

ARQUITETURA E IMPLEMENTAÇÃO DO ECOSSISTEMA DIGITAL ENTOMA-ARTHROPOTECA PARA O ENSINO DE ARTRÓPODES NO ENSINO MÉDIO

Lucas Vale¹, Juliana Castro Monteiro Pirovani¹, Dalana Campos Muscardi¹

¹Programa De Mestrado Em Ensino De Biologia Em Rede Nacional - Profbio/Ufes,
lucas.svale@edu.ufes.br

INTRODUÇÃO

Os artrópodes representam aproximadamente 80% de toda a diversidade animal conhecida e ocupam praticamente todos os ambientes da biosfera, desempenhando funções ecossistêmicas essenciais como polinização, ciclagem de nutrientes, decomposição e controle biológico (LOSEY E VAUGHAN, 2006; STORK, 2018). Nas últimas décadas, no entanto, evidências científicas robustas têm apontado declínios acelerados tanto em biomassa quanto em diversidade de insetos e outros artrópodes, situação que tem alarmado a comunidade científica e impulsionado o debate internacional sobre um possível colapso da entomofauna (HALLMANN ET AL., 2017; SÁNCHEZ-BAYO E WYCKHUYS, 2019). O desaparecimento de populações inteiras de insetos polinizadores, predadores e decompositores traz consequências diretas para a estabilidade ecológica e para sistemas agrícolas e urbanos, ampliando a necessidade de formar uma geração capaz de compreender, investigar e agir diante da perda de biodiversidade.

Enquanto isso, no contexto educacional brasileiro, o ensino sobre artrópodes enfrenta desafios persistentes. Pesquisas indicam que estudantes frequentemente associam invertebrados a repulsa, medo ou risco, o que dificulta o interesse e reduz a profundidade do engajamento cognitivo (WAGLER E WAGLER, 2011; SANTOS E BOCCARDO, 2020). Além disso, a abordagem de Zoologia na escola costuma ser marcada pela exposição oral, pela memorização de características morfológicas e pela ausência de atividades práticas que aproximem os estudantes de experiências científicas reais. Esses fatores reforçam concepções equivocadas e dificultam o desenvolvimento de habilidades de investigação, de argumentação e de análise crítica.

A literatura internacional e nacional convergem no sentido de afirmar que metodologias investigativas, especialmente aquelas baseadas em ciclos estruturados de observação, problematização, coleta e análise de dados, promovem ganhos significativos em aprendizagem de conceitos científicos, pensamento crítico e motivação intrínseca (MINNER, LEVY E CENTURY, 2010; LAZONDER E HARMSSEN, 2016). O ensino por investigação dialoga diretamente com as diretrizes da Base Nacional Comum Curricular, que reforça a centralidade de práticas científicas como formular hipóteses, manipular evidências, construir explicações e argumentar de forma fundamentada.

Nesse cenário, experiências pedagógicas com artrópodes apresentam vantagens singulares. Estudos mostram que o contato direto com esses organismos, quando mediado por

atividades práticas e instrumentos de investigação, contribui para a redução do medo e para o desenvolvimento de atitudes pró conservação, além de favorecer a construção de conceitos ecológicos e morfológicos mais complexos (WAGLER E WAGLER, 2014; BUSS E IARED, 2020). Em intervenção prévia desenvolvida em duas turmas de Ensino Médio, observou-se incremento conceitual expressivo e a emergência de categorias atitudinais como empatia, responsabilidade ambiental e motivação para conservação, resultados que reforçam a eficácia de sequências investigativas sobre artrópodes (VALE; MUSCARDI; PIROVANI, 2025).

Mesmo com seu potencial, a implementação de ensino investigativo é limitada por falta de materiais didáticos, incerteza docente sobre como conduzir práticas científicas e ausência de ferramentas que organizem etapas complexas como debates, votações, registros de campo e análises taxonômicas. Tecnologias digitais surgem como alternativa para estruturar e democratizar a prática investigativa. Ambientes digitais de apoio ao ensino de Ciências têm se consolidado como facilitadores de sistematização de dados, acompanhamento de processos investigativos, ampliação do engajamento e integração entre diferentes ferramentas cognitivas (KRAJCIK E MUN, 2014; OECD, 2025).

É nesse contexto que foi desenvolvido o ecossistema didático digital composto pelo ENTOMA e pelo Arthropoteca para o ensino de Arthropoda para estudantes do ensino médio. O ENTOMA é um aplicativo web destinado à mediação integral da sequência didática com aspectos investigativos, permitindo registrar hipóteses, estruturar debates, organizar fichas de campo e elaborar planos de ação. A Arthropoteca atua como guia de identificação que traduz caracteres morfológicos de artrópodes em percursos visuais e acessíveis, oferecendo também protocolos de coleta, fichas digitais e materiais de apoio.

A construção desses sistemas é objeto de uma pesquisa de mestrado profissional no ensino de biologia, que descreve a arquitetura, os princípios de design pedagógico, os mecanismos de usabilidade e a validação que orientaram o processo de desenvolvimento.

O presente artigo tem como objetivo apresentar esse produto educacional em sua versão integrada, discutir sua fundamentação teórica e metodológica e analisar suas potencialidades para o ensino de Ciências no Ensino Médio.

DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO EDUCACIONAL

A metodologia deste trabalho consiste na sistematização dos processos de concepção, desenvolvimento e integração dos dois ambientes digitais e na análise de sua pertinência pedagógica à luz de referenciais teóricos do ensino por investigação, da educação ambiental e da tecnologia educacional.

Os fundamentos empíricos que orientaram a construção do produto derivam da aplicação prévia de uma sequência didática investigativa sobre artrópodes em turmas de Ensino Médio, enquanto atividade laboral do docente que aqui se apresenta como autor, cujos resultados incluíram avanços conceituais e mudanças atitudinais significativas (VALE; MUSCARDI; PIROVANI, 2025). Esses achados funcionaram como prova de conceito para a necessidade de digitalização e estruturação da metodologia em um produto educacional replicável.

Os produtos educacionais obtidos através das interações com o ENTOMA também foram utilizados como fonte metodológica, fornecendo detalhamento sobre decisões de arquitetura, estrutura de interface, critérios de prontidão pedagógica e mecanismos de registro e exportação de dados. A análise apresentada neste trabalho se debruça sobre a descrição analítica do processo de desenvolvimento, com foco em aspectos pedagógicos e tecnológicos.

O WebApp ENTOMA

O ENTOMA (Figura 1) organiza a sequência didática com aspectos investigativos em quatro etapas: problematização, investigação de campo, debate argumentativo e plano de ação. O aplicativo possibilita o envio e a votação de hipóteses, o preenchimento de fichas de campo, o registro estruturado de argumentos durante debates e a elaboração de planos de ação de conservação. A interface foi projetada para reduzir atritos durante a mediação, funcionar com baixa conectividade e permitir exportação de dados em formatos acessíveis.

Figura 1. Tela inicial do WebApp ENTOMA

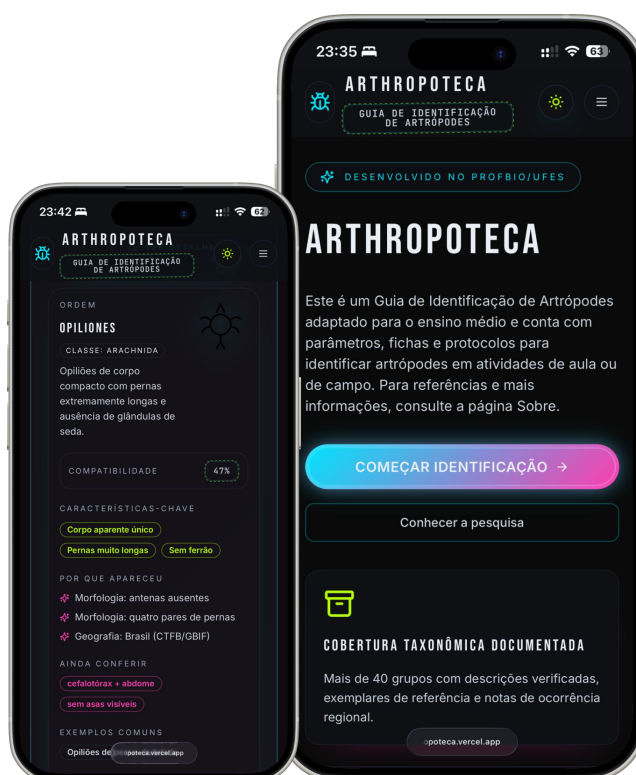


Fonte: Autoria própria

O WebApp ARTHROPOTECA

O Arthropoteca (Figura 2) funciona como guia digital de identificação de artrópodes baseado em caracteres morfológicos, com percursos interativos, catalogação ilustrada, protocolos padronizados de coleta e fichas de registro. O recurso busca traduzir chaves taxonômicas complexas em etapas visuais acessíveis e adequadas ao Ensino Médio, reduzindo dificuldades comuns enfrentadas por estudantes e docentes.

Figura 2. WebApp ARTHROPOTECA



Fonte: Autoria própria.

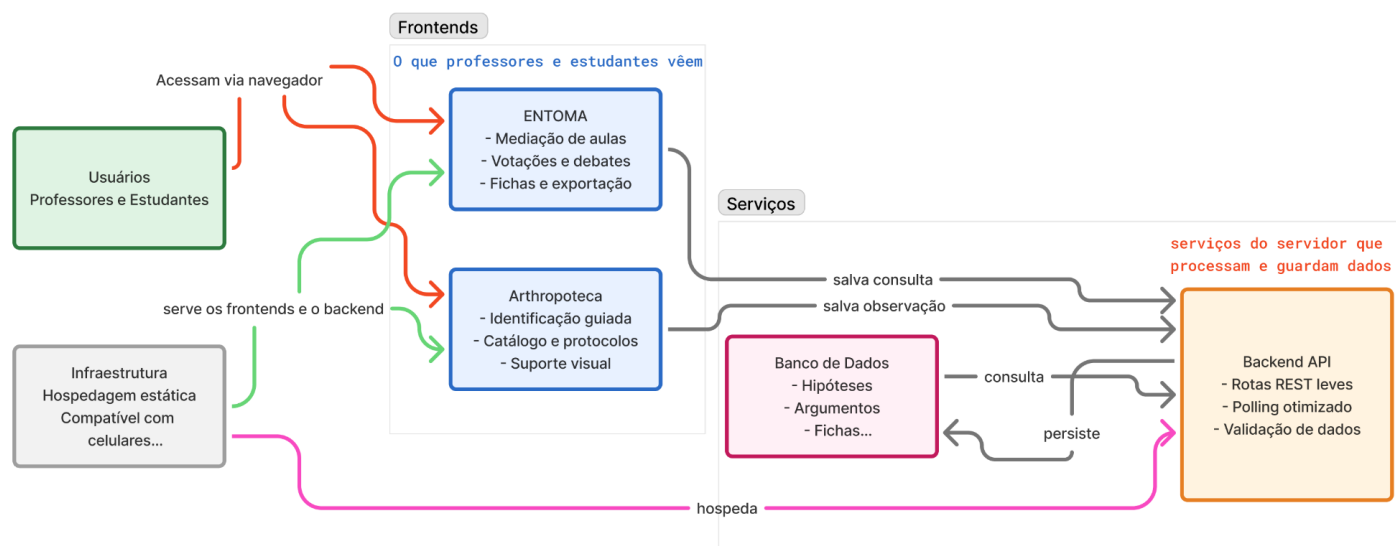
A Integração entre os WebApps e sua construção

Os dois ambientes operam de maneira complementar. O ENTOMA organiza a sequência didática e registra os dados produzidos pelos estudantes, enquanto a Arthropoteca orienta observações, classificações e registros morfológicos dos artrópodes observados no ambiente escolhido para a investigação. A integração permite que as tarefas investigativas gerem artefatos digitais consistentes, facilitando análises formativas, acompanhamento docente e pesquisas futuras.

A construção dos webapps ENTOMA e Arthropoteca seguiu um processo integrado de engenharia pedagógica e de software, com ciclos curtos de prototipagem, testes e refinamentos. O objetivo foi transformar a sequência didática em ambientes digitais responsivos, leves e

acessíveis, adequados ao uso em escolas públicas com conectividade limitada (Figura 3).

Figura 3. Diagrama de construção do ecossistema ENTOMA



Fonte: Autoria Própria

O ENTOMA foi implementado como um aplicativo de página única (SPA), escolhido por garantir fluidez durante ações de mediação como votação, envio de hipóteses e registro de argumentos. A interface foi projetada para funcionar majoritariamente em celulares, com comandos simples, textos curtos e feedback imediato. Os dados (hipóteses, votos, fichas de campo, argumentos e planos de ação) são persistidos por meio de um *backend*¹ enxuto, acessado de forma eficiente por *polling*², o que mantém a interface estável mesmo em redes instáveis. As validações de dados e a organização das etapas (aulas, painéis, exportações) visam reduzir o esforço operacional do professor, permitindo que a mediação da investigação ocorra sem interrupções.

A Arthropoteca utiliza a mesma base tecnológica, mas organiza a experiência em percursos visuais de identificação. Caracteres morfológicos são traduzidos em etapas curtas e acessíveis, que orientam o olhar do estudante para estruturas essenciais. O botão de incerteza ("Não sei") foi incorporado como elemento pedagógico central, permitindo a continuidade da investigação sem

¹ O backend (ou "lado do servidor") é a parte de um sistema de software que não é visível para o usuário. É responsável por processar a lógica do aplicativo, gerenciar a comunicação com o banco de dados (onde os dados são armazenados e persistidos) e garantir que a interface do usuário (frontend) funcione corretamente.

² Polling é uma técnica em que o aplicativo (frontend) faz requisições repetidas e regulares (como um "cheque" constante) ao servidor (backend) para verificar se há novos dados ou atualizações disponíveis (por exemplo, novos votos ou fichas de campo). É uma forma de garantir que a informação exibida esteja sempre atualizada, mesmo em redes de internet instáveis.

penalizar lacunas de observação. O sistema devolve uma ordenação de possíveis táxons e indica o que ainda precisa ser observado, apoiando a metacognição e o raciocínio investigativo. Além disso, protocolos de campo e fichas digitais foram desenhados para uso rápido em dispositivos móveis e para impressão simples, assegurando coerência entre versões digital e física.

A integração entre ENTOMA e Arthropoteca foi planejada para garantir a continuidade das práticas investigativas. Links diretos conectam as atividades de campo à identificação, e os arquivos exportáveis (CSV e PDF) padronizam a coleta de dados, o que facilita análises posteriores, comparações entre turmas e acompanhamento longitudinal. Essa articulação reduz o custo cognitivo para estudantes e docentes e viabiliza a prática investigativa mesmo em turmas numerosas, aspecto importante demonstrado no relato de experiência anterior (VALE; MUSCARDI; PIROVANI, 2025).

O desenho geral priorizou desempenho, legibilidade e acessibilidade. Foram adotadas estratégias de otimização como divisão de código, carregamento tardio de imagens, controle de contraste e alvos interativos ampliados, garantindo usabilidade adequada para diferentes perfis de estudantes. A arquitetura do ecossistema possibilita expansão futura, incluindo ampliação do acervo de imagens, upload de fotos de campo e geração automática de relatórios.

Em síntese, o ENTOMA e a Arthropoteca foram desenvolvidos para operacionalizar a sequência didática com mínimo atrito tecnológico, transformando as etapas diferentes etapas do ensino por investigação em fluxos interativos estáveis, intuitivos e coerentes com as práticas científicas escolares.

DISCUSSÃO

A análise integrada do ecossistema ENTOMA e Arthropoteca indica que a proposta atende de forma consistente a desafios recorrentes no ensino de Zoologia e contribui para o fortalecimento da cultura investigativa no Ensino Médio. A experiência prévia com a sequência didática sobre artrópodes havia demonstrado que estudantes ampliam significativamente seu conhecimento conceitual e desenvolvem atitudes pró-conservação quando participam de práticas de coleta, observação e discussão fundamentada (VALE; MUSCARDI; PIROVANI, 2025). A digitalização dessas práticas amplia sua exequibilidade e potencializa seus efeitos formativos.

O ecossistema contribui também para superar barreiras emocionais frequentemente associadas aos artrópodes. Estudos indicam que sentimentos de medo e repulsa reduzem o interesse e dificultam a aprendizagem (WAGLER E WAGLER, 2011). As ferramentas digitais permitem que o primeiro contato seja mediado por imagens e percursos seguros, o que desloca a atenção de aspectos aversivos para elementos científicos, favorecendo uma aproximação gradual e analítica dos organismos. Esse processo, somado às práticas investigativas de campo, tende a promover mudanças atitudinais profundas, como observado no relato de experiência anterior.

O ENTOMA fortalece o ensino por investigação ao estruturar atividades que, tradicionalmente, demandariam elevado esforço logístico e coordenação por parte do professor. Ao centralizar hipóteses, argumentações, fichas e planos de ação, o sistema permite que docentes concentrem sua energia na mediação conceitual e metodológica, conforme recomenda a literatura sobre práticas investigativas em Ciências (KRAJCIK E BLUMENFELD, 2014). A Arthropoteca complementa esse processo, ao traduzir caracteres morfológicos complexos em percursos acessíveis, conforme sugere Choate (2003), que destacam a necessidade de chaves amigáveis à educação básica.

Outro aspecto relevante da proposta é o desenvolvimento da argumentação científica. O módulo de debate do ENTOMA organiza informações, registra posições e permite que evidências coletadas em campo ou apresentadas em sala sejam incorporadas nas discussões. Esse processo converge com pesquisas que apontam que estruturas argumentativas explícitas promovem maior profundidade conceitual e melhor capacidade de análise crítica (OSBORNE, 2010). Os resultados relatados pela experiência anterior do docente confirmam que estudantes conseguem articular argumentos mais robustos quando vivenciam esse tipo de atividade, o que sugere que a ferramenta digital pode potencializar efeitos semelhantes (VALE; MUSCARDI; PIROVANI, 2025).

O ecossistema digital também aproxima o ensino de Ciências de temáticas socioambientais contemporâneas. A elaboração de planos de ação de conservação incentiva a autonomia dos estudantes e promove a percepção de que a biodiversidade local pode ser monitorada e protegida por meio de ações concretas. Esse movimento está de acordo com abordagens de educação ambiental crítica (CARVALHO, 2006) e com tendências internacionais de ciência cidadã escolar (BONNEY ET AL., 2016).

Um ponto adicional especialmente significativo é o fato de que o ENTOMA e a Arthropoteca foram projetados para funcionar em condições comuns de escolas públicas, caracterizadas pela ausência de laboratórios equipados e conectividade variável. A adoção de aplicativos leves, intuitivos e compatíveis com celulares amplia a democratização do ensino por investigação, possibilitando que escolas com poucos recursos implementem práticas de coleta, análise e discussão orientada de dados. Esse aspecto responde diretamente às recomendações de pesquisas sobre tecnologias educacionais em contextos com infraestrutura limitada (PROCTOR ET AL., 2011).

A proposta dialoga com tendências internacionais de ensino de biodiversidade que enfatizam o estudo de organismos locais, a integração entre observação direta e ferramentas digitais e a construção de dados gerados pelos próprios estudantes (TROUDET ET AL., 2021). Ao permitir que estudantes coletem, registrem e analisem dados sobre artrópodes presentes no

entorno escolar, os aplicativos contribuem para uma alfabetização ecológica que transcende a memorização e se aproximam da ecologia como prática investigativa.

De modo geral, o ecossistema ENTOMA e Arthropoteca se apresenta como uma inovação relevante para o ensino de Ciências no Ensino Médio. A articulação entre prática investigativa, mediação digital e formação para a conservação constitui um caminho consistente para transformar o ensino de Zoologia em uma experiência mais engajadora, acessível e epistemologicamente coerente com os desafios atuais da educação científica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ecossistema ENTOMA e Arthropoteca demonstra potencial significativo para qualificar o ensino de artrópodes no Ensino Médio ao combinar investigação científica, tecnologias digitais acessíveis e práticas de educação ambiental. A proposta atende a lacunas históricas do ensino de Zoologia e fortalece habilidades científicas fundamentais, como observação, registro, argumentação e análise de dados. Sua arquitetura digital contribui para reduzir barreiras logísticas e ampliar a autonomia de estudantes e docentes. Recomenda-se sua implementação em contextos escolares diversos e o desenvolvimento de estudos que analisem seu impacto longitudinal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALARCÓN, Diego et al. Science and inquiry-based teaching and learning: a systematic review. *Frontiers in Education*, 2023.

BIRD, Trevor; LIM, Kim. Digital tools and citizen science for biodiversity education: iNaturalist as a case study. *Citizen Science: Theory and Practice*, v. 5, n. 1, p. 1–15, 2020.

BONNEY, R. et al. Can citizen science enhance science learning? *BioScience*, v. 66, n. 6, p. 1–12, 2016.

BUSS, Bruna Caroline; IARED, Valéria Ghislotti. Artrópodes como tema gerador de uma prática educativa. *RevBEA*, v. 15, n. 1, p. 379–396, 2020.

BYBEE, Rodger W.; LANDIS, R. The 5E model: a learning cycle approach for constructivist teaching. In: GESS-NEWSOME, J.; LEDERMAN, N. G. (org.). *Examining pedagogical content knowledge*. Springer, 2019.

CARVALHO, Isabel. *Educação ambiental: a formação do sujeito ecológico*. São Paulo: Cortez, 2006.

CARDOSO, Pedro et al. Scientists' warning to humanity on insect extinctions. *Biological Conservation*, v. 242, p. 108426, 2020.

CHOATE, P. M. *Introduction to the Identification of Insects and Related Arthropods*. University of Florida, 2003.

CORNELISSE, Tamara; SAGASTA, Joselyn. The effect of conservation knowledge on attitudes toward arthropods. *Anthrozoös*, v. 31, n. 3, p. 283–296, 2018.

DURLAK, J.; DUPRÉ, E. Implementation matters: a review of research on the influence of implementation on program outcomes. *American Journal of Community Psychology*, v. 41, p. 327–350, 2008.

GRAFFUNDER, K. et al. Coleção zoológica: uma abordagem científica para o ensino sobre artrópodes. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 7, 2021.

HALLMANN, Caspar et al. More than 75 percent decline in insect biomass over 27 years. *PLOS ONE*, v. 12, e0185809, 2017.

JIN, Zhong. Invertebrate-based experiments in biology education. *Journal of Biological Education*, v. 37, n. 4, p. 181–187, 2003.

KRAJCIK, J.; MUN, K. Promises and challenges of using learning technologies to promote student learning of science. In: [s.l.], 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/305223278_Promises_and_challenges_of_using_learning_technologies_to_promote_student_learning_of_science. Acesso em: 10 dez. 2025.

LAZONDER, Ard; HARMSSEN, Ruth. Meta-analysis of inquiry-based learning. *Review of Educational Research*, v. 86, p. 681–718, 2016.

LOSEY, John; VAUGHAN, Mace. The economic value of ecological services provided by insects. *BioScience*, v. 56, p. 311–323, 2006.

MINNER, D.; LEVY, A.; CENTURY, J. Inquiry-based science instruction – What is it and does it matter? *Journal of Research in Science Teaching*, v. 47, p. 474–496, 2010.

ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO – OECD. The impact of digital technologies on students' learning: Results from a literature review. *OECD Education Working Papers*, n. 335, OECD Publishing, Paris, 2025.

OSBORNE, Jonathan. Arguing to learn in science. *Science*, v. 328, p. 463–466, 2010.

POTTS, Simon et al. Global pollinator declines. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 25, n. 6, p. 345–353, 2010.

PROCTOR, Eleanor et al. Outcomes for implementation research. *Implementation Science*, v. 6, 65, 2011.

SÁNCHEZ-BAYO, Francisco; WYCKHUYS, Kris. Worldwide decline of the entomofauna. *Biological Conservation*, v. 232, p. 8–27, 2019.

SANTOS, L.; BOCCARDO, L. O ensino de zoologia e a pedagogia da alternância. *Revista Brasileira de Educação Científica e Tecnológica*, v. 14, n. 2, 2020.

STORK, Nigel. How many species of arthropods exist? *Annual Review of Entomology*, v. 63, p. 31–45, 2018.

TEACHER, A. et al. Biodiversity literacy and digital tools in schools. *International Journal of Science Education*, 2022.

TROUDET, J. et al. The biases in biodiversity data. *PLOS Biology*, v. 15, e2002398, 2021.

TSYBULSKY, Dmitri. Comparing inquiry-based approaches. *Science & Education*, v. 27, p. 661–683, 2018.

VALE, Lucas; MUSCARDI, Dalana Campos; PIROVANI, Juliana Castro Monteiro. Relato de experiência: sequência didática investigativa sobre artrópodes no ensino médio. *Health and Biosciences*, v. 6, n. 3, p. 105-114, 2025. DOI: 10.47456/hb.v6i3.47060.

WAGLER, Ron; WAGLER, Amy. Arthropods: attitude and incorporation in preservice teachers. *International Journal of Environmental & Science Education*, v. 6, p. 229–250, 2011.

YOUNG, B. et al. iNaturalist in education: engagement and outcomes. *Ecology & Evolution*, 2023.