

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DO APLICATIVO "CALCULEADORA" COMO SUPORTE PARA CÁLCULOS DOS INDICADORES AMBIENTAIS IQA, IQAR E IET

Antonio dos Santos Filho – antonio.santosfilho@discente.univasf.edu.br
Bolsista Grupo PET Saneamento Ambiental, UNIVASF, Juazeiro-BA
Andréa Carvalho Pires – andrea.pires@discente.univasf.edu.br
Bolsista Grupo PET Saneamento Ambiental, UNIVASF, Juazeiro-BA
Miriam Cleide Cavalcante de Amorim – miriam.cleide@univasf.edu.br
Tutora grupo PET Saneamento Ambiental, UNIVASF Juazeiro-BA

***Resumo*—**Este artigo apresenta o desenvolvimento e a validação do aplicativo móvel CalcuLEAdora, projetado para auxiliar no cálculo automatizado de três indicadores amplamente utilizados na análise ambiental: Índice de Qualidade da Água (IQA), Índice de Qualidade do Ar (IQAR) e Índice de Estado Trófico (IET). O aplicativo foi desenvolvido com a linguagem Dart utilizando o framework Flutter, adotando práticas da engenharia de software, incluindo levantamento de requisitos, prototipação, implementação e testes iterativos. O estudo seguiu uma abordagem metodológica em três etapas: definição e estruturação dos conteúdos técnico-científicos, desenvolvimento da aplicação com foco na usabilidade e validação do conteúdo por especialistas das áreas de meio ambiente e tecnologia da informação. A avaliação da consistência e pertinência dos conteúdos foi realizada por meio do Índice de Validade de Conteúdo (IVC), alcançando valores superiores a 0,90, o que indica forte concordância entre os avaliadores. Os resultados demonstram que o CalcuLEAdora é uma ferramenta eficaz, acessível e de fácil utilização para estudantes, docentes, pesquisadores e profissionais envolvidos com a gestão e monitoramento ambiental. A interface amigável permite a inserção rápida de dados e gera interpretações automáticas baseadas em normativas técnicas, promovendo maior precisão e padronização na análise da qualidade da água. O aplicativo se destaca como uma tecnologia de apoio à sustentabilidade e à democratização da informação ambiental.
***Palavras chave*—** Engenharia de software, Indicadores ambientais, IVC, Saneamento Ambiental.

***Abstract*—**This paper presents the development and validation of the mobile application *CalcuLEAdora*, designed to assist in the automated calculation of three widely used indicators in environmental analysis: Water Quality Index (WQI), Air Quality Index (AQI), and Trophic State Index (TSI). The application was developed in the Dart programming language using the Flutter framework, following software engineering practices such as requirements gathering, prototyping, implementation, and iterative testing. The study followed a three-step methodological approach: definition and structuring of technical-scientific content, application development with a focus on usability, and content validation by experts in the fields of environmental science and information technology. The evaluation of content consistency and relevance was carried out using the Content Validity Index (CVI), achieving values above 0.90, which indicates strong agreement among evaluators. The results demonstrate that *CalcuLEAdora* is an effective, accessible, and user-friendly tool for students, teachers, researchers, and professionals involved in environmental management and monitoring. Its user-friendly interface allows quick data entry and generates automatic interpretations based on technical standards, promoting greater accuracy and standardization in water quality analysis. The application stands out as a supporting technology for sustainability and the democratization of environmental information.
***Keywords*—** Environmental indicators, Environmental sanitation, Software engineering, IVC.



1 INTRODUÇÃO

O monitoramento da qualidade ambiental constitui um elemento fundamental para a proteção dos recursos naturais e a promoção da saúde pública. A avaliação sistemática das condições ambientais por meio de indicadores específicos permite identificar alterações nos ecossistemas, subsidiar a tomada de decisões e orientar políticas públicas voltadas à sustentabilidade (Brasil, 2020).

Entre os principais instrumentos utilizados para essa avaliação, destacam-se o Índice de Qualidade da Água (IQA), desenvolvido para avaliar a qualidade dos recursos hídricos através da análise de parâmetros físicos, químicos e biológicos; o Índice de Estado Trófico (IET), que mensura o grau de eutrofização dos corpos d'água indicando seu nível de enriquecimento por nutrientes; e o Índice de Qualidade do Ar (IQAr), ferramenta que traduz as concentrações de poluentes atmosféricos em valores dimensionais relacionados aos potenciais efeitos à saúde humana (ANA, 2021; Brasil, 2021).

No contexto brasileiro, esses indicadores assumem particular relevância diante dos desafios ambientais contemporâneos e das demandas por melhorias na qualidade de vida da população. A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) e a Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) estabelecem a necessidade de sistemas de monitoramento que permitam acompanhar a evolução da qualidade ambiental e a efetividade das medidas de controle implementadas (Brasil, 1997; Brasil, 1981).

No entanto, a complexidade técnica envolvida no cálculo desses indicadores representa um desafio significativo para gestores públicos, técnicos e pesquisadores, especialmente considerando as limitações de recursos humanos especializados e a necessidade de cálculos precisos que envolvem múltiplas variáveis e parâmetros específicos. Essa demanda por ferramentas mais acessíveis e confiáveis para o cálculo desses indicadores torna-se ainda mais relevante no contexto atual, onde o monitoramento contínuo da qualidade ambiental é essencial para verificar a eficácia das políticas ambientais implementadas.

Diante do cenário identificado, é importante destacar que os aplicativos móveis configuram-se como ferramentas valiosas também na área ambiental, uma vez que possibilitam acesso rápido e simplificado a conhecimentos técnico-científicos e metodologias de cálculo, favorecendo a adoção de práticas mais consistentes e confiáveis. Com a ampla disseminação dos smartphones e a possibilidade de disponibilização de conteúdos atualizados em tempo real, essas soluções tornam-se recursos relevantes tanto para fins educacionais quanto para apoio em atividades de monitoramento.

Nsse contexto, o presente estudo teve como objetivo descrever o processo de desenvolvimento e validação de conteúdo de um aplicativo voltado ao cálculo de indicadores ambientais, contemplando o Índice de Qualidade da Água (IQA), o Índice de Estado Trófico (IET) e o Índice de Qualidade do Ar (IQAr).

2 METODOLOGIA

Inicialmente, realizou-se uma busca exploratória nas plataformas Google Play Store e App Store nos meses de junho e julho de 2025, com o objetivo de identificar aplicativos com funcionalidades semelhantes à proposta da *CalcuLEAdora*. Foram empregadas combinações de termos em português e inglês, associadas por operadores booleanos, contemplando palavras-chave como “índice de qualidade da água”, “índice de qualidade do ar” e “índice de estado trófico” e suas correspondentes em inglês.

Optou-se pela inclusão de termos no idioma inglês, mesmo tratando-se de um estudo voltado ao público brasileiro, pois verificou-se que muitos aplicativos relacionados apresentavam descrição ou título exclusivamente em inglês, apesar de possuírem interface em português. Essa estratégia permitiu ampliar o alcance e obter resultados mais diversificados, abrangendo aplicativos nacionais e internacionais.

O desenvolvimento da *CalcuLEAdora* seguiu as práticas recomendadas de engenharia de software, contemplando as etapas de levantamento de requisitos, prototipação, implementação e testes iterativos. O

levantamento de requisitos foi realizado em conjunto com professores, estudantes e especialistas do Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA) na UNIVASF, com foco na identificação das funcionalidades necessárias para o cálculo dos índices: Índice de Qualidade da Água (IQA) , Índice de Qualidade do Ar (IQAr) e Índice de Estado Trófico (IET). A fase de prototipação envolveu a criação de interfaces navegáveis, permitindo a avaliação prévia da experiência do usuário e ajustes no design antes da implementação definitiva.

A implementação foi conduzida utilizando o framework Flutter e a linguagem Dart, o que permitiu a criação de uma aplicação multiplataforma, disponível no formato .apk para dispositivos Android e como aplicação *web*. O aplicativo foi estruturado em módulos independentes, cada um responsável por um cálculo específico (IQA, IET para rios e reservatórios, e IQAr), além de uma seção informativa contendo descrições detalhadas de cada índice, parâmetros utilizados e interpretação dos resultados.

Durante o desenvolvimento, foram aplicados testes iterativos para verificação da consistência dos cálculos, desempenho da aplicação e responsividade da interface em diferentes dispositivos e tamanhos de tela. O feedback obtido nos testes foi incorporado nas revisões, garantindo maior estabilidade e usabilidade no produto final.

O aplicativo passou por validação de conteúdo por meio de avaliação eletrônica realizada por especialistas, docentes e alunos da área ambiental, com experiência em qualidade da água, qualidade do ar e indicadores ambientais. Os avaliadores receberam um convite com a apresentação do estudo e, após aceitarem, tiveram acesso à versão de teste da aplicação e ao formulário estruturado para validação. Como não houve coleta de informações pessoais ou sensíveis, nem registro identificável dos participantes, não se fez necessário o uso de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

A participação ocorreu de forma voluntária e anônima, restrita à apreciação técnica do aplicativo e preenchimento do questionário de avaliação. A coleta ocorreu entre janeiro e março de 2025, utilizando instrumento adaptado da Mobile App Rating Scale (MARS), contemplando dimensões como clareza das informações, funcionalidade, estética, usabilidade e aplicabilidade acadêmica.

A validação de conteúdo da CalcuLEAdora foi conduzida com base no Índice de Validade de Conteúdo (IVC), que quantifica a proporção de concordância entre avaliadores quanto à clareza, relevância e adequação dos itens analisados. Para isso, empregou-se uma escala Likert de quatro pontos (1 – concordo fortemente; 2 – concordo; 3 – discordo; 4 – discordo fortemente), permitindo mensurar o grau de aceitação de cada aspecto avaliado.

De acordo com Alexandre e Coluci(11), para que uma ferramenta seja validada, seu IVC global deve ser de 0,90 ou mais. A fórmula para avaliar cada item individualmente fica assim:

$$IVC = \frac{número\ de\ respostas\ \text{“3” ou “4”}}{número\ total\ de\ respostas}$$

Participaram do processo 18 avaliadores, sendo 6 especialistas e 12 estudantes das áreas de Engenharia da Computação e Engenharia Agrícola e Ambiental. Esse número de juízes está em consonância com as recomendações metodológicas da literatura, que apontam a faixa entre 6 e 20 participantes como adequada para assegurar representatividade e confiabilidade na análise de validação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 LEVANTAMENTO DE APLICATIVOS SEMELHANTES

A busca realizada nas lojas Google Play Store e App Store resultou em um número reduzido de aplicativos diretamente relacionados às palavras-chave utilizadas, conforme apresentado na Tabela 1. Observa-se que, apesar de algumas combinações retornarem resultados na Google Play Store, não foram encontrados aplicativos correspondentes na App Store.

Tabela 1. Aplicativos encontrados por palavra-chave nas lojas Google Play Store e App Store

Palavras Chave e Estratégias	Lojas Virtual	
	Google Play Store	Apple Store
("water quality index" OR WQI) AND (calculator OR app OR application)	3	0
("trophic state index" OR TSI) AND (calculator OR app)	9	0
("air quality index" OR AQI) AND (calculator OR app)	30	0
("environmental monitoring" AND (application OR tool OR app))	28	0
("environmental indicators" AND (calculator OR app))	10	0
Total	80	0

Fonte: os Autores

A prospecção realizada nas lojas resultou na identificação de 80 aplicativos relacionados a indicadores ambientais, distribuídos de acordo com as estratégias de busca. Observa-se que a maior parte das ocorrências está concentrada em termos mais amplos, como *"air quality index"* (n=30) e *"environmental monitoring"* (n=28). Por outro lado, a busca por aplicativos diretamente associados a *"water quality index"* e *"trophic state index"* resultou em números consideravelmente menores (n=3 e n=9, respectivamente), revelando uma oferta ainda limitada de ferramentas digitais específicas para esses cálculos.

Apesar dessa quantidade de aplicativos identificados, é importante ressaltar que a maioria não realiza de fato a função de cálculo dos indicadores, restringindo-se a apresentar dados de monitoramento gerados por outros sistemas, notícias ambientais ou informações descritivas. Essa limitação evidencia uma lacuna no mercado, pois não foram encontrados aplicativos que integrem de forma didática e automatizada os três indicadores ambientais selecionados neste estudo: IQA, IET e IQAr

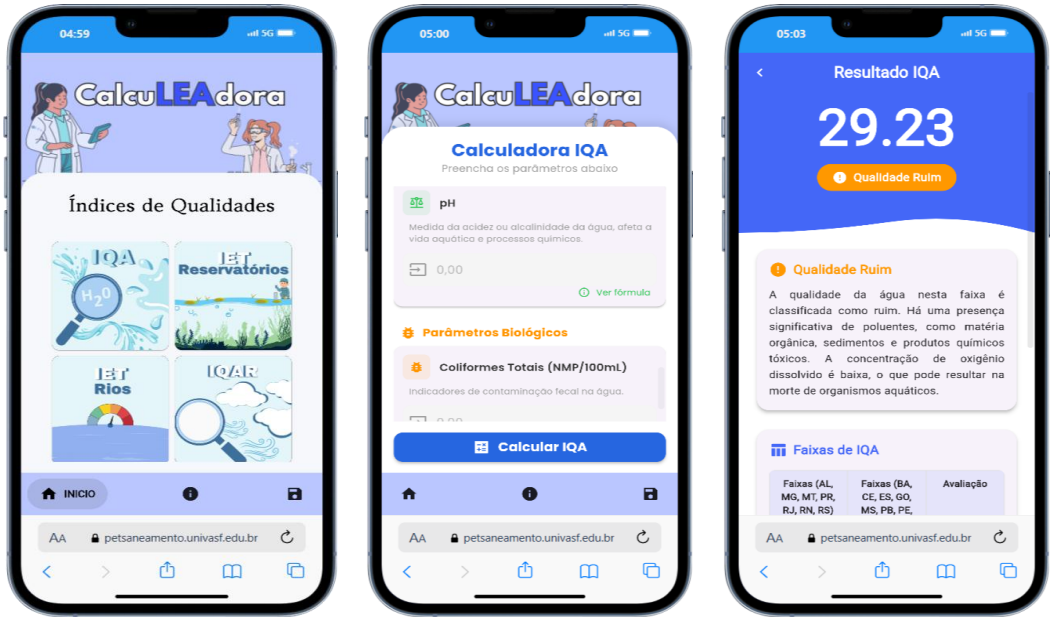
3.2 CONSTRUÇÃO DO APLICATIVO

A etapa de seleção e elaboração do material que compõe o conteúdo da CalcuLEAdora foi realizada por meio de pesquisa na literatura científica e normativa, utilizando metodologias consolidadas para o cálculo dos indicadores ambientais.

O Índice de Qualidade da Água (IQA) foi estruturado a partir da metodologia proposta pela CETESB (2021), enquanto o Índice de Estado Trófico (IET) seguiu as fórmulas e critérios estabelecidos por Lamparelli (2004). Para o Índice de Qualidade do Ar (IQAr), adotaram-se os parâmetros definidos na Resolução nº 491/2018 do CONAMA (2018). Além disso, os conceitos de qualidade da água utilizados como referência foram fundamentados em Von Sperling (2007), que apresenta modelagens e aplicações práticas reconhecidas na área de engenharia ambiental. Após a seleção e identificação de temas pertinentes, com bases teóricas consistentes, foi iniciado o processo de elaboração do conteúdo, que culminou na criação do protótipo.

O aplicativo desenvolvido recebeu o nome "CalcuLEAdora", uma junção de "calculadora" com a sigla LEA, em referência ao Laboratório de Engenharia Ambiental, onde foi desenvolvido. Seu público-alvo abrange estudantes, docentes e profissionais da área ambiental. O app é organizado em menus e submenus (Figura 1), que dão acesso a duas funcionalidades principais: (1) uma seção informativa com descrições detalhadas sobre os três indicadores contemplados – Índice de Qualidade da Água (IQA), Índice de Estado Trófico (IET) e Índice de Qualidade do Ar (IQAr) – e (2) módulos interativos para o cálculo automatizado desses índices. A interface apresenta campos de inserção de dados e botões de cálculo, que retornam os resultados acompanhados de sua respectiva classificação e interpretação conforme metodologias oficiais (Figura 1). Além disso, cada módulo é complementado por conteúdos explicativos sobre parâmetros, fórmulas e critérios de avaliação, favorecendo o aprendizado do usuário (Figura 1).

Figura 1. Tela principal do aplicativo, tela do cálculo do IQA e tela resultado do IQA



Fonte: os Autores

Participaram da validação de conteúdo 18 usuários, sendo 6 especialistas e 12 estudantes da área. Apresenta-se a seguir tabela com a avaliação acerca do conteúdo do aplicativo (Tabela 2).

Tabela 2. Tela principal do aplicativo

Critério Avaliado	Escala de concordância			
	Concordo fortemente - 1	Concordo - 2	Discordo - 3	Discordo fortemente - 4
O conteúdo do aplicativo é claro e compreensível.	14	4	-	-
O aplicativo apresenta informações relevantes para o público-alvo.	18	-	-	-
O conteúdo está atualizado e cientificamente embasado.	18	-	-	-
A navegação é intuitiva e fácil de usar.	12	7	1	-
Os botões, menus e interações são bem posicionados e funcionam corretamente.	12	8		-
O aplicativo é responsivo (funciona bem em diferentes dispositivos).	15	3	1	-
A interface é visualmente agradável e consistente.	17	2	-	-
As cores, fontes e gráficos são adequados ao público-alvo.	16	2	-	-
Não há excesso de informações visuais que prejudiquem o uso.	17	1	-	-
Todas as funções principais do aplicativo estão operando conforme esperado.	18	-	-	-
O tempo de resposta do aplicativo é satisfatório.	18	-	-	-
Não foram detectados erros ou falhas técnicas.	14	4	-	-
O aplicativo atende às necessidades específicas do público-alvo.	18	-	-	-
O conteúdo abordado sobre IQA, IQAr e IET é pertinente e relevante.	18	-	-	-
É uma solução prática para o problema que se propõe a resolver.	18	-	-	-

Fonte: os Autores

A partir da avaliação dos especialistas e estudantes, obteve-se um total de 270 respostas, sendo 226 (N=83,7%) classificadas como *"concordo fortemente"* e 43 (N=15,9%) como *"concordo"*, enquanto apenas 2 respostas (N=0,7%) corresponderam à opção *"discordo"* e nenhuma à opção *"discordo fortemente"*. Esses resultados resultaram em um IVC global de 0,997, valor considerado excelente e indicativo de forte consenso entre os avaliadores. Dessa forma, o aplicativo CalcuLEAdora pode ser considerado validado quanto à clareza, relevância e adequação de seu conteúdo, não sendo necessárias novas rodadas de questionário.

Foi realizada uma análise das sugestões apresentadas pelos avaliadores e, conforme a pertinência ao objetivo do estudo e a viabilidade de implementação, algumas foram incorporadas ao aplicativo, enquanto outras foram descartadas. As alterações realizadas tiveram como foco a melhoria da clareza, da usabilidade e da organização das informações, resultando na versão final da CalcuLEAdora disponibilizada para uso. Entre as modificações acatadas destacam-se ajustes na apresentação dos parâmetros de entrada, com a inclusão de explicações adicionais sobre variáveis críticas dos indicadores, bem como melhorias na disposição dos botões de cálculo e feedback visual dos resultados, visando tornar a interação mais intuitiva. Também foi incorporado conteúdo complementar sobre a interpretação dos índices IQA, IQAr e IET.

Além disso, a CalcuLEAdora contribui positivamente para a sustentabilidade ao disponibilizar de forma digital conteúdos que antes dependiam de planilhas impressas ou materiais físicos. Essa abordagem não

apenas reduz o uso de papel, tinta e energia, mas também diminui a ocorrência de erros de cálculo, comuns em procedimentos manuais, e reduz a possibilidade de perda das informações, já que os resultados ficam centralizados e podem ser facilmente acessados dentro do próprio aplicativo.

O aplicativo apresenta potencial de utilização em diferentes contextos, incluindo atividades de ensino, pesquisas acadêmicas, monitoramento em campo e apoio à tomada de decisão em órgãos de gestão ambiental. Sua aplicabilidade é reforçada pelo fato de reunir, em uma única plataforma, tanto os cálculos automatizados quanto informações técnicas essenciais para a interpretação dos indicadores.

Entre as limitações deste estudo, destaca-se que a validação da CalcuLEAdora foi realizada exclusivamente no Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA), utilizando dados reais de análises de qualidade da água. Embora isso garanta a confiabilidade dos cálculos para o IQA e o IET, a aplicação ainda não foi testada com dados provenientes de diferentes regiões ou instituições, o que poderia ampliar a robustez da ferramenta em cenários mais variados. Outra limitação refere-se ao escopo dos indicadores contemplados, restritos ao IQA, IET e IQAr. Apesar de serem índices aceitos, a incorporação de outros parâmetros ambientais poderia tornar o aplicativo ainda mais abrangente e útil em diferentes contextos de monitoramento. Além disso, não foram implementadas funcionalidades de integração com bancos de dados ou armazenamento em nuvem, o que limita o compartilhamento automático dos resultados entre usuários ou instituições.

Por fim, a participação no processo de validação ficou restrita a especialistas e estudantes da área ambiental, o que pode limitar a diversidade de percepções sobre a usabilidade do aplicativo. Pesquisas futuras poderão explorar a ampliação dos indicadores, a inclusão de novas funcionalidades e a validação junto a públicos mais diversos, de modo a fortalecer ainda mais o potencial da CalcuLEAdora como ferramenta educacional e de apoio ao monitoramento ambiental.

4 CONCLUSÃO

A prospecção inicial de aplicativos evidenciou uma lacuna no mercado, já que não foram encontrados apps específicos para cálculo de indicadores ambientais como IQA, IET e IQAr. Esse achado reforçou a pertinência do desenvolvimento da CalcuLEAdora.

O processo de validação de conteúdo resultou em um Índice de Validade de Conteúdo (IVC) global de 0,93, demonstrando alto grau de concordância entre especialistas e estudantes quanto à clareza, relevância e aplicabilidade do aplicativo. Esse resultado confirma a qualidade técnica e pedagógica da ferramenta. Além de automatizar cálculos e fornecer classificações confiáveis, a CalcuLEAdora agrega valor ao disponibilizar conteúdos explicativos, reduzindo erros manuais e ampliando o potencial de aprendizado. Dessa forma, o aplicativo se configura como uma solução prática para apoiar atividades de ensino e monitoramento ambiental, respondendo a uma necessidade até então não atendida.Os resultados obtidos indicam que a CalcuLEAdora preenche uma lacuna tecnológica na área de engenharia ambiental, oferecendo uma solução prática e validada para apoiar tomadas de decisão, ações de monitoramento e atividades de ensino.

Recomenda-se a continuidade do seu desenvolvimento, incorporando novos indicadores ambientais, recursos offline e integração com bases de dados, de forma a ampliar seu alcance e potencial de aplicação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PET-MEC, FNDE pelo incentivo financeiro e à UNIVASF pelo apoio institucional.

REFERÊNCIAS

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte:

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

BRASIL, IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de qualidade do meio ambiente**. [recurso eletrônico]: RQMA Brasil 2020 / Hanry Alves Coelho, Andrea Alimandro Corrêa (coordenação). – Brasília, 2022. Disponível em: https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/livros/rqmabrasil2020.pdf. Acesso em 01 mai. 2024.

BRASIL. **Lei nº 9433, 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. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso em: 16 jul. 2009.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em: 16 jul. 2009.

BRASIL. **Lei n° 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico. Brasil, 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm Acesso em: 10 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente de Mudança do Clima. **Orientação Técnica**. Índice de Qualidade do Ar (2025). Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/meio-ambienteurbano-recursos-hidricos-qualidade-ambiental/qualidade-do-ar/indice-de-qualidade-do-ariqar/orientacao-tecnica-indice-de-qualidade-do-ar-jan-25.pdf. Acesso em: 11 mar. 2025.

CETESB. **Índice de qualidade das águas.** Disponível em:

<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/42-%C3%8Dndice-de-Qualidade-das-

%C3%81guas-%28iqa%29>. Acesso em: 17 dez. 2010.

CETESB. **Índices de Qualidade das Águas**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2021. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br.

CONAMA. **Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018**. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2018.

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

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.