

AquaPanema: Development of a Species Recognition Application in the Paranapanema Basin to Aid Environmental Education

Fábio Ribeiro Barbosa¹ Carolinne Roque e Faria¹

¹ Faculdade de Tecnologia de Ourinhos (FATEC) Av. Vitalina Marcusso, 1400 Campus Universitário — Ourinhos-SP, 19910-206.

*fabio.barbosa22@fatec.sp.gov.br,
carolinne.faria@fatecourinhos.edu.br*

Abstract. *The integration of science education, environmental education, and digital technologies is crucial for fostering ecological awareness. Considering the high fish biodiversity in the Paranapanema River basin and the challenges in species identification, this study presents the development of AquaPanema, a mobile application that uses computer vision to classify native fish species. The app leverages convolutional neural networks and transfer learning, achieving over 95% accuracy in species recognition. Designed with an intuitive interface, the application includes features such as login, image history, and taxonomic information. The tool contributes to environmental education by making scientific knowledge more accessible and stimulating public interest in biodiversity conservation through interactive learning experiences.*

Resumo. *A integração entre ensino de Ciências, educação ambiental e as tecnologias digitais é essencial para promover a conscientização ecológica. Considerando a expressiva biodiversidade de peixes da bacia do rio Paranapanema e das dificuldades envolvidas na identificação taxonômica, este estudo apresenta o desenvolvimento do AquaPanema, um aplicativo móvel que utiliza visão computacional para reconhecer espécies nativas. A solução emprega redes neurais convolucionais e aprendizado por transferência, alcançando acurácia superior a 95% na classificação. Com interface intuitiva, o aplicativo oferece funcionalidades como login, histórico de imagens e exibição de informações taxonômicas. A proposta contribui para a educação ambiental ao tornar o conhecimento científico mais acessível e ao estimular o interesse público pela conservação da biodiversidade por meio de experiências de aprendizagem interativas.*

1 Introdução

A taxonomia, embora considerada um pilar fundamental da biologia por fornecer meios para a identificação, descrição e classificação dos organismos de acordo com os paradigmas científicos vigentes, enfrenta atualmente diversos desafios tendo seu papel central questionado por parte da comunidade científica.

Críticas comuns apontam que a taxonomia é excessivamente descritiva, lenta na produção de resultados e pouco adaptada às novas tecnologias. Esse cenário

compromete a qualidade da sistemática biológica e favorece práticas não rigorosas, como a criação subjetiva de categorias por ecólogos e conservacionistas, o que enfraquece a consistência científica da área (Domenico, 2012).

Agravando a já complexa problemática associada à taxonomia, os peixes constituem um grupo que apresenta desafios significativos em sua classificação sistemática, devido à elevada diversidade de espécies à frequente semelhança morfológica entre elas. Essa dificuldade é particularmente crítica em regiões de alta biodiversidade, como os ambientes dulcícolas neotropicais, onde a delimitação entre táxons pode ser ambígua e instável (Godfray, 2002).

Embora a classificação taxonômica seja essencial para a biologia, seu vocabulário técnico representa uma barreira para a compreensão pública. Assim, iniciativas que traduzem esse conhecimento por meio de interfaces amigáveis, como aplicativos baseados em imagens, cumprem duplo papel: democratizam o saber e despertam o interesse pela ciência desde os primeiros anos escolares (Piccoli & Panizzon, 2021).

Apesar de sua expressiva biodiversidade, abrigando entre 270 a 310 espécies de peixes, a bacia do Rio Paraná e seus tributários, como por exemplo o Rio Paranapanema (Agostinho et al., 2007; Duke Energy, 2008), ainda não apresentam aplicações específicas voltadas ao reconhecimento automático de espécies de peixes dessa região. Isso representa uma lacuna tanto para a pesquisa científica quanto para a educação ambiental.

Segundo Piccoli e Panizzon (2021), a popularização da ciência é uma forma eficaz de aproximar a produção científica da realidade cotidiana das pessoas, permitindo que conceitos técnicos, como os envolvidos na classificação biológica, sejam compreendidos e valorizados por um público mais amplo. Essa disseminação do saber contribui para a formação de cidadãos mais conscientes sobre a importância da biodiversidade, promovendo atitudes mais responsáveis em relação ao meio ambiente e incentivando o interesse pela ciência por parte de toda a população.

A ausência de soluções digitais voltadas, por exemplo, à identificação de peixes compromete não apenas a disseminação do conhecimento taxonômico, mas também o desenvolvimento de uma consciência ambiental crítica, fundamental para a preservação da biodiversidade aquática (Fontgalland, 2022).

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo principal o desenvolvimento de um aplicativo móvel, denominado de AquaPanema, que utiliza redes neurais convolucionais para identificar automaticamente espécies de peixes da bacia do rio Paranapanema. Especificamente, busca-se: (1) facilitar o acesso a informações taxonômicas por meio de uma ferramenta acessível e intuitiva; (2) promover a educação ambiental utilizando recursos digitais interativos; e (3) avaliar a acurácia de modelos de aprendizado profundo (*deep learning*) aplicados à identificação de espécies com base em imagens capturadas localmente.

2 Referencial Teórico

2.1 Desafios do uso de Inteligência Artificial para o ensino de Educação Ambiental

O avanço tecnológico acelerado do século XXI provocou profundas transformações em diversos setores da sociedade, sendo a Inteligência Artificial (IA) uma das principais impulsionadoras dessa mudança. No campo educacional, a IA se demonstrou como uma ferramenta promissora, capaz de reconfigurar práticas pedagógicas e ampliar o acesso ao conhecimento (Ribeiro et al., 2024).

Embora a IA esteja presente na educação há muito tempo, sua consolidação tem enfrentado diversas dificuldades, uma vez que os sistemas educacionais em países em desenvolvimento tendem a ser mais resistentes a mudanças tecnológicas em sua organização tradicional (Unesco, 2019).

A integração de tecnologias baseadas em IA na educação ainda enfrenta desafios relevantes, especialmente em contextos com infraestrutura digital precária ou acesso limitado a recursos tecnológicos. Essa realidade contribui para o aprofundamento das desigualdades já existentes, restringindo o alcance de soluções inovadoras (Ribeiro et al., 2024).

Além disso, a constante evolução das ferramentas de IA demanda capacitação contínua de educadores e profissionais ambientais, que muitas vezes não possuem formação técnica adequada para utilizar essas tecnologias de forma eficaz. Sem investimento em formação e suporte técnico, torna-se difícil integrar essas inovações ao ensino, comprometendo seu potencial de transformar a percepção pública sobre a biodiversidade e estimular ações de conservação (Ribeiro et al., 2024).

A Educação Ambiental (EA), definida pela Lei nº 9.795/1999, constitui um componente essencial e permanente da educação nacional, ao qual deve-se estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, formal e não formal. Essa legislação estabelece como objetivo a compreensão dos processos por meio dos quais os indivíduos constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, destacando a necessidade de formar cidadãos críticos, éticos e participativos na defesa da sustentabilidade (Brasil, 1999).

Contribuindo com a legislação em relação à educação ambiental, a Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2018), reforça a importância da EA ao propor uma formação integral contemplando competências socioemocionais, responsabilidade socioambiental e o uso ético das tecnologias para o ensino e aprendizagem. Atrelado a isso, a BNCC reconhece também o papel das tecnologias da informação no processo de ensino-aprendizagem, incentivando seu uso para ampliar as possibilidades de acesso ao conhecimento.

Porém, Nascimento e Marques (2024) destacam a necessidade de uma análise mais aprofundada dos impactos pedagógicos, sociais e ambientais influenciados pela introdução das tecnologias digitais para a pesquisa e ensino de Educação Ambiental. Cada vez mais a inserção de tecnologias no processo de ensino-aprendizagem pode

garantir oportunidades significativas para os estudantes, mas também pode apresentar desafios durante o percurso do ensino.

Ribeiro et al. (2024) aborda problemáticas da incorporação das tecnologias digitais, especialmente a inteligência artificial, na educação formal tendo como um dos principais problemas a garantia de equidade no acesso às tecnologias por parte dos estudantes, especialmente em contextos marcados por desigualdades socioeconômicas. Outro obstáculo significativo observado está na formação dos educadores, que precisam de capacitação contínua e adequada para integrar essas ferramentas em suas práticas pedagógicas.

Além da análise crítica necessária em relação aos atores em torno do processo de ensino-aprendizagem, também é necessário atentar-se às preocupações éticas quanto à privacidade e segurança dos dados dos estudantes, o que demanda regulamentações claras e protetivas (Ribeiro et al., 2024).

Por fim, outro ponto observado é o risco de priorizar excessivamente a eficiência proporcionada pela IA em detrimento do desenvolvimento de habilidades humanas essenciais, como criatividade, empatia e pensamento crítico, fundamentais para uma formação integral (Ribeiro et al., 2024).

2.2 Potencialidades Pedagógicas da Tecnologia na Educação Ambiental

Apesar das limitações e desafios apontados por Ribeiro et al. (2024) quanto ao uso acrítico de tecnologias no ambiente escolar, os recursos digitais, quando integrados de forma planejada e contextualizada, podem representar importantes aliados no fortalecimento da Educação Ambiental.

Segundo Pedroso et al. (2021), as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) emergem como ferramentas que não apenas facilitam o estudo de questões ambientais, mas também promovem a implementação de práticas sustentáveis nos espaços de formação acadêmica.

A inserção de tecnologias digitais no processo de ensino-aprendizagem tem sido reconhecida como um fator capaz de enriquecer as práticas pedagógicas e favorecer o desenvolvimento de competências relacionadas à investigação científica, pensamento crítico e cidadania ambiental, fazendo com que o professor seja, além de um expositor de conteúdos, também um mediador e orientador, facilitando o processo de aprendizagem (Valente, 2005; Moran et al., 2013).

Nesse contexto, o uso de aplicativos que auxiliem no processo de aprendizagem favorece uma transformação onde os estudantes ultrapassam o estado de receptores passivos e se tornam pesquisadores criativos e críticos, atuantes na construção de seu próprio conhecimento através de diferentes meios além da educação formal e tradicional (Moran et al., 2013).

Tendo em vista que o ensino de biologia e em conjunto o ensino de educação ambiental possibilita diferentes maneiras de exposição de aula de forma prática, o uso de um aplicativo de reconhecimento de espécies de peixes pode possibilitar o desenvolvimento de atividades, como por exemplo, aulas de campo, amplamente recomendadas para o ensino de ciências (Lorenzetti et al., 2009). Tal prática contribui

para o desenvolvimento de habilidades investigativas e promove maior engajamento com os temas ambientais (Souza, 2019).

Outra forma de integração entre ensino e tecnologia é o desenvolvimento de projetos de pesquisa escolar, possibilitando que o estudante assuma o papel de pesquisador e aprimore o interesse pela ciência ao desenvolvê-la de forma prática (Hernandez, 1998).

Com o uso de um aplicativo onde se apresentam informações sobre taxonomia e ecologia de peixes, os professores podem desenvolver atividades inovadoras que vão além das pesquisas tradicionais realizadas pelos estudantes. A Figura 1, apresentada a seguir, ilustra um plano de aula elaborado para o ensino de Ciências/Biologia com o intuito de incorporar tecnologias digitais ao processo de ensino-aprendizagem. A proposta busca demonstrar como o uso de um aplicativo para reconhecimento de espécies de peixes poderia ser incorporada à prática pedagógica, utilizando recursos tecnológicos para enriquecer o processo educativo e promover maior engajamento dos alunos com temas relacionados à biodiversidade aquática.

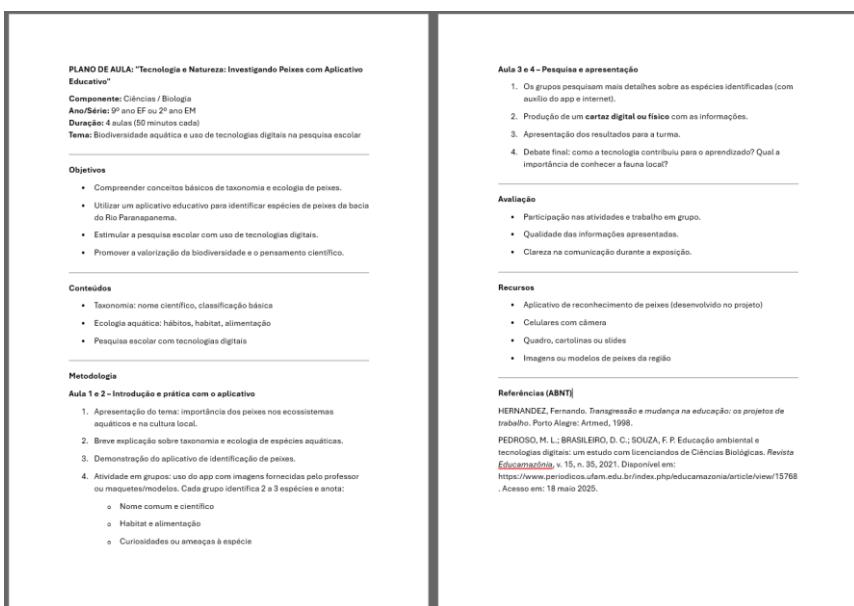


Figura 1. Plano de aula elaborado para o ensino de Ciências/Biologia, demonstrando o uso pedagógico de um aplicativo para reconhecimento de espécies de peixes. Fonte: autoria própria.

Faria e Coutinho (2016) abordam também a gamificação no ensino como uma estratégia promissora para o aumento da motivação e também como facilitador da aprendizagem de conteúdos complexos.

2.3 Ecossistema da Bacia do Rio Paranapanema

A bacia Hidrográfica do Paranapanema abrange 247 municípios nos estados de São Paulo e Paraná, destacando-se por sua riqueza ecológica e por abrigar centenas de espécies de peixes de água doce (Ana, 2016). A ictiofauna da região é diversificada e pouco conhecida pela população local, o que dificulta práticas sustentáveis de manejo e conservação.

Pesquisas como as de Agostinho et al. (2007) e Jarduli et al. (2020) identificaram mais de 225 espécies na região, reforçando a importância de ferramentas que auxiliem na identificação e disseminação de informações sobre esses organismos.

2.4 Pesquisas Correlatas

Lima et al. (2019), a partir da problemática do aumento do consumo de peixes pela população ribeirinha no baixo rio São Francisco e da dificuldade de identificação das espécies locais, desenvolveram o sistema São Francisco's Fish (SF²), com o objetivo de auxiliar na identificação de espécies ictiofaunísticas da região. A aplicação utilizou técnicas de inteligência artificial, como aprendizado de máquina, redes neurais convolucionais (CNNs) e pré-processamento de imagens, sendo treinada com 627 imagens de duas espécies provenientes do banco *Fish4Knowledge2*.

Além da identificação, o sistema fornece informações como tamanho estimado, dados nutricionais e sugestões culinárias, promovendo maior acesso à informação e valorizando a biodiversidade local (Lima et al., 2019).

De forma semelhante, Reis (2022) desenvolveu um aplicativo mobile para combater fraudes na comercialização de pescado na região Norte do Brasil, especialmente a substituição de espécies de alto valor por outras de menor valor. Utilizando o *framework React Native* e o armazenamento via *Firebase*, o aplicativo oferece dados descritivos, comparativos e sensoriais das espécies, com foco em usabilidade e clareza.

Em versões futuras, prevê-se a integração de reconhecimento por imagem. A versão beta foi validada com usuários e incluiu espécies como tambaqui (*Colossoma macropomum*), pirarucu (*Arapaima gigas*) e camarões do gênero *Penaeus*, mostrando-se uma ferramenta educativa e preventiva (Reis, 2022).

Ambas as iniciativas demonstram o potencial da inteligência artificial e da visão computacional na identificação de peixes, com aplicações sociais, comerciais e ambientais. No entanto, diferentemente dessas propostas, o presente trabalho visa a construção de um aplicativo voltado à identificação automática de espécies de peixes de água doce da bacia do Paranapanema, abrangendo um conjunto mais amplo de espécies e um volume de dados significativamente maior.

Além das funcionalidades básicas de reconhecimento, a aplicação proposta entrega informações mais detalhadas, incluindo nome comum, nome científico e dados ecológicos relevantes de cada espécie, ampliando o potencial educativo, científico e ambiental da ferramenta.

Com uma arquitetura modular baseada em *OpenCV*, *TensorFlow* e *Flash*, o sistema foi projetado para escalabilidade, reprodutibilidade e fácil adaptação a diferentes contextos, como ações de educação ambiental, fiscalização e monitoramento da biodiversidade. Assim, este projeto se diferencia por sua abrangência, profundidade informacional e versatilidade de aplicação, superando as limitações observadas em trabalhos correlatos.

3 Metodologia

Visando à usabilidade por usuários de diferentes faixas etárias e níveis de familiaridade tecnológica, o aplicativo foi projetado com interfaces intuitivas e uma experiência funcional simplificada.

A base de dados utilizada no treinamento do modelo foi construída em parceria com o curso de Ciências Biológicas de uma instituição do norte do Paraná, envolvendo 23 espécies nativas da bacia do rio Paranapanema. Cada exemplar foi fotografado individualmente, sob condições padronizadas de iluminação, enquadramento e posicionamento, resultando em 1.495 imagens (65 por espécie), das quais 50 foram destinadas ao treinamento e 15 à validação do modelo.

A identificação taxonômica seguiu o guia “Peixes do rio Paranapanema” (Duke Energy, 2008), e as imagens foram organizadas em diretórios por espécie. O pré-processamento envolveu padronização para 224×224 pixels, normalização dos valores de pixel, conversão de cores (BGR para RGB) e remoção de fundo com limiarização binária, preservando apenas a morfologia do peixe. As bibliotecas OpenCV, NumPy e Keras foram utilizadas nesse processo, com ajustes específicos para compatibilidade com a arquitetura MobileNetV2 e uso de transfer learning.

O modelo foi treinado a partir da MobileNetV2, pré-treinada no ImageNet, com aplicação de *data augmentation* (rotação, translação, espelhamento) para melhorar a generalização. *Callbacks* como *ModelCheckpoint* e *EarlyStopping* foram utilizados para otimizar o treinamento, e o modelo final foi salvo em formato HDF5.

A etapa final consistiu na criação de uma aplicação web educacional com *Flask*, permitindo o envio de imagens via requisições POST. A imagem é novamente pré-processada localmente (redimensionada para 128×128, com aplicação de CLAHE e desfoco gaussiano), antes de ser submetida ao modelo. O sistema retorna, em formato JSON, a espécie identificada com seu respectivo nível de confiança (Figura 2).

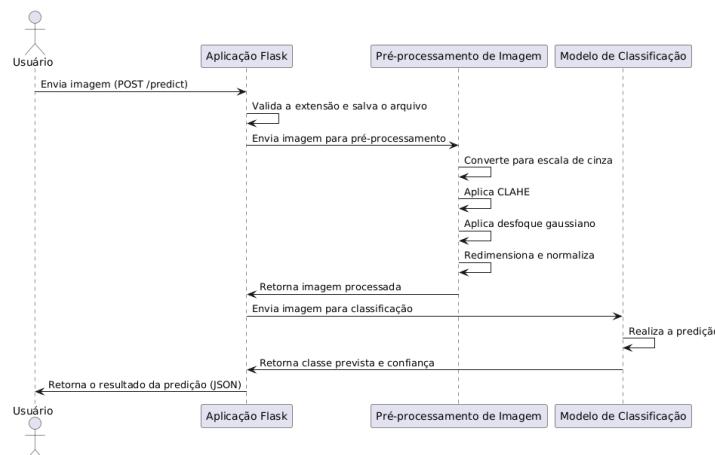


Figura 2. Fluxo de processamento do sistema AquaPanema

A aplicação foi organizada modularmente, com separação de responsabilidades em arquivos distintos no diretório src/, incluindo rotinas para carregamento de dados,

tratamento de imagens e execução do modelo. Essa estrutura favorece a escalabilidade e manutenção do sistema, além de possibilitar sua utilização como ferramenta de apoio em atividades didáticas voltadas à Educação Ambiental e ao ensino de Ciências da Natureza.

4 Resultados e Discussão

4.1 Construção do banco de dados

Para a construção do banco de imagens e treinamento inicial do modelo, foram utilizadas 23 espécies de peixes nativos de riachos tributários da bacia do rio Paranapanema, pertencentes ao reino *Animalia*, filo *Chordata* e classe *Actinopterygii*, distribuídas entre quatro ordens: *Characiformes* (9 espécies), *Gymnotiformes* (2), *Perciformes* (5) e *Siluriformes* (7). Os exemplares, cedidos por uma instituição de ensino superior parceira, foram fotografados em condições controladas sobre fundo cinza.

Para cada espécime, 65 imagens foram registradas com variações sistemáticas de ângulo e de altura da câmera, visando aumentar a diversidade e robustez do conjunto de dados. Desses, 50 imagens por espécie foram utilizadas para o treinamento do modelo e 15 para testes de validação. As variações de perspectiva, incluindo inclinações frontais, diagonais, laterais e distâncias verticais distintas, ampliaram a capacidade de generalização do sistema frente a diferentes condições de captura.

Seguindo o guia “Peixes do rio Paranapanema” (Duke Energy, 2008) foi desenvolvida uma tabela (Tabela 1) contendo informações sobre os peixes utilizados para o treinamento da aplicação. Esta tabela serviu como base inicial para a descrição de informações iniciais que serão apresentadas pelo sistema ao retornar à predição de uma espécie de peixe.

Com base no guia “Peixes do rio Paranapanema” (Duke Energy, 2008), elaborou-se uma base informativa contendo dados descritivos das espécies utilizadas no treinamento do modelo. Para cada exemplar, foram organizadas informações como nome popular, o nome científico e as principais características morfológicas, incluindo coloração, formato corporal, tipo de dentição e padrão das nadadeiras.

Os dados foram integrados ao sistema com o objetivo de enriquecer a experiência do usuário, permitindo que, ao realizar à predição de uma espécie, o aplicativo apresente não apenas o resultado do reconhecimento, mas também um conjunto de informações educativas e contextualizadas sobre o peixe identificado.

Por exemplo, ao identificar um *Ancistrus albino* (popularmente conhecido como cascudo ou cascudo-albino), o sistema informa que se trata de um peixe de corpo alongado e achatado ventralmente, com coloração esbranquiçada ou amarelada característica de indivíduos albinos. Apresenta barbatanas dorsais e caudais bem desenvolvidas, boca ventral em forma de ventosa, dentes semelhantes a escovas e olhos claros e ligeiramente salientes.

Já no caso da *Hoplias curupira*, conhecida como traíra-curupira ou traíra-negra, o aplicativo apresenta um perfil de peixe com corpo alongado e robusto, coloração

marrom escura a preta, com manchas claras irregulares no dorso e nas laterais. Suas nadadeiras dorsal e anal são espinhosas e escuras, a boca é grande e terminal, com dentes caniniformes adaptados à alimentação predatória, e os olhos estão posicionados lateralmente, com íris escura.

Essa abordagem visa aliar precisão taxonômica à acessibilidade do conhecimento, promovendo tanto o aprendizado científico quanto a valorização da biodiversidade local.

4.2 Protótipos de Tela

Para o desenvolvimento da aplicação, foi estruturado um sistema com seis interfaces principais, visando otimizar a usabilidade e a identificação automatizada de espécies. A navegação inicia-se na tela principal, onde o usuário insere a imagem para análise, sendo redirecionado à tela de resultado com a espécie identificada e informações complementares. O sistema inclui ainda telas de login e cadastro, garantindo acesso seguro e personalizado, além de interfaces para visualização do histórico de análises e edição de dados pessoais. A Figura 3 apresenta os protótipos das interfaces, evidenciando a organização funcional e a preocupação com a experiência do usuário.



Figura 3. Protótipos das interfaces da aplicação para identificação de espécies de peixes

4.3 Análise Estatística

Para a avaliação do desempenho do modelo de classificação, foi empregada a métrica de acurácia, a qual expressa a proporção de classificações corretas em relação ao total de predições realizadas. Essa métrica foi essencial para mensurar a eficácia da rede neural convolucional (CNN) na identificação automatizada das espécies de peixes.

A Figura 4(A) apresenta a evolução da acurácia ao longo das épocas de treinamento, considerando os conjuntos de treino e validação. Observou-se um aumento acentuado da acurácia nas primeiras iterações, com a acurácia de validação evoluindo de aproximadamente 70% para 99% até a 5^a época, mantendo-se estável nos ciclos subsequentes. A acurácia de treinamento também demonstrou rápida ascensão, ultrapassando 95% nas primeiras épocas e estabilizando-se em torno de 99%,

evidenciando a capacidade do modelo em aprender as características discriminativas das 23 espécies utilizadas.

Adicionalmente, foi analisada a função de perda (loss), que quantifica o desvio entre as previsões do modelo e os valores reais. A Figura 4(B) ilustra a queda expressiva da perda nos dados de treinamento durante as primeiras épocas, com posterior estabilização em valores próximos de zero. Esse comportamento indica um bom ajuste do modelo ao conjunto de dados, com significativa redução dos erros de previsão.

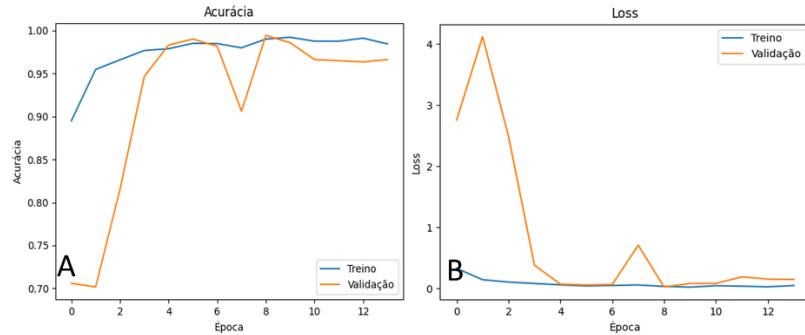


Figura 4. (A) Evolução da acurácia do modelo CNN durante o treinamento e validação; (B) Evolução da função de perda (loss) durante o treinamento do modelo CNN.

Já a perda nos dados de validação, embora tenha iniciado com valores mais elevados (superiores a 4 na segunda época), apresentou uma queda acentuada nas cinco primeiras épocas. A partir desse ponto, os valores de *loss* para validação mantiveram-se baixos e relativamente estáveis, com pequenas oscilações observadas nas épocas 7, 9 e 11.

Esse comportamento está alinhado com os resultados obtidos para a acurácia e sugere que o modelo não sofreu *overfitting*, uma vez que a perda de validação não apresentou aumento significativo nas últimas épocas. Além disso, a convergência das curvas de perda de treino e de validação em valores reduzidos reforça a capacidade de generalização do modelo, indicando que ele consegue manter um bom desempenho mesmo quando exposto a dados não vistos durante o treinamento.

5 Considerações finais

O projeto AquaPanema demonstra o potencial de integrar ciência da computação, biologia e educação ambiental por meio de uma ferramenta acessível e inovadora. O uso de visão computacional para reconhecimento de peixes representa um avanço importante para a popularização científica e o ensino de biodiversidade.

Como trabalhos futuros, propõe-se expandir o banco de imagens, incluir mais espécies e validar a aplicação em contextos escolares e comunitários. A proposta é ampliar o impacto do sistema na formação ecológica e científica de jovens e adultos.

A convergência entre IA e educação ambiental, proposta neste trabalho, é uma estratégia promissora para formar uma sociedade mais consciente e conectada com a conservação da biodiversidade regional.

6 Referências:

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Plano Integrado de Recursos Hídricos da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Paranapanema. Brasília: ANA, 2016.
- AGOSTINHO, A. A.; PELICICE, F. M.; PETRY, A. C.; GOMES, L. C.; JÚLIO JÚNIOR, H. F. Fish diversity in the upper Paraná River basin: habitats, fisheries, management and conservation. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, v. 10, n. 2, p. 174–186, 2007.
- BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 abr. 1999. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm. Acesso em: 18 maio 2025.
- BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/escola-em-tempo-integral/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal.pdf. Acesso em: 18 maio 2025.
- DOMENICO, M.; AGUIAR, L. M.; GARRAFFONI, A. R. S. Desafios da taxonomia: uma análise crítica. *Orbis Latina*, v. 2, n. 1, p. 35–48, 2012. Disponível em: <https://revistas.unila.edu.br/orbis/article/view/477/426>. Acesso em: 04 maio 2025.
- DUKE ENERGY. Peixes do rio Paranapanema. 2. ed. São Paulo: Horizonte Geográfico, 2008.
- FARIA, E. S.; COUTINHO, C. P. Gamificação e aprendizagem: o jogo como estratégia educativa. *Revista e-Curriculum*, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 450–475, 2016.
- FONTGALLAND, A. Tecnologias de Informação e Comunicação na Educação Ambiental: Possibilidades e Desafios. *Revista F&T*, 2022. Disponível em: <https://revistaft.com.br/tecnologias-de-informacao-e-comunicacao-na-educacao-ambiental-possibilidades-e-desafios/>. Acesso em: 18 maio 2025.
- GODFRAY, H. C. J. Challenges for taxonomy. *Nature*, v. 417, n. 6884, p. 17–19, 2002.
- HERNÁNDEZ, F. Transgressão e mudança na educação: os projetos de trabalho. Porto Alegre: Artmed, 1998.
- JARDULI, L. R. et al. Fish fauna from the Paranapanema River basin, Brazil. *Biota Neotropica*, v. 20, n. 1, e20180707, 2020. ISSN 1676-0611. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bn/a/XXXXX>. Acesso em: 15 maio 2025.
- LIMA, Í., COUTO, H., SOUZA, R., ALMEIDA, A., MAGNO, A., BAÍA, D.: SF2: Um aplicativo para identificar espécies de peixes do Baixo São Francisco. In: *Anais Estendidos do Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação (SBSI)*, SBC (2019). Available at: https://sol.sbc.org.br/index.php/sbsi_estendido/article/view/7461, Acesso em: 21/05/2025.
- LORENZETTI, L.; DELIZOICOV, D.; FRACALANZA, H. Ensino de Ciências e cidadania. São Paulo: Cortez, 2009.
- MORAN, J. M.; MASETTO, M. T.; BEHRENS, M. A. Novas tecnologias e mediação pedagógica. 21. ed. Campinas: Papirus, 2013.

NASCIMENTO, M. S.; MARQUES, J. D. O. Uma proposta didática empregando tecnologias digitais para a compreensão da importância dos solos na Educação Ambiental. *Revista Ponto de Vista*, Viçosa, v. 13, n. 3, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/rpv>. Acesso em: 18 maio 2025.

PICCOLI, M. S. Q.; PANIZZON, M. A popularização do conhecimento científico como forma de interação entre a academia e a sociedade. *Revista Brasileira de Pós-Graduação (RBPG)*, v. 17, n. 37, 2021.

REIS, R.E. et al.: Fish biodiversity and conservation in South America. *J. Fish Biol.* 89, 12–47 (2016)

RIBEIRO, G. C. et al. Inteligência artificial na educação: potencialidades e limites para o século XXI. *Revista Aracê*, São José dos Pinhais, v. 6, n. 4, p. 13867–13883, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/arev6n4-166>. Acesso em: 17 maio 2025.

SOUZA, C. L. Educação ambiental e práticas pedagógicas em espaços não formais: estudo de caso com escolas públicas de ensino fundamental. 2019. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). Artificial intelligence in education: challenges and opportunities for sustainable development. Paris: UNESCO, 2019. Disponível em: <https://www.gcedclearinghouse.org/sites/default/files/resources/190175eng.pdf>. Acesso em: 17 maio 2025.

VALENTE, J. A. Tecnologia educacional: possibilidades e limitações. *Revista Tecnologia Educacional*, Rio de Janeiro, v. 33, n. 2, p. 14–20, 2005.