

## **CRIAÇÃO DE UM DISPOSITIVO DE CAPTAÇÃO DE IMAGENS PARA FISCALIZAÇÃO COLETIVA DA QUALIDADE HÍDRICA: UTILIZANDO TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO ADITIVA**

### **CREATION OF AN IMAGE CAPTURE DEVICE FOR COLLECTIVE MONITORING OF WATER QUALITY: USING ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGY**

Flávio Gomes Figueira Camacho <sup>1</sup>; Nathali de Lima Steiger <sup>2</sup>; Marcelo Nepomoceno Kapp <sup>3</sup>; Marcela Boroski <sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Mestre | [flavio@grupovipnet.com.br](mailto:flavio@grupovipnet.com.br) | UNILA | Foz do Iguaçu, Brasil; <sup>2</sup>Licenciatura | [nathalisteiger11@gmail.com](mailto:nathalisteiger11@gmail.com) | UNILA | Foz do Iguaçu, Brasil; <sup>3</sup>Doutor | [marcelo.kapp@unila.edu.br](mailto:marcelo.kapp@unila.edu.br) | UNILA | Foz do Iguaçu, Brasil. <sup>4</sup>Doutor | [marcela.boroski@unila.edu.br](mailto:marcela.boroski@unila.edu.br) | UNILA | Foz do Iguaçu, Brasil.

#### **Resumo:**

Este estudo apresenta o desenvolvimento de um dispositivo de captação de imagens para monitoramento participativo da qualidade da água, integrando fabricação aditiva (impressão 3D), análise colorimétrica e ciência cidadã. A proposta visa democratizar o acesso a ferramentas de fiscalização ambiental, especialmente em regiões com infraestrutura limitada. O dispositivo foi projetado com software CAD, fabricado com PLA reciclado e equipado com LEDs para iluminação homogênea e sistema óptico padronizado para captura por smartphone. Foram analisadas amostras com nitrito, amônia, ortofosfato e ferro, utilizando reagentes comerciais e o aplicativo AQUA para extração dos valores RGB. As curvas de calibração apresentaram coeficientes de correlação superiores a 0,95, com validação estatística por teste *t* pareado, demonstrando boa concordância com espectrofotometria para três dos quatro analitos. Os testes em campo mostraram que o dispositivo pode ser operado por voluntários após breve capacitação, reforçando seu potencial para educação ambiental e ciência cidadã. O custo reduzido, a portabilidade e a replicabilidade aberta do projeto o tornam uma alternativa viável para ações comunitárias de vigilância hídrica, contribuindo para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6 e 11).

#### **Palavras-chave:**

*Monitoramento ambiental; Impressão 3D; Ciência cidadã; Desenvolvimento sustentável.*

#### **Abstract:**

This study presents the development of an image capture device for participatory water quality monitoring, integrating additive manufacturing (3D printing), colorimetric analysis, and citizen science. The proposal aims to democratize access to environmental monitoring tools, especially in regions with limited infrastructure. The device was designed with CAD software, manufactured with recycled PLA, and equipped with LEDs for homogeneous lighting and a standardized optical system for smartphone capture. Samples containing nitrite, ammonia, orthophosphate, and iron were analyzed using commercial reagents and the AQUA application to extract RGB values. The calibration curves showed correlation coefficients greater than 0.95, with statistical validation by paired t-test, demonstrating good agreement with spectrophotometry for three of the four analytes. Field tests showed that the device can be operated by volunteers after brief training, reinforcing its potential for environmental education and citizen science. The project's reduced cost, portability and open replicability make it a viable alternative for community water surveillance actions, contributing to the Sustainable Development Goals (SDGs 6 and 11).

#### **Keywords:**

*Environmental monitoring; 3D printing; Citizen science; Sustainable development.*

## 1. INTRODUÇÃO

A qualidade da água é um dos aspectos mais relevantes da sustentabilidade ambiental e da saúde pública. Em zonas urbanas, esse aspecto assume ainda maior importância devido à alta densidade populacional e à concentração de atividades antrópicas que podem comprometer a potabilidade da água e o equilíbrio ecológico dos corpos hídricos (Von Sperling, 2014). A presença de contaminantes como nitrito, amônia, ortofosfato e ferro em águas superficiais e subterrâneas pode provocar sérios danos à biota aquática, além de representar risco à saúde humana (APHA, 2017).

Embora métodos analíticos convencionais, como espectrofotometria e cromatografia líquida, ofereçam alta precisão (APHA, 2017), sua dependência de infraestrutura especializada e custos elevados limita a fiscalização contínua, especialmente em regiões periféricas (Bittencourt *et al.*, 2021). A atuação dos órgãos ambientais nem sempre é suficiente para acompanhar a dinâmica das fontes poluidoras. Nesse cenário, instrumentos acessíveis que permitam à população monitorar a qualidade da água de forma autônoma e colaborativa ganham destaque (França, 2019).

O avanço de tecnologias de fabricação aditiva, como a impressão 3D, possibilita a criação de dispositivos personalizados com baixo custo e alta funcionalidade (Zuriga, 2022). Ao mesmo tempo, o uso disseminado de smartphones e de aplicativos de análise de imagens permite integrações inovadoras entre dispositivos físicos e digitais. A combinação dessas tecnologias pode resultar em soluções eficazes para o monitoramento ambiental participativo (Burggraaf *et al.*, 2020).

Neste contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um dispositivo de captura de imagens para o monitoramento participativo da qualidade da água, utilizando tecnologia de fabricação aditiva (impressão 3D). A abordagem fundamenta-se no conceito de ciência cidadã (Palma, 2016), capacitando comunidades para e alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6 e 11).

Evidências recentes demonstram que plataformas descentralizadas de monitoramento podem ampliar a eficácia da governança hídrica (Nicollier *et al.*, 2023). Esta pesquisa avança nesse paradigma ao integrar: (i) Algoritmos de visão computacional (OpenCV) para quantificação objetiva de parâmetros; (ii) Licenciamento aberto (GNU GPL v3.0), garantindo transparência metodológica; (iii) Materiais sustentáveis: Emprego de PLA reciclado, que mantém 92% das propriedades mecânicas pós-processamento (Fernandes, 2022).

A ciência cidadã tem se mostrado uma abordagem valiosa para suprir lacunas em dados ambientais, engajar a população em ações de proteção ambiental e promover educação ambiental de forma prática. Iniciativas desse tipo têm potencial para estimular a responsabilização dos poluidores e aumentar a pressão social por políticas públicas mais eficazes (Tolbert, 2024). Ao conciliar inovação técnica, engajamento comunitário e políticas públicas, o estudo contribui para um modelo escalável de gestão hídrica participativa.

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo desenvolver um dispositivo impresso em 3D para a captação de imagens colorimétricas de amostras de água, com foco na identificação de contaminantes como nitrito, amônia, ortofosfato e ferro. A proposta visa viabilizar um instrumento de uso coletivo e acessível para o monitoramento da qualidade hídrica em áreas urbanas.

## 2. MÉTODOS

O desenvolvimento do dispositivo iniciou-se com o projeto tridimensional de uma caixa óptica no software CAD SolidWorks®. A estrutura foi desenhada com dimensões aproximadas de 120 mm × 80 mm × 70 mm, contendo dois compartimentos principais: um destinado à inserção de tubo de ensaio contendo a amostra reagida com kits colorimétricos e outro para o encaixe do smartphone, utilizado na captação padronizada das imagens.

A fabricação da estrutura utilizou a tecnologia de manufatura aditiva por modelagem por deposição fundida (Fused Deposition Modeling – FDM), com filamento de ácido polilático (PLA) de 1,75 mm

de diâmetro. O PLA foi selecionado por ser um polímero biodegradável, proveniente de fontes renováveis como o amido de milho, apresentando boa resistência térmica e facilidade de impressão em equipamentos de mesa. A impressão (Figura 1) foi realizada em uma impressora Ender-3, reconhecida por sua precisão, acessibilidade e compatibilidade com diversos tipos de filamento. A resolução adotada foi de 0,2 mm por camada, garantindo definição nos encaixes e vedação adequada contra luz externa.



Figura 1: Dispositivo de captação de imagens impresso.  
Fonte: Os autores (2025).

Para a iluminação interna, foram empregados três LEDs brancos de 1W, dispostos de forma a garantir iluminação homogênea sobre o tubo de ensaio. Cada LED foi conectado em série a um resistor de 220  $\Omega$ , considerando como fonte uma bateria de 9v. Esse dimensionamento foi essencial para evitar sobrecarga elétrica e garantir o funcionamento contínuo do sistema.

A alimentação elétrica foi realizada por uma bateria de 9V. Utilizou-se um conector P4 com interruptor embutido, facilitando a operação e manutenção do sistema. A montagem elétrica foi realizada, permitindo ajustes e substituições rápidas de componentes.

Para a validação analítica, foram preparadas soluções padrão com concentrações conhecidas de nitrito, amônia, ortofosfato e ferro, utilizando água destilada e reagentes de grau analítico. Os métodos colorimétricos utilizados seguiram protocolos específicos para cada analito: para a amônia, adotou-se o método descrito por Batista, Feitosa e Silva (2019); para o ortofosfato, seguiu-se o procedimento da NBR 12772 – Método A, baseado na redução com ácido ascórbico (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992); a determinação do nitrito foi realizada conforme Dellagiustina (2000); e, para o ferro, utilizou-se a metodologia proposta por Lourenço et al. (2020), com o uso do aplicativo AQUA. As reações colorimétricas ocorreram diretamente em tubos de ensaio, os quais foram inseridos em uma caixa óptica para análise espectrofotométrica.

A captura das imagens foi realizada utilizando um smartphone Redmi Note 8, equipado com câmera de 48 MP e configurações automáticas de ISO, balanço de branco e foco. As imagens foram processadas por meio do aplicativo **AQUA**, o qual extrai os valores RGB das regiões centrais de cada amostra e, com base nesses dados, calcula automaticamente a curva analítica de calibração e determina a concentração dos analitos. As curvas de calibração foram geradas com base nas soluções padrão previamente preparadas. A precisão dos resultados obtidos por esse método foi avaliada por comparação com os dados fornecidos por um espectrofotômetro UV-Vis, apresentando equivalência satisfatória em diversas faixas de concentração, o que valida a confiabilidade do método digital utilizado.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O dispositivo desenvolvido demonstrou viabilidade técnica e operacional para o monitoramento colorimétrico de parâmetros da qualidade da água, integrando tecnologias acessíveis e de baixo custo com resultados confiáveis e replicáveis. Os testes realizados com soluções padrão evidenciaram que a captação de imagens por smartphone, quando padronizada quanto à iluminação e ao posicionamento ótico, permite discriminação precisa de variações de cor associadas às concentrações de nitrito, amônia, ortofosfato e ferro.

As curvas de calibração obtidas a partir dos valores RGB extraídos das imagens apresentaram coeficientes de correlação linear superiores a 0,95 para todos os parâmetros avaliados, com destaque para o nitrito total ( $R^2 = 0,999$ ), indicando elevada acurácia da quantificação visual mediada pelo dispositivo. Em comparação com espectrofotometria UV-Vis, os desvios médios absolutos foram inferiores a 7%, o que reforça a aplicabilidade do sistema em contextos de triagem ambiental e fiscalização participativa.

Para avaliar a equivalência entre os dois métodos analíticos empregados na medição dos parâmetros químicos, foi utilizado o teste t pareado, uma ferramenta estatística destinada à comparação das médias de dois conjuntos de dados dependentes — ou seja, obtidos a partir das mesmas amostras analisadas por métodos distintos. O teste t permite verificar a existência de diferenças sistemáticas entre os resultados, sendo amplamente utilizado em estudos de validação e comparação de métodos laboratoriais. Assume-se, para sua aplicação, que os dados sejam aproximadamente simétricos (normalmente distribuídos) e que as diferenças entre os pares sejam independentes.

Os resultados indicaram diferença estatisticamente significativa apenas para a amônia ( $p = 0,0085$ ), o que evidencia que os dois métodos não produzem resultados equivalentes para esse parâmetro. Para os demais analitos — nitrito ( $p = 0,349$ ), ferro ( $p = 0,172$ ) e ortofosfato ( $p = 0,618$ ) — os valores de  $p$  foram superiores ao nível de significância adotado ( $\alpha = 0,05$ ), não permitindo rejeitar a hipótese nula de igualdade das médias. Isso sugere que, para esses três parâmetros, os métodos geram resultados estatisticamente semelhantes, indicando boa concordância entre a análise colorimétrica por imagem e a espectrofotometria.

A iluminação homogênea promovida pelos LEDs brancos dispostos em triângulo reduziu significativamente as sombras e os gradientes de luminosidade na amostra, favorecendo a reprodutibilidade das análises. O acabamento branco no interior da caixa teve papel essencial na absorção da luz difusa, minimizando ruídos na extração dos valores RGB. Tais medidas reforçam a importância do controle do ambiente ótico como fator determinante para a confiabilidade das análises baseadas em imagem.

Foram feitas cinco coletas espaçadas entre 48h e 72h e, em cada coleta, foram analisados quatro pontos diferentes do rio Monjolo, um corpo hídrico urbano com histórico de contaminação difusa. O dispositivo foi utilizado por dois voluntários sem formação técnica, após breve capacitação de 30 minutos. Os participantes conseguiram operar o equipamento e interpretar os resultados com base em escala colorimétrica impressa e curvas fornecidas no aplicativo AQUA. Este achado reforça o potencial do dispositivo como ferramenta de ciência cidadã, ampliando a capacidade de vigilância ambiental por parte das comunidades afetadas.

A leveza, portabilidade e robustez estrutural do protótipo também foram destacadas pelos usuários, que apontaram a facilidade de transporte como um diferencial para ações de monitoramento coletivo. O tempo médio de análise de uma amostra foi inferior a cinco minutos, demonstrando a agilidade do método em comparação a análises laboratoriais convencionais.

Adicionalmente, o uso de PLA reciclado e componentes eletrônicos de fácil aquisição contribuiu para uma redução estimada de 74% no custo total de produção em comparação com kits comerciais de análise portátil. Essa economia, somada à possibilidade de replicação aberta do projeto por meio de licenciamento livre (GNU GPL v3.0), posiciona o dispositivo como uma alternativa viável para iniciativas comunitárias de fiscalização ambiental.

Os resultados confirmam que a combinação entre fabricação aditiva, análise de imagem por smartphone e ciência aberta pode gerar soluções escaláveis para o monitoramento descentralizado da qualidade hídrica, contribuindo para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, em especial os ODS 6 (água potável e saneamento) e 11 (cidades e comunidades sustentáveis).

### 3.1. IMPACTOS NOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O impacto potencial deste dispositivo no avanço dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) extrapola os limites do monitoramento técnico. No caso do ODS 6 (Água potável e Saneamento), a ferramenta contribui diretamente para as metas 6.3 (Melhoria da qualidade da água) e 6.b (Apoio ao envolvimento das comunidades locais na gestão da água), ao empoderar cidadãos com instrumentos de baixo custo para monitoramento ativo.

No que tange ao ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), a proposta fomenta a participação cidadã e a produção descentralizada de dados ambientais, fortalecendo a resiliência comunitária frente a riscos ambientais. A replicabilidade e o uso de tecnologias abertas promovem ainda o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ao estimular inovações frugais voltadas ao bem comum. Assim, o projeto integra ciência, tecnologia e justiça ambiental em uma estratégia concreta de transformação social e ambiental.

### 3.2. LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Apesar dos resultados promissores obtidos com o dispositivo desenvolvido, algumas limitações devem ser consideradas. Primeiramente, a análise colorimétrica baseada em imagens depende fortemente das condições de iluminação e da calibração do dispositivo de captura, o que pode introduzir variabilidade nos resultados, especialmente em ambientes externos com luz natural variável. Além disso, embora o uso de PLA reciclado represente um avanço ambiental, sua durabilidade e resistência em condições de uso prolongado ainda precisam ser mais bem avaliadas.

Outro ponto relevante é a limitação do dispositivo em detectar concentrações muito baixas dos analitos, o que pode restringir sua aplicação em contextos que demandem alta sensibilidade analítica. A diferença estatisticamente significativa observada na quantificação da amônia também indica a necessidade de ajustes na metodologia de análise para esse composto específico.

Por fim, a atuação dos voluntários depende de um processo de capacitação mínimo, e o sucesso do monitoramento está condicionado à motivação e engajamento das comunidades envolvidas.

## 4. CONCLUSÕES

O desenvolvimento de um dispositivo de captação de imagens para análise colorimétrica da qualidade da água, utilizando tecnologia de impressão 3D, demonstrou-se uma alternativa viável, acessível e eficaz para o monitoramento ambiental descentralizado. A proposta aliou simplicidade construtiva, baixo custo e precisão analítica, permitindo que comunidades, instituições de ensino e grupos ambientalistas possam acessar uma ferramenta eficaz para a fiscalização coletiva de corpos hídricos.

Os testes indicaram boa correlação entre os dados obtidos por imagem digital e os valores determinados por espectrofotometria, com validação estatística por meio do teste t pareado, que confirmou equivalência significativa para nitrito, ferro e ortofosfato, embora tenha identificado diferença para amônia. Isso reforça o potencial do dispositivo para uso em contextos de triagem e educação ambiental, com confiabilidade variável de acordo com o parâmetro analisado.

A portabilidade, aliada à robustez e à possibilidade de uso com diferentes modelos de smartphones, reforça a adequação do equipamento ao uso em campo, inclusive por operadores sem formação técnica especializada. A utilização da manufatura aditiva com PLA reciclado e o licenciamento aberto do projeto ampliam o caráter sustentável e replicável da iniciativa, permitindo sua adoção em diferentes contextos geográficos e socioeconômicos.

Adicionalmente, o uso da ciência cidadã como eixo condutor da proposta contribui para fortalecer a conscientização ambiental, a produção participativa de dados e o engajamento social na proteção dos recursos hídricos. Este estudo contribui para a democratização das tecnologias de monitoramento ambiental e reforça a importância da integração entre inovação tecnológica e participação social na busca por soluções mais justas e sustentáveis. Futuras etapas de desenvolvimento poderão incluir a automação do processamento de dados por meio de inteligência artificial embarcada e a integração com plataformas de mapeamento colaborativo, ampliando ainda mais o impacto e o alcance do dispositivo.

Como trabalhos futuros, propõe-se a criação de um banco de imagens calibradas, o desenvolvimento de um aplicativo de leitura automática e a ampliação do número de contaminantes analisados. A integração do dispositivo com plataformas de dados georreferenciados também pode representar avanço significativo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23rd ed. Washington: APHA, 2017.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12772**: água e efluentes — determinação de fósforo — método colorimétrico. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

BATISTA, F. G. A.; FEITOSA, A. F. B.; SILVA, R. G. Método colorimétrico para identificação de formas nitrogenadas em águas de reservatórios destinados ao consumo humano no estado da Paraíba. **Revista Ambientale**, v. 11, n. 2, p. 48-63, 2019.

BITTENCOURT, T. A.; FARIA, J. R. V. Distribuição de investimentos públicos, infraestrutura urbana e desigualdade socioespacial em Curitiba. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 13, e20190300, 2021.

BURGGRAFF, O.; PERDUIJN, A. B.; VAN HEK, R. F.; SCHMIDT, N.; KELLER, C. U.; SNIK, F. A universal smartphone add-on for portable spectroscopy and polarimetry: iSPEX 2. *In: Micro-and Nanotechnology Sensors, Systems, and Applications XII*, v. 11389, p. 84-99, 2020. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2006.01519>. Acesso em: 21 maio 2025.

DELLAGIUSTINA, A. **Determinação das concentrações de nitrogênio e fósforo dissolvidos em diferentes locais do rio Itajaí-Açu**. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/78694>. Acesso em: 21 maio 2025.

FERNANDES, L. C. **Avaliação da resistência mecânica do PLA reciclado para aplicações em impressão 3D**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, 2022. Disponível em: <https://vtp.ifsp.edu.br/images/nupem/Artigo06-2022.pdf>. Acesso em: 21 maio 2025.

FRANÇA, J. S. **Monitoramento participativo com estudantes de ensino básico em bacias hidrográficas urbanas**. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/32570>. Acesso em: 21 maio 2025.

LOURENÇO, E. de C. et al. Determinação do Teor de Ferro Utilizando o Aplicativo PhotoMetrix PRO®: a Tecnologia a favor do Ensino de Química. **Revista Virtual de Química**, v. 13, n. 1, p. 192-206, 24 nov. 2020.

NICOLLIER, V.; KIPERSTOK, A.; BERNARDES, M. E. C. Governança da água no Brasil: qual o papel dos municípios? **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 37, n. 109, p. 279-301, 2023.

PALMA, D. A. da. **Monitoramento de qualidade da água com o enfoque ciência cidadã: estudo de caso em Brazlândia/DF**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Universidade de

Brasília. Brasília, 2016. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/16961>. Acesso em: 21 maio 2025.

TOLBERT, S.; OLSON, C.; HAQ, R. U.; EVANS, L.; SANTOS, A. P. O.; FRANCO, A. A.; JAGER, I.; KOVAČ, M.; ORCHARD, S.; HARRIS, S.; ŠRAJER, F.; SANTOS-LANG, C.; JANDRIĆ, P.; HAYES, S.; JOPLING, M. 'Citizen Scientists' on Citizen Science. **Postdigital Science and Education**, v. 7, p. 120-142, 2025.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

ZUNIGA, J. M. 3D printing for public health: The rise of low-cost technologies for medical and environmental applications. **Additive Manufacturing**, v. 55, p. 102867, 2022.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Universidade Federal de Integração Latino-Americana (UNILA) de Foz do Iguaçu/PR, pelo suporte técnico e infraestrutura para a condução deste estudo, bem como à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio institucional à pesquisa.