as boas práticas que sustentam essa condição. O foco é a preservação.*

Boa ($80 \leq \text{ICE} < 95$). A qualidade da água está protegida, com apenas um grau mínimo de ameaça; desvios raros e de pequena magnitude.

***Orientação de gestão:** manter a vigilância, acompanhar parâmetros que se aproximem dos limites e atuar de forma preventiva.*

Razoável ($65 \leq \text{ICE} < 80$). A qualidade da água geralmente está protegida, mas é ocasionalmente ameaçada; condições às vezes se afastam dos níveis desejáveis.

***Orientação de gestão:** identificar, pela leitura desagregada de F1, F2 e F3, os parâmetros responsáveis pelos desvios recorrentes e planejar ações corretivas.*

Regular ($45 \leq \text{ICE} < 65$). A qualidade da água é frequentemente ameaçada ou degradada; as condições com frequência se afastam dos limites legais.

***Orientação de gestão:** priorizar ações de controle, investigar as fontes de pressão (pontuais e difusas) e estabelecer metas de recuperação.*

Ruim ($0 \leq \text{ICE} < 45$). A qualidade da água é quase sempre ameaçada ou degradada; a desconformidade é generalizada.

***Orientação de gestão:** exige intervenção estruturante e prioritária, com identificação das fontes, articulação entre atores da bacia e medidas de recuperação de médio e longo prazo.*

A limitação do F1. A categoria final nunca substitui a análise desagregada. Conforme alerta o próprio CCME, quando de 10% a 30% dos parâmetros excedem sistematicamente as diretrizes,

o fator F1 pode “dominar” o índice e subestimar a qualidade real: um único parâmetro falhando levemente dez vezes resulta em $ICE \approx 90$, enquanto dez parâmetros falhando levemente uma vez cada, derrubam o ICE para ≈ 42 . Por isso, a leitura conjunta de F1, F2 e F3 e o julgamento técnico são indispensáveis.

Acompanhamento da evolução do ICE ao longo do tempo

Uma das maiores potencialidades do ICE está no uso continuado. Um resultado pontual diagnostica a situação atual, mas é a série histórica, calculada para períodos sucessivos com os mesmos parâmetros e diretrizes, que permite avaliar se a qualidade está melhorando, piorando ou estável. O CCME recomenda o cálculo para períodos de pelo menos um ano, sendo o triênio o intervalo ideal para tendências (CCME, 2017).

Comunicação dos resultados do ICE

O ICE foi projetado para ser um instrumento de comunicação tanto quanto de avaliação. Ao apresentar os resultados, recomenda-se sempre:

Informar o período de análise, o ponto avaliado e o conjunto de parâmetros utilizados.

Apresentar os valores de F1, F2 e F3 para compreensão ampla do resultado.

Indicar, quando pertinente, quais parâmetros responderam pelas principais desconformidades.

Quando houver série histórica, apresentar a evolução temporal em gráfico.

Evitar afirmações categóricas sobre causas, o ICE indica o grau de conformidade, não as razões das desconformidades.

7

Estudo de caso: aplicação do ICE na bacia do rio São José dos Dourados

A bacia e os pontos avaliados

O ICE foi aplicado na bacia do rio São José dos Dourados (UGRHI 18), no noroeste do Estado de São Paulo, uma bacia com vocação predominantemente agropecuária, com solos do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo (naturalmente ricos em ferro e alumínio e de elevada erodibilidade) e que passou, nas últimas décadas, por expressiva substituição de pastagens por cana-de-açúcar (Rossi; Nalon; Kanashiro, 2022). Dois pontos de monitoramento da rede da CETESB/ANA foram avaliados:

SJDO 02150: Alto São José dos Dourados, em Monte Aprazível. Série de 2013 a 2023.

SJDO 02500: Ribeirão do Marimbondo, em General Salgado. Série de 2012 a 2023.

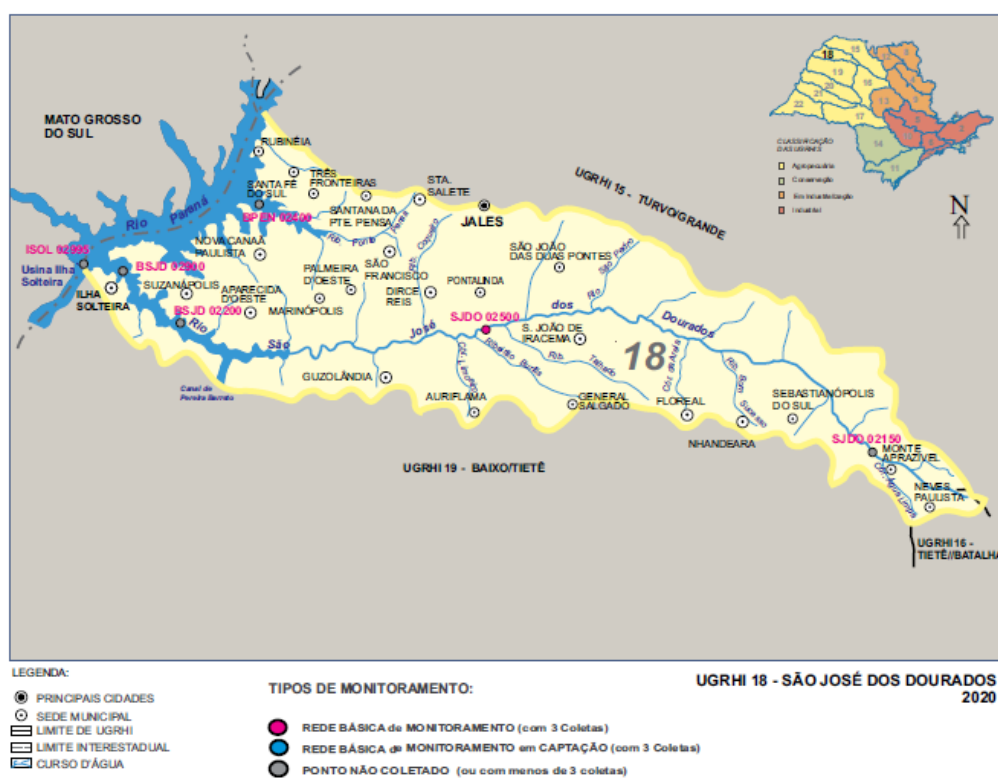


Figura 4 — A bacia do rio São José dos Dourados (UGRHI 18) e os pontos de monitoramento.

Fonte: Beleli (2026).

Como o ICE foi aplicado

Seguindo as orientações deste manual, os parâmetros foram organizados em dois grupos, ambos tendo como diretriz a Resolução CONAMA nº 357/2005 (águas doces, Classe 2): o Grupo Qualidade da Água (10 parâmetros) e o Grupo Processos Erosivos (14 parâmetros), este último selecionado a partir do estudo de solo e sedimentos do Córrego da Ponte Pensa. O índice foi calculado em duas escalas temporais — anual e trienal — usando a Calculadora CCME WQI 2.0 e a planilha Excel adaptada.

Resultados — SJDO 02150

Grupo Qualidade da Água: classificação predominantemente Razoável, com três anos em Regular (2013 = 61,7; 2017 = 56,8; 2023 = 64,5). Na escala trienal, três períodos ficaram em Razoável (66,6; 70,8; 65,1) e um em Regular (64,2). O fósforo total foi o parâmetro com maior frequência de não conformidade (próxima de 100% na maioria dos anos), seguido do oxigênio dissolvido. Esse padrão indica onde o gestor deve concentrar a investigação. A desconformidade pode estar associada a fontes pontuais ou difusas, mas a identificação da origem exige estudos complementares: o ICE sinaliza o problema, não a sua causa.

Grupo Processos Erosivos: predominantemente Razoável, com dois anos em Boa (2018 = 81,3; 2019 = 81,0) e todos os triênios em Razoável (76,4; 69,9; 76,4; 71,5). Os parâmetros críticos foram fósforo total e ferro dissolvido (~100%), além de manganês e alumínio. Esses resultados são compatíveis, de forma orientativa, com a suscetibilidade erosiva e as características pedológicas da bacia, sem que isso configure, por si só, a identificação de uma fonte específica.

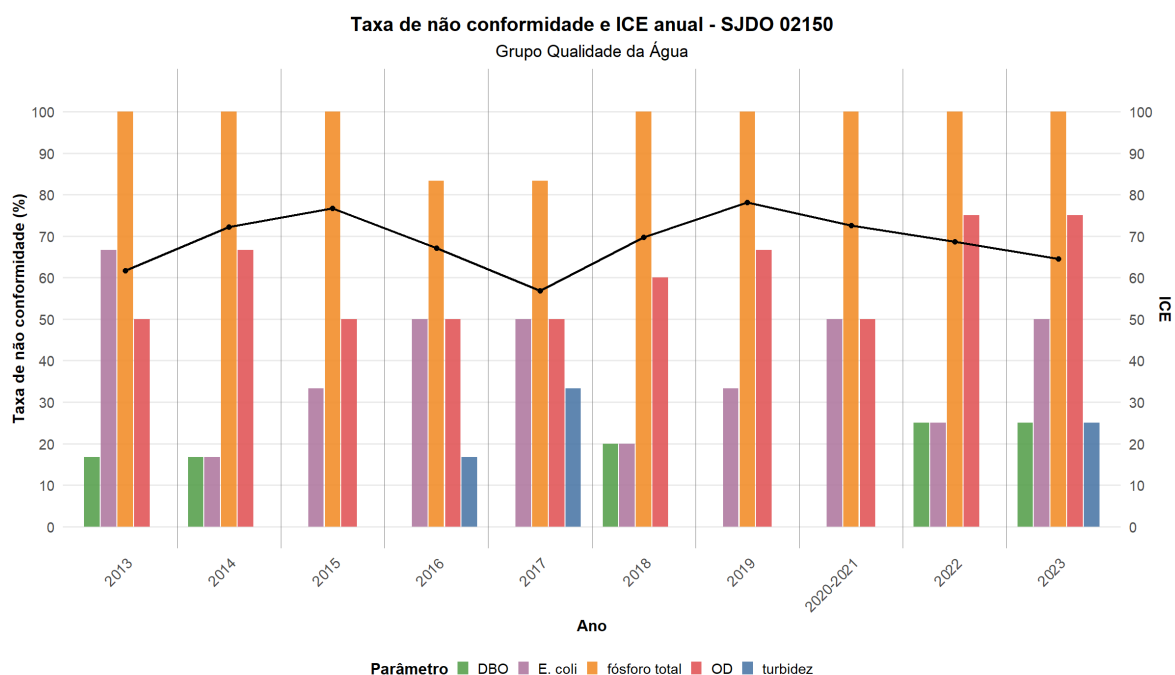


Figura 5 — Taxa de não conformidade por parâmetro — SJDO 02150, Grupo Qualidade da Água.

Fonte: Beleli (2026).

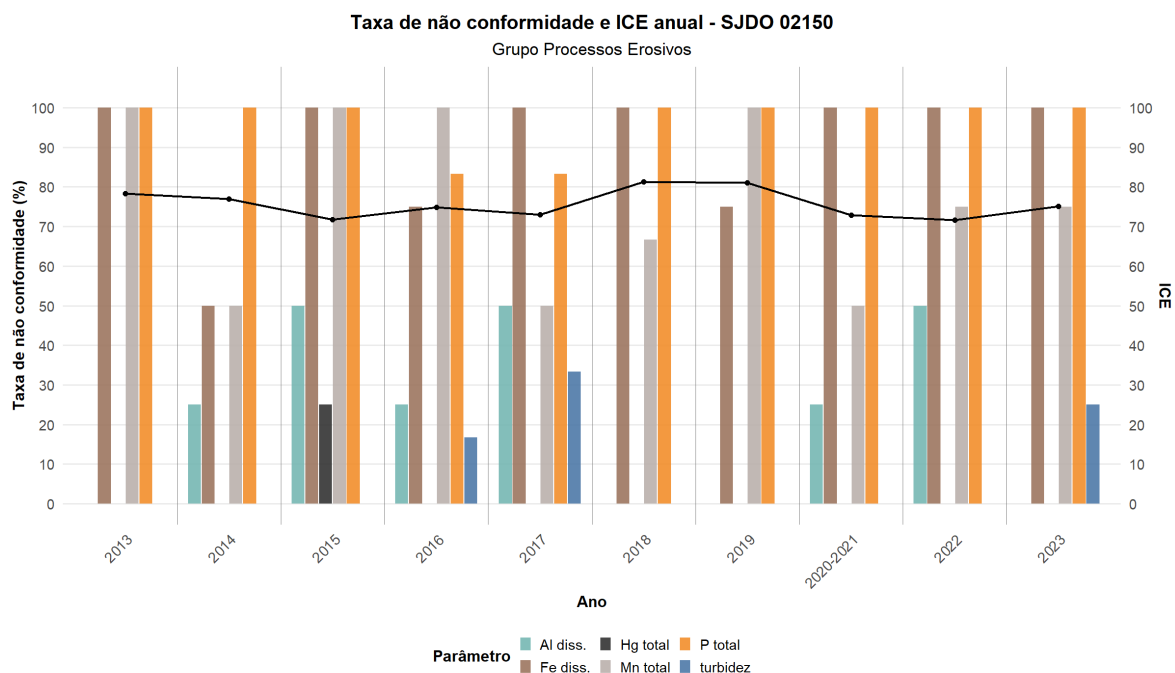


Figura 6 — Taxa de não conformidade por parâmetro — SJDO 02150, Grupo Processos Erosivos.

Fonte: Beleli (2026).

Resultados — SJDO 02500

Grupo Qualidade da Água: desempenho superior ao do SJDO 02150, predominantemente Boa, com o melhor ano em 2017 (93,4 — próximo de Excelente). Na escala trienal, os dois primeiros períodos ficaram em Boa (82,3; 82,1) e os dois últimos recuaram para Razoável (72,5; 75,1), revelando tendência de declínio nos anos recentes. Os parâmetros críticos foram o fósforo total (de 16,7% a 57,1%, em alta) e a *Escherichia coli*.

Grupo Processos Erosivos: alternância entre Boa e Razoável, sem nenhum ano em Regular; melhores anos em 2013 (89,9) e 2022 (89,8). Todos os triênios em Razoável (77,4; 77,7; 74,0; 76,5). O ferro dissolvido foi o parâmetro crítico (100% de não conformidade em quase todos os anos), seguido do alumínio dissolvido, comportamento compatível com a pedologia da bacia. Ainda assim, a confirmação de causas e fontes requer investigação local.

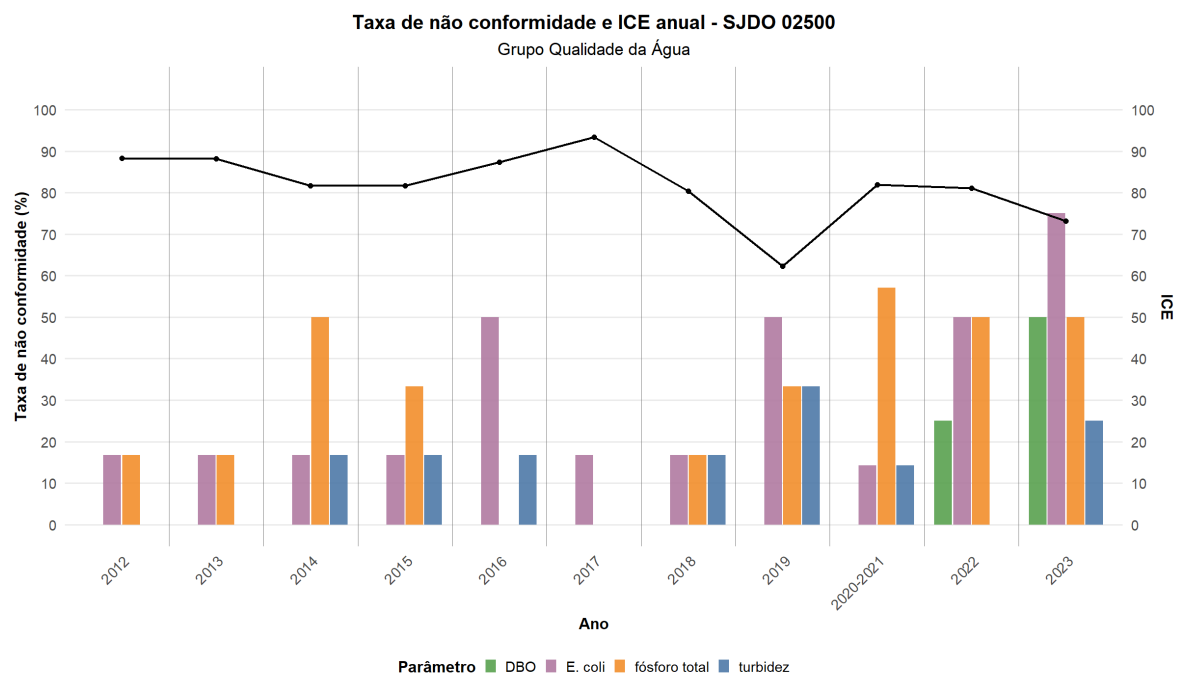


Figura 7 — Taxa de não conformidade por parâmetro — SJDO 02500, Grupo Qualidade da Água.

Fonte: Beleli (2026).

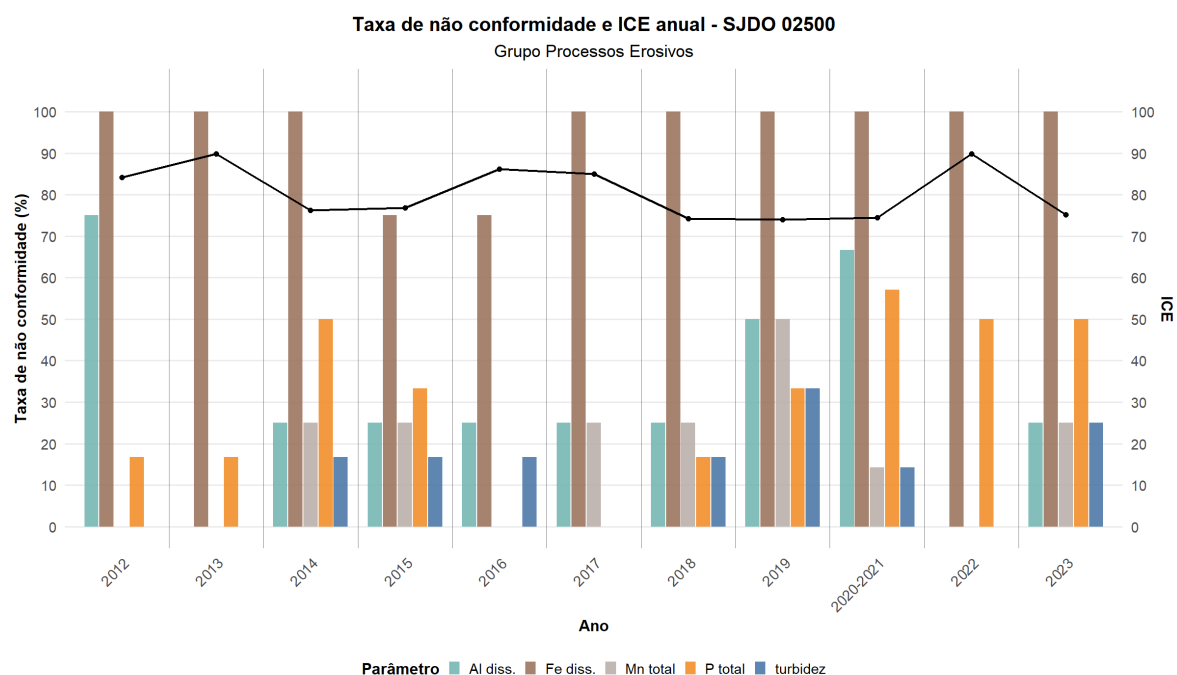


Figura 8 — Taxa de não conformidade por parâmetro — SJDO 02500, Grupo Processos Erosivos.

Fonte: Beleli (2026).

O que o ICE revelou além dos índices convencionais

A comparação com os índices da CETESB mostrou o valor agregado do ICE. No ponto SJDO 02150, o IQA classificou a água como “Boa” em todos os anos (valores de 53 a 61), inclusive nos anos em que o ICE indicou categoria Regular. No ponto SJDO 02500, o ICE captou uma deterioração nos anos de 2019 e 2023 que o IQA não conseguiu registrar. Por

medir a conformidade diretamente contra as metas legais do enquadramento, o ICE sinalizou problemas que os índices de qualidade geral não evidenciam.

Orientações para o gestor

O estudo de caso demonstrou, na prática, três pontos centrais deste manual: (1) a leitura desagregada de F1, F2 e F3 e dos parâmetros críticos é o que transforma o índice em diagnóstico, aqui, o fósforo e o ferro/alumínio podem sugerir pressões de naturezas distintas (por exemplo, esgoto e erosão) ou características naturais dos solos, o que orienta a investigação, sem que o índice, isoladamente, comprove a origem; (2) a série temporal revelou tendências (como o declínio recente no SJDO 02500) invisíveis em uma medição isolada; e (3) o uso de dois grupos de parâmetros ajudou a distinguir indícios de pressões por esgoto doméstico e por processos erosivos, apoiando o gestor na priorização de estudos e ações para cada caso.

Apêndice A — Como incorporar processos erosivos ao ICE

Este apêndice descreve, de forma replicável, como o Grupo Processos Erosivos foi construído no estudo de caso, um caminho que pode orientar gestores de outras bacias com suscetibilidade à erosão. É um procedimento recomendado, não obrigatório, que serve para que o gestor escolha parâmetros que representem a realidade da sua bacia.

Passo 1 — Estudo de solo e sedimentos. No estudo de caso, foram coletadas amostras de solo e de sedimentos fluviais em suspensão ao longo de dois anos. As amostras foram secas em estufa a 40 °C, destorroadas e peneiradas a 63 μm , e sua composição elementar foi determinada por fluorescência de raios X (XRF). Vinte e nove elementos foram analisados.

Passo 2 — Comparação orientativa com legislações. Os resultados foram comparados, apenas como referência (sem finalidade de enquadramento legal), com diferentes normas — CONAMA nº 357/2005, CONAMA nº 420/2009, Decisões de Diretoria CETESB nº 195/2005 e nº 125/2021, e Portaria GM/MS nº 888/2021 — para identificar elementos que mereciam atenção.

Passo 3 — Visualização por boxplots. Para cada elemento, gráficos de caixa resumiram a distribuição dos valores em solo e sedimento (mediana, dispersão e amplitude), facilitando a identificação dos elementos com maior acúmulo ou variabilidade.

Passo 4 — Confirmação em água bruta. Elementos de interesse foram verificados em análises de água bruta, coletada em dois períodos contrastantes (estiagem e chuvoso), por laboratório credenciado, tendo como referência a CONAMA nº 357/2005 (Classe 2).

Passo 5 — Seleção final dos parâmetros. Com o agrupamento das evidências (concentração relevante, potencial de carreamento, risco ambiental/sanitário e disponibilidade de diretriz legal na água), chegou-se aos 14 parâmetros do Grupo Processos Erosivos (Quadro 5). Em outra bacia, o conjunto deve ser revisto conforme a pedologia, o uso e ocupação do solo e os dados disponíveis localmente.

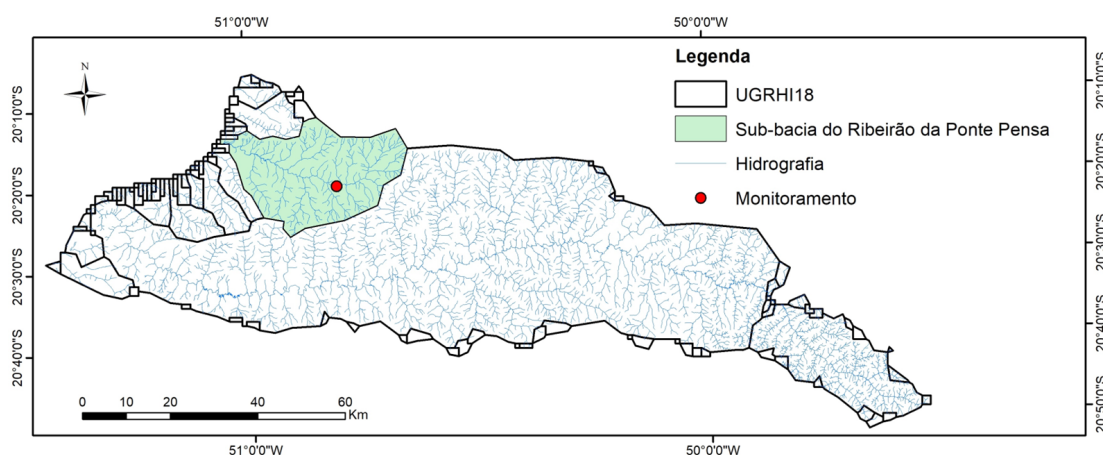


Figura 9 — Sub-bacia do Ribeirão da Ponte Pensa — área de referência do estudo de solo e sedimentos.

Fonte: Beleli (2026).

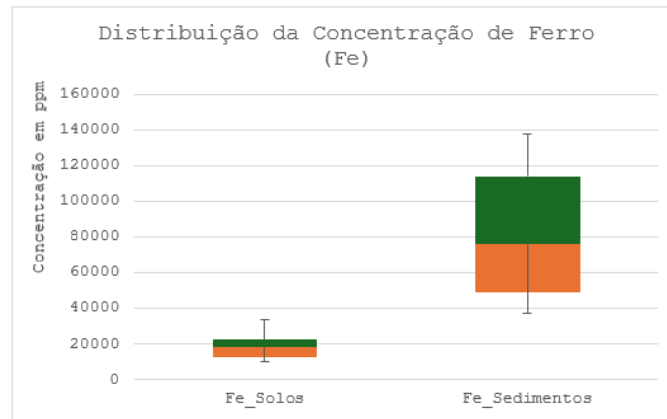


Figura 10 — Exemplo de boxplot: concentração de ferro em solo e sedimento.

Fonte: Beleli (2026).

Apêndice B — Como baixar e instalar a Calculadora CCME WQI 2.0

- **O que é:** Aplicativo gratuito e autônomo (Windows 32/64 bits) que calcula o ICE a partir de dados de qualidade da água. Desenvolvido pelo Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME).
- **Onde baixar:** Na página de recursos de qualidade da água do CCME: <https://ccme.ca/en/resources/water-quality> (em caso de link indisponível, pesquise por “CCME Water Quality Index calculator”).
- **Requisitos:** Windows 32 ou 64 bits e um arquivo de dados de qualidade da água em Excel ou CSV, formatado conforme o manual do programa. As diretrizes podem ser importadas, criadas no próprio aplicativo ou usadas a partir do conjunto-padrão CCME.
- **Instalação:** Baixe o instalador, execute-o e siga as telas até concluir. O programa não depende de macros do Excel.
- **Recurso opcional (intervalos de confiança):** O software também permite calcular intervalos de confiança do ICE, recurso que exige a instalação do programa estatístico R (versão 3 ou superior). Trata-se de um recurso opcional; para detalhes, consulte o manual do usuário do CCME WQI.

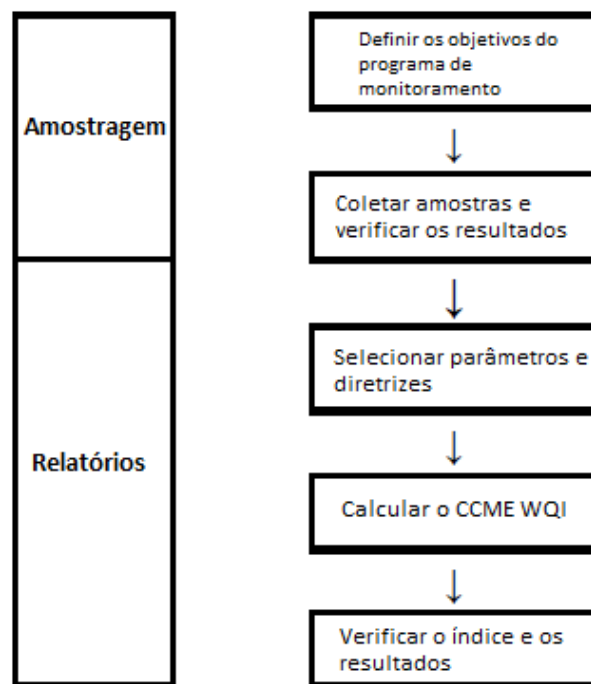


Figura 11 — Processo de utilização da Calculadora CCME WQI 2.0.

Fonte: adaptado de CCME (2017).

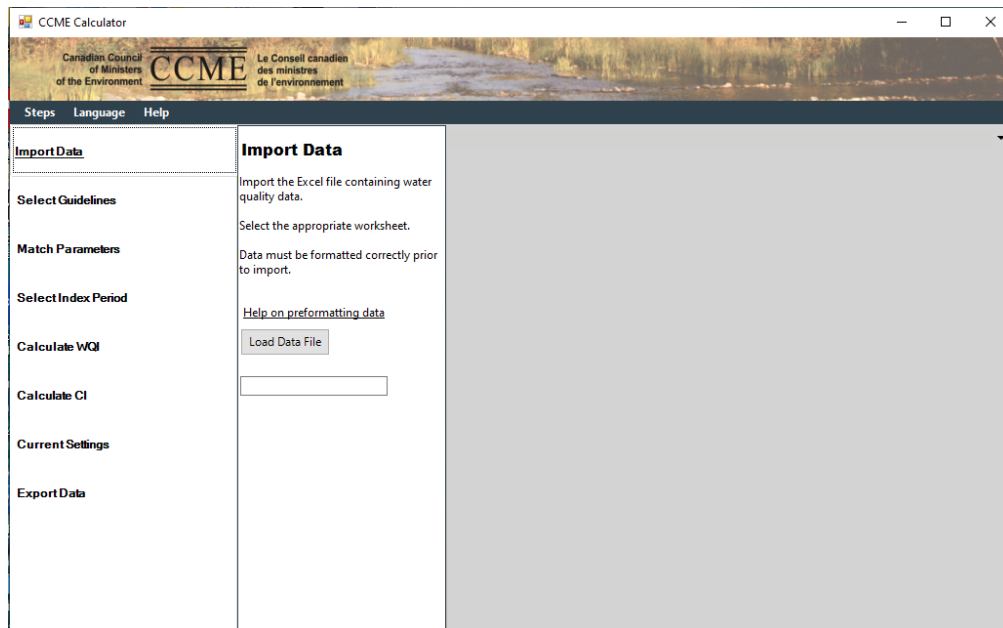


Figura 12 — Interface visual da Calculadora CCME WQI 2.0 (importação de dados).

Fonte: CCME WQI.

Apêndice C — Planilha Excel adaptada: download e vídeo de apoio

A planilha Índice de Conformidade ao Enquadramento Excel foi desenvolvida especificamente para este manual: está em português, não requer instalação além do Excel e mostra cada etapa do cálculo. Sua estrutura (7 abas) está descrita no Quadro 8, e o passo a passo de preenchimento, na Seção 5.2.

Quadro 8. Estrutura das abas da planilha Excel adaptada

Aba	Função
Fórmula ICE	Apresenta a fórmula do ICE e as etapas de cálculo
Dados Analíticos	Define símbolos, parâmetros, diretrizes e estações/pontos (com exemplo)
Folha Inicial	Cadastro dos parâmetros, diretrizes (limites) e regra de excedência (>, <, <>)
Inserir Dados	Identificação/entrada dos parâmetros e diretrizes para o cálculo
Folha Ponto 1	Aplicação do cálculo no ponto de monitoramento 1 (dados por data)
Folha Ponto 2	Aplicação do cálculo no ponto de monitoramento 2
Resultados	F1, F2, F3, ICE e categoria de cada ponto

Fonte: CCME WQI adaptado para Excel.

Download da planilha: <https://doi.org/10.5281/zenodo.20709590> (DOI: 10.5281/zenodo.20709590)

Vídeo de apoio (como preencher a planilha): <https://youtu.be/1cE05Eg5szc>



Iolanda Alves Roque da Fonseca Beleli

Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos



Figura 13 — Capa do vídeo tutorial disponível no YouTube.

Disponível em: <https://youtu.be/1cE05Eg5szc>

Recomenda-se assistir ao vídeo antes do primeiro preenchimento e manter uma cópia da planilha como modelo.

Apêndice D — Glossário de termos técnicos

Enquadramento — instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9433/1997) que define metas de qualidade (classes) para um corpo d'água, segundo seus usos preponderantes.

Classe de enquadramento — categoria de qualidade (da Especial à Classe 4, na CONAMA 357/2005) à qual estão associados limites legais de parâmetros.

Corpo hídrico — rio, córrego, lago ou reservatório objeto da avaliação.

Diretriz (limite legal) — valor de referência de um parâmetro, definido em legislação, contra o qual se avalia a conformidade.

ICE — Índice de Conformidade ao Enquadramento; mede o grau de conformidade da água às metas do enquadramento.

CCME WQI — Índice canadense (Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index) que deu origem ao ICE.

F1 (Abrangência) — percentual de parâmetros que falharam ao menos uma vez.

F2 (Frequência) — percentual de medições que falharam.

F3 (Amplitude) — magnitude com que os valores ultrapassaram os limites.

Variação — número de vezes que um valor medido ultrapassa (ou fica abaixo) da diretriz.

SNV (Soma Normalizada das Variações) — soma das variações dividida pelo número total de testes.

Parâmetro — variável de qualidade da água medida (ex.: fósforo, OD, turbidez).

Campanha amostral — cada evento de coleta/medição em um ponto.

Conformidade / não conformidade — atendimento (ou não) de um valor medido à diretriz legal.

Limite de detecção (LD) — menor valor que o método analítico consegue quantificar.

Série histórica — conjunto de medições ao longo do tempo.

Análise trienal — cálculo do ICE para períodos de três anos, recomendado para tendências.

UGRHI — Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (divisão de gestão no estado de São Paulo).

Ambiente lótico — água corrente (rios e córregos).

Ambiente lêntico — água parada ou de fluxo reduzido (lagos e reservatórios).

Processos erosivos — desgaste e transporte de partículas do solo para os corpos d'água.

Carreamento — arraste de partículas e elementos do solo para a água, intensificado em períodos chuvosos.

Sedimento — material particulado depositado no fundo do corpo hídrico.

IQA / IET / IVA — índices da CETESB (qualidade água, estado trófico e proteção da vida aquática).

Eutrofização — enriquecimento por nutrientes (especialmente fósforo) que favorece a proliferação de algas.

Referências bibliográficas

- AMARO, C. A. Proposta de um índice para avaliação de conformidade da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento. 2009. 224 p. Dissertação (Mestrado) — Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- 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.
- BELELI, I. A. R. F. Utilização do Índice de Conformidade ao Enquadramento no rio São José dos Dourados. 2026. 151 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, 2026.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997.
- BRASIL. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2021.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Critérios e valores orientadores de qualidade do solo. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2009.
- 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. Canada, 2017. 23 p.
- 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. Acesso em: 16 jul. 2025.
- CETESB. Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo. Série Relatórios. São Paulo: CETESB, 2023. 316 p.
- 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.
- 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.

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