

Aplicativo Web Progressivo para Suporte à Ciência Cidadã e Disseminação do Conhecimento Científico

Yuri Junqueira Tobias
yuri.r.tobias@gmail.com
Departamento de Informática
Universidade Federal do Paraná
Curitiba, Paraná, Brazil

Izalorran Oliveira Santos
Bonaldi
iosbonaldi@gmail.com
Departamento de Informática
Universidade Federal do Paraná
Curitiba, Paraná, Brazil

Eduardo Todt
todt@inf.ufpr.br
Departamento de Informática
Universidade Federal do Paraná
Curitiba, Paraná, Brazil

ABSTRACT

Despite the high level of interest in science and technology among the Brazilian population, the country faces challenges such as a decline in scientific production and low academic performance in science in international assessments. This scenario demands the renewal of conventional pedagogical methodologies, with Citizen Science being a promising alternative to engage the public with research and science. This work presents a platform, developed under the Scrum framework, to support a Brazilian program that seeks to strengthen the collaborative network of research and basic education. The platform was conceived as a flexible hub for the creation, distribution, and curation of Citizen Science protocols, overcoming the limitations of fixed-protocol applications. The architectural design is based on PWA (Progressive Web App), React, Express, and Docker, with PWA being of great value for accessing native mobile device resources and accessibility in resource-limited environments. The main result is a tool that offers high flexibility in data and content management, supporting several field types (textual, numerical, scales, file uploads) and configurable access policies.

PALAVRAS-CHAVE

Ciência Cidadã, Aplicação Web Progressiva, Aprendizagem Ativa

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento e a compreensão da ciência são essenciais para os indivíduos participarem ativamente em discussões públicas e processos decisórios com componentes científicos ao seu redor [1]. Entretanto, apesar do alto nível de interesse da população brasileira em ciência e tecnologia [2], a produção científica nacional recuou nos últimos anos [3] e as escolas da educação básica apresentam desempenho em ciências abaixo da média dos países da OCDE [4]. Este cenário converge com debates sobre a eficiência das metodologias pedagógicas convencionais para o ensino de ciências, que apontam que abordagens tradicionais, como aulas expositivas, não são suficientes para promover uma compreensão profunda que envolva a resolução de problemas e a criatividade [5], além de levantarem os desafios de adequá-las às novas tecnologias e às preocupações com temas sociais [6].

Nesse sentido, a Ciência Cidadã — definida pelo dicionário Oxford como o trabalho científico realizado por membros do público em geral, frequentemente em colaboração com cientistas profissionais e instituições científicas, ou sob sua direção — apresenta-se

como tópico de estudo crescente e como alternativa para o engajamento público com a ciência [7]. Essa abordagem, ao mesmo tempo que permite coletar dados em grande escala e auxilia no controle dos grandes volumes de dados que caracterizam a pesquisa moderna [8], é considerada detentora de um vasto potencial no campo da educação científica [9]. No âmbito da sala de aula, a Ciência Cidadã introduz consciência comunitária, resolução de problemas e experiência prática aos alunos [10].

Direcionado à educação científica e em harmonia com as concepções da Ciência Cidadã, o Programa Interinstitucional de Ciência Cidadã na Escola (PICCE) é um programa brasileiro que busca criar e fortalecer uma rede colaborativa de pesquisadores, educadores e estudantes da educação básica do Paraná. O programa busca implementar processos formativos pautados em metodologias de ensino ativas, articuladas com conhecimentos contemporâneos para a inovação. Para isso, são desenvolvidas e aplicadas metodologias baseadas em protocolos de Ciência Cidadã, que servem como planos de trabalho e orientam a investigação de problemas reais, contendo fundamentação teórica, metodologia detalhada, formulário de coleta e orientações para discussão dos resultados [11].

Os protocolos envolvem cientistas cidadãos na exploração científica de diferentes tópicos relevantes para a realidade local. Desse modo, o programa possibilita maior participação e intervenção direta da população na pesquisa científica [11], contribuindo inclusive para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Destacam-se, entre outros, os ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), 4 (Educação de Qualidade), 6 (Água Potável e Saneamento), 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), 14 (Vida na Água) e 15 (Vida Terrestre), por meio de protocolos que abordam temas como a conservação da biodiversidade e dos ecossistemas terrestres, a gestão da qualidade de recursos hídricos e a promoção da saúde e da segurança no ambiente escolar.

A tecnologia apresenta-se como um potencial aliado para a Ciência Cidadã funcionar efetivamente. Métodos de coleta analógicos dificultam a obtenção remota dos dados [12], têm baixa precisão espacial, exigem considerável esforço para posterior sistematização digital [13], e a amplitude dos dados coletados torna complexos seu armazenamento e gestão [14]. Diante desse cenário, a tecnologia aprimora a coleta, processamento, análise e integração dos dados [15], com smartphones se destacando pela disponibilidade acessível de funcionalidades e sensores para obter mídias e informações de georreferenciamento [12, 16].

A digitalização da ciência cidadã é parte de uma tendência global de transformação da educação iniciada antes da pandemia de COVID-19 e potencializada por ela, refletindo-se em um pico histórico de

publicações no período [17]. Entretanto, este processo encontra barreiras estruturais nas escolas brasileiras, com o mesmo período evidenciando um atraso em relação à disponibilidade de recursos digitais, já que 50% das escolas públicas brasileiras apresentam qualidade de conexão com a internet predominantemente baixa [18].

Nesse sentido, as tecnologias desenvolvidas sob a perspectiva de ambientes educacionais de ensino básico devem considerar a mitigação de seus gargalos de conexão. Com isso, a tecnologia de Aplicativos Web Progressivos (PWA) desponta como uma ferramenta de apoio relevante, permitindo o desenvolvimento de aplicativos com a estrutura de um website, mas que oferecem a instalação como aplicativo nativo, a utilização de recursos e sensores do dispositivo e, crucialmente, o armazenamento offline de informações. Por permitir um desenvolvimento focado no funcionamento sem rede, o PWA torna-se propício para pesquisa de campo, tendo suportado o desenvolvimento de outras ferramentas de Ciência Cidadã [19, 20].

Diante do cenário apresentado, este trabalho propõe desenvolver uma nova ferramenta para suportar a implementação dos protocolos de ensino do PICCE, alinhando-se às necessidades específicas do programa na promoção de educação inovadora e ciência cidadã na escola, aos cenários da imperativa transformação digital da educação e à precária estrutura tecnológica nacional. Para tal, a plataforma foi concebida como um *hub* para criação, distribuição e apresentação de resultados de protocolos de Ciência Cidadã flexíveis, capazes de implantar não apenas a variada gama de protocolos desenvolvida pelo programa, como também quaisquer outros eventuais protocolos *ad-hoc*. O artefato foi desenvolvido como um PWA, preconizando o funcionamento em cenários com conexão instável ou inexistente, e sob os preceitos do código aberto, maximizando a transparência com relação às suas regras de negócio e tratamento de dados. Nesse sentido, o código-fonte completo e documentado da plataforma será disponibilizado futuramente em um repositório público, permitindo sua manutenção pela própria comunidade e fomentando o desenvolvimento colaborativo de ferramentas derivadas.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Esta Seção foca em apresentar trabalhos relacionados que envolvam ferramentas já existentes, abrangendo duas frentes principais que se conectam ao contexto da Plataforma PICCE: (1) a evolução das ferramentas relacionadas à Ciência Cidadã em geral e (2) as principais alternativas tecnológicas contemporâneas para Ciência Cidadã em âmbito acadêmico. O objetivo é fornecer um panorama de como a área se integra com a tecnologia e de que forma o artefato proposto se insere no estado da arte, evidenciando suas possíveis contribuições frente às soluções já disponíveis.

2.1 Ferramentas de Ciência Cidadã

Antes da formalização do termo Ciência Cidadã, projetos de ornitologia já utilizavam essa estratégia [21], utilizando protocolos sistemáticos escritos à mão, agrupados pessoalmente ou pelos correios [22]. A sistematização do conceito e a evolução tecnológica catalisaram a adoção de computadores pessoais, receptores de GPS e celulares [23]. O projeto de registros ornitológicos **FeederWatch**

representa essa evolução, iniciando com coleta analógica na década de 70, disponibilizando um sistema web para coleta em 1999 e, finalmente, um aplicativo móvel em 2018 [24].

Nos anos 2000, o avanço tecnológico popularizou as ferramentas de ciência cidadã, como exemplifica a disponibilização global do **eBird**, para registro de avistamentos de aves, reconhecido como um caso de sucesso na área e um dos principais bancos de dados de biodiversidade do planeta [25]. O advento dos smartphones, convergindo múltiplos sensores em dispositivos portáteis e acessíveis, consolidou um cenário em que cidadãos poderiam submeter evidências científicas e especialistas poderiam validá-las quase em tempo real [26, 27].

Desde então, diversas iniciativas de ciência cidadã adotaram dispositivos móveis para realizar coletas simplificadas e georreferenciadas [26]. Shah and Martinez [10] reafirmam essa tendência, apontando o potencial dessas ferramentas para a educação, destacando exemplos como o Project Noah para observação em ciências da vida e o Lichen AQ para mudanças climáticas e poluição. Por fim, outros autores apresentam aplicações de ciência cidadã especificamente pensadas para a educação, como o **nQuire** [28], o **BAYSICS** [29] e o **Globe Observer** [30].

A análise destas ferramentas serviu para embasar este trabalho, identificando características isoladas consistentes com aquilo proposto por ele, mas também evidenciando a lacuna de uma aplicação que reúna todas elas. O nQuire é o que mais se aproxima do modelo idealizado para a ferramenta proposta para o PICCE, permitindo a criação de missões flexíveis, que podem servir como protocolos, porém sua arquitetura baseada na web não permite a utilização plena em ambientes com conexão instável ou inexistente. Em contrapartida, o BAYSICS demonstra o potencial da tecnologia PWA justamente na superação de tais barreiras de conectividade, destacando o funcionamento *offline*. Embora este último possua um escopo fixo e estivesse inacessível no momento da escrita deste artigo, ele serviu de base para um *template* de código aberto [20], que viabiliza a criação de novas ferramentas de ciência cidadã, mas exige certo conhecimento técnico de desenvolvimento de software para sua implementação.

Por sua vez, o GLOBE Observer, um projeto da NASA que integra o Programa GLOBE (Global Learning and Observations to Benefit the Environment), em atividade desde 1995, constitui exemplo proeminente de aplicação de ciência cidadã, servindo inclusive de referência para a concepção de projetos de brasileiros da área do PICCE [11]. Trata-se de um aplicativo gratuito, disponível para plataformas móveis (iOS e Android), aberto ao público em geral com idade mínima de 13 anos. Tecnicamente, ele foi desenvolvido utilizando tecnologias web (JavaScript, HTML e CSS), o *framework* AngularJS e o Apache Cordova para empacotamento multiplataforma [30].

O projeto tem um impacto científico considerável, ampliando a densidade espaço-temporal das observações ambientais e consolidando-se como uma das iniciativas de Ciência Cidadã com maior cobertura geográfica em ciências da Terra. Seus dados, que são públicos e acessíveis para pesquisa e educação via portal (observer.globe.gov), download em CSV e API, abrangem protocolos fixos. A coleta é rigorosa e sistemática, exigindo treinamento interativo obrigatório no aplicativo e registrando automaticamente a data, hora, latitude

e longitude via GPS. O participante é solicitado a fornecer informações sobre as condições da superfície (ex.: neve, gelo), fotografias, classificações e inserções manuais de estimativas numéricas.

Apesar de seu sucesso, o GLOBE Observer apresenta uma limitação central para o contexto de projetos de ciência cidadã brasileiros do PICCE: a rigidez do seu catálogo de protocolos, suportando somente tipos fixos. Essa falta de flexibilidade o torna inadequado para a rápida adaptação e criação de novos protocolos exigidos pelo contexto nacional.

Seguindo a mesma linha do GLOBE Observer de ser uma aplicação com protocolos fixos e objetivos específicos, o **iNaturalist** se estabelece como uma rede social internacional de Ciência Cidadã voltada para o registro e compartilhamento aberto de observações da natureza — plantas, animais e ambientes. Fundado em 2008 e dirigido em parceria com a *California Academy of Sciences*, o iNaturalist combina funcionalidades de banco de dados, enciclopédia e fórum colaborativo. A plataforma também é gratuita e aberta, permitindo que qualquer usuário registre observações que incluem fotos, vídeos e metadados geográficos, contribuindo para a ciência de forma contínua e em tempo real. Seu conteúdo possui alta confiabilidade, por ser ativamente revisado pela comunidade e por curadores, sendo citado por um número significativo de artigos, demonstrando sua credibilidade e aplicação em pesquisas sobre biodiversidade. Sua interface amigável, interativa e com navegação simples o torna um recurso valioso para diversos públicos, incluindo educadores [31]. O principal diferencial do iNaturalist em relação ao GLOBE Observer reside na sua natureza de rede social e na sua abertura para acolher observações de uma vasta gama de espécies, superando parcialmente a limitação de protocolos estritamente restritos do programa da NASA.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta Seção apresenta os Métodos (abordagens de pesquisa e *framework* de desenvolvimento) e os Materiais (tecnologias, ferramentas e ambiente de desenvolvimento) utilizados na concepção e construção da Plataforma PICCE. O trabalho adota uma perspectiva metodológica dupla: a investigação científica é guiada pela Pesquisa-Ação Aplicada, e o desenvolvimento tecnológico utiliza o *framework* ágil Scrum, visando a garantia do rigor científico tanto na investigação quanto na implementação do artefato.

3.1 Abordagem de Pesquisa: Pesquisa-Ação Aplicada

A natureza de inclusão da ciência cidadã nas escolas, aliada ao desenvolvimento de uma solução tecnológica para problemas pedagógicos reais, demanda uma metodologia que integre teoria e prática, investigação e mudança. Por esta razão, adotou-se como abordagem a Pesquisa-Ação Aplicada, visando resolver um problema prático e imediato — a ineficiência de métodos tradicionais na aplicação dos protocolos de Ciência Cidadã — por meio do desenvolvimento do artefato tecnológico.

Em segundo lugar, esta abordagem se fundamenta na Ação e Participação. O ciclo de pesquisa inclui a participação ativa dos *stakeholders* (professores e pesquisadores do PICCE) no diagnóstico, construção e avaliação da plataforma. Assim, o artefato é estudado

e, simultaneamente, aplicado de maneira ativa no campo para gerar conhecimento e transformação.

Por fim, a metodologia se estrutura em um Ciclo Contínuo. A pesquisa segue um processo iterativo de planejar, agir, observar e refletir, permitindo aprimoramentos contínuos na Plataforma PICCE conforme ela é utilizada em contextos reais de sala de aula. É parte do escopo da pesquisa a documentação do processo de desenvolvimento da ferramenta enquanto artefato tecnológico, bem como a análise de seu design e arquitetura no contexto da problemática pedagógica identificada nas seções anteriores.

3.2 Estrutura Ágil de Desenvolvimento: Scrum

Para a construção e o aprimoramento contínuo da Plataforma PICCE, foi adotado o *framework* ágil Scrum. A escolha deste deve-se à necessidade de um modelo que permitisse a rápida adaptação do desenvolvimento aos requisitos emergentes, oriundos da colaboração com os demais pesquisadores do projeto, bem como à complexidade dos requisitos de Ciência Cidadã.

O Scrum se destaca por ser: (1) **iterativo**, no qual o trabalho é dividido em ciclos de curta duração (geralmente de 2 a 4 semanas), chamados de *Sprint*; (2) **incremental**, onde o software é construído em incrementos de funcionalidades que resultam em novos artefatos ou na melhoria daqueles produzidos previamente; por fim, (3) trata-se de um *framework* **ágil**, dado que prioriza a adaptação à mudança sobre o seguimento rígido de um plano, fundamental para um projeto de pesquisa e desenvolvimento onde os requisitos podem evoluir.

3.3 Tecnologias

A concepção da plataforma PICCE exigiu a adoção de uma arquitetura capaz de suportar um ambiente de Ciência Cidadã que demanda alta flexibilidade, escalabilidade e acessibilidade móvel. A escolha do *stack* envolve soluções, primordialmente, de código aberto já consolidadas, distribuídas entre as seguintes camadas: *frontend*, *backend*, banco de dados, infraestrutura operacional e dispositivos móveis, conforme mostra a Figura 1.



Figura 1: Visão geral do Stack tecnológico

Quanto a apresentação (*frontend*), a interface gráfica foi desenvolvida utilizando o *framework* **React** com sintaxe **JSX**, útil para a construção de interfaces de usuário dinâmicas e baseadas em componentes, permitindo gerenciar a complexidade de múltiplos

protocolos. O design responsivo e a usabilidade em diferentes dispositivos foram contemplados pelo uso da biblioteca **Bootstrap** para estilização dos componentes. Adicionalmente, a compatibilidade com dispositivos móveis e a experiência de uso similar a aplicativos nativos, foram aprimoradas através da arquitetura de *Progressive Web Application* (PWA).

Já a camada responsável pela lógica de negócio e pelo processamento eficiente de dados (*backend*), é orquestrada pelo ambiente de execução **Node.js**. Executado sobre o último, o *framework Express* simplifica o roteamento e a abstração de tarefas repetitivas. Para garantir a integridade e a conformidade dos dados recebidos, o construtor de esquemas **Yup** é utilizado na validação que precede a persistência.

Para o armazenamento dos dados, o **PostgreSQL** foi selecionado como Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD), em especial, devido à sua robustez, capacidade de lidar com consultas complexas e características relacionais. A interação com o banco de dados é intermediada pelo **PrismaORM**, que garante tipagem segura e facilita a modelagem declarativa e a gestão de migrações.

Em termos operacionais e de escalabilidade, o **Docker** foi empregado para containerização, assegurando a reprodutibilidade dos ambientes de desenvolvimento e produção. O controle de versionamento distribuído é realizado pelo **Git**, com a plataforma **GitHub** sendo utilizada para hospedagem remota, facilitando a coordenação do trabalho em equipe e o rastreamento seguro de todas as alterações. Toda essa integração tecnológica viabiliza o desenvolvimento de um artefato escalável e alinhado aos princípios metodológicos.

A plataforma está hospedada em um servidor Dell, arquitetura x86_64, com processador Intel Xeon w3-2435, 64 GB de memória RAM, 4 TB de armazenamento e uma GPU Nvidia RTX A4000, com 16 GB de memória.

4 ARQUITETURA E FUNCIONALIDADES DA APLICAÇÃO

A arquitetura da aplicação foi concebida em dois módulos logicamente distintos, mas implementados sobre uma base de código unificada. O primeiro, voltado à coleta de dados em campo, foi desenhado para operar como uma aplicação móvel, destinada aos cientistas cidadãos. O segundo, direcionado à gestão de usuários, manutenção de protocolos de pesquisa e análise de dados, constitui um painel administrativo *web* destinado a educadores e pesquisadores. Apesar da divisão funcional, a implementação monolítica permitiu a reutilização de componentes visuais e da lógica de negócio, aprimorando a portabilidade ao permitir o acesso multiplataforma — via aplicativo instalado ou navegador *web*.

O modelo de dados baseia-se em duas entidades fundamentais: **Protocolos** e **Aplicações de Protocolo**. Os Protocolos são abstrações digitais estruturadas, no formato de formulários, de guias de campo tradicionais, utilizados em práticas científicas para definir o esquema de dados a ser coletado. Eles servem como modelo para as Aplicações, que funcionam como instâncias de um Protocolo, destinadas à coleta de dados pelos usuários por meio do aplicativo. Assim, os usuários respondem a Aplicações que foram criadas a partir de um determinado Protocolo.

A gestão de usuários permite que estes sejam agrupados em **Instituições**, que representam no sistema entidades como escolas, universidades ou laboratórios de pesquisa, e **Grupos**, unidades operacionais menores compostas por pelo menos dois usuários. No âmbito do controle de acesso, os usuários são regidos por uma estrutura hierárquica de cargos com cinco níveis, em ordem decrescente: Coordenador, Publicador, Aplicador, Usuário e Visitante. Este modelo estabelece um escopo de permissões progressivo, onde um cargo de nível superior herda integralmente as capacidades operacionais dos níveis abaixo dele.

Nesta hierarquia, definem-se as interações possíveis do Usuário com Instituições, Protocolos, Aplicações e outros Usuários:

- **Usuários e Visitantes:** correspondem aos cientistas cidadãos, com permissão para visualizar, responder e acessar as respostas de Aplicações.
- **Aplicadores:** equivalentes aos educadores, possuem permissão para criar e gerenciar usuários, grupos e aplicações de Protocolos existentes.
- **Publicadores:** representam os pesquisadores, com poder para criar e gerenciar aplicadores e novos Protocolos;
- **Coordenadores:** equivalem aos responsáveis institucionais, com permissão para criar e gerenciar publicadores, assim como manter suas instituições.

4.1 Módulo para aplicação de Protocolos e coleta de dados

Este módulo objetiva instrumentalizar a participação dos cientistas cidadãos em vivências científicas, permitindo que estes acessem as Aplicações disponíveis, coletando e avaliando dados por meio delas. Para tal, a interface principal exibe uma lista dessas Aplicações, facilitando a seleção daquelas com as quais o usuário deseja contribuir (Figura 2). A página de coleta é estruturada em formulários dinâmicos, que viabilizam a submissão intuitiva de diferentes formatos de dados, conforme a necessidade dos pesquisadores responsáveis. Nesse caso, vale dizer que a flexibilidade dessa visualização e submissão é compatível com a diversidade de todos os protocolos desenvolvidos pelo PICCE.

A configuração dos Protocolos permite que dados de georreferenciamento (local, data e hora) sejam obtidos automaticamente, se desejado, o que agiliza as coletas e refina sua precisão. Ainda, a orientação aos usuários participantes se dá por meio de enunciados dotados de textos formatados e inclusão de imagens, as quais são otimizadas automaticamente por um sistema de galeria interno que pode ser apresentando também em questões de múltipla escolha. Além disso, a formatação do texto se dá por meio do suporte à linguagem de marcação Markdown, padrão amplamente utilizado na web, que permite textos de diferentes tamanhos, formatos e níveis de destaque.

A fim de atender às diversas demandas de pesquisa, os campos de entrada de dados do Protocolo suportam múltiplos formatos, conforme ilustrado na Figura 3, tais como:

- **Campos textuais:** permitem inserção livre de texto, podendo ser usados para descrições e observações qualitativas mais detalhadas.
- **Campos numéricos:** destinados a registros quantitativos, garantindo o formato matemático da entrada.

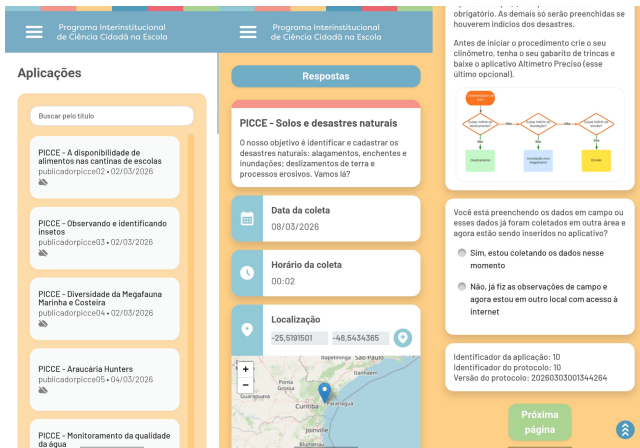


Figura 2: Tela inicial com lista de aplicações (esquerda), tela com trecho inicial de aplicação de Protocolo (centro) e tela com trecho final de página de aplicação de Protocolo (direita)

- **Seleções únicas ou múltiplas:** apresentam opções pré-definidas para escolha do usuário, visando questões que exigem padronização ou tabulação das respostas.
- **Escalas intervalares:** permitem a seleção de valores numéricos igualmente espaçados em um intervalo determinado, possibilitando coletas mais intuitivas de dados de intensidade, graduação e avaliação.
- **Upload de arquivos:** possibilita o envio de mídias diretamente pelo formulário, visando evidências visuais ou complementares.

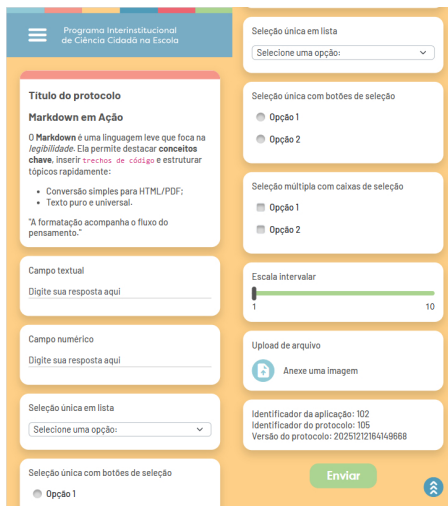


Figura 3: Exemplos dos diferentes campos de entrada suportados pela aplicação

Os componentes de um Protocolo (enunciados e campos) podem ser organizados em Tabelas, Páginas e Grupos, a fim de apoiar coletas estruturadas e sistematizadas. Adicionalmente, a exibição de tais componentes pode ser condicionada a regras pré-definidas, em que

a apresentação de um campo ou grupo depende de respostas anteriores, como o preenchimento de um valor específico, seleção de uma determinada opção ou número mínimo de seleções. Estes campos podem ainda receber validações específicas, como obrigatoriedade de resposta, limite de caracteres, intervalo de valores numéricos ou restrição no número de opções selecionáveis, visando garantir a integridade e padronização dos dados.

Considerando a infraestrutura de rede instável que caracteriza parte das pesquisas de campo em muitas regiões do país, o módulo oferece suporte ao funcionamento *offline*. Como mostra a Figura 4, após o primeiro acesso a um Protocolo com conexão ativa, o usuário pode continuar respondendo mesmo sem acesso à rede, pois as respostas são persistidas localmente no dispositivo, prevenindo a perda de dados. O envio da submissão é realizado de forma assíncrona, assim que a conectividade for reestabelecida. O usuário é notificado tanto no momento do envio *offline* quanto quando a submissão é efetivamente processada.



Figura 4: Notificações ao usuário de que o Protocolo continuará disponível apesar da ausência de conexão (esquerda) e de que a resposta será submetida quando houver conexão (direita)

Além de colaborar com coletas, os usuários também podem visualizar e analisar as respostas das Aplicações, conforme mostra a Figura 5. As respostas, exibidas apenas após curadoria dos responsáveis pela Aplicação, são apresentadas por meio de listas descritivas para entradas textuais, gráficos que demonstram as quantidades e porcentagens de escolhas em questões objetivas, e mapas de distribuição espacial dos dados.

4.2 Módulo de gerenciamento de Protocolos, Usuários e dados coletados

O módulo administrativo destina-se ao gerenciamento integral do ciclo de vida da pesquisa por parte dos educadores e pesquisadores responsáveis por manter Protocolos. Mantendo a tela inicial com uma lista de aplicações disponíveis, ele estende as funcionalidades do módulo de coleta, acrescentando interfaces para criação, manutenção

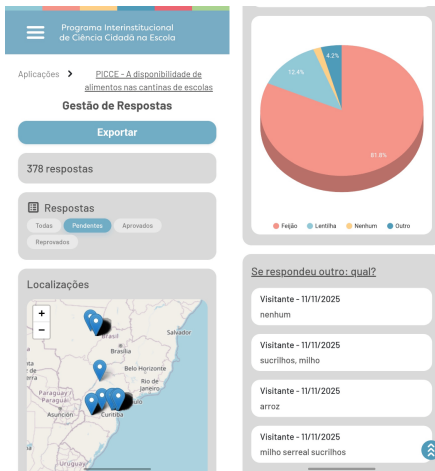


Figura 5: Tela de respostas mostrando mapa de distribuição espacial das respostas (esquerda) e mostrando gráficos e listas descritivas (direita)

e visualização de Instituições, Grupos, Protocolos, Aplicações e Usuários, conforme as permissões hierárquicas do ator.

A gestão de credenciais permite que educadores e pesquisadores cadastrem novos Usuários, gerando identificadores únicos e credenciais provisórias (criadas ou geradas aleatoriamente), as quais o próprio Usuário criado poderá alterar posteriormente. Adicionalmente, o sistema permite a associação flexível destes Usuários a Instituições — caso o criador faça parte de uma — e a Grupos de trabalho específicos — que podem ou não pertencer à instituição —, facilitando a organização de turmas ou equipes de campo. Tais informações, juntamente com a possibilidade de adicionar uma foto de identificação, podem ser visualizadas e gerenciadas pelos próprios Usuários na tela de perfil.

A funcionalidade central acrescida neste módulo é a gestão de Protocolos. O processo de criação envolve a definição de metadados e de políticas de acesso granulares, mostrados na Figura 6, e dos elementos que compõem o Protocolo, conforme Figura 7. Os metadados incluem um identificador, uma descrição, a habilitação do Protocolo — que o torna visível para outros Usuários ou o mantém como rascunho — e sua replicabilidade — que permite a outros Publicadores criarem uma réplica independente dele.

As políticas de acesso são compostas por Visibilidade, Visibilidade de Resposta e Aplicabilidade, que definem, respectivamente, quem pode visualizar o Protocolo, suas respostas e criar Aplicações a partir dele. Cada uma dessas políticas pode assumir três estados:

- **Pública:** a política permite que a ação seja realizada por qualquer Usuário, inclusive visitantes não autenticados.
- **Autenticada:** autoriza que a ação seja realizada somente por Usuários credenciados no sistema.
- **Restrita:** permite que a ação seja realizada somente por Usuários e grupos explicitamente declarados.

A modelagem dos itens do Protocolo permite aos pesquisadores desenhar a interface de coleta, estabelecendo os enunciados e as entradas de dados a serem solicitadas em campo. O criador define quais enunciados serão apresentados, quais entradas de dados serão

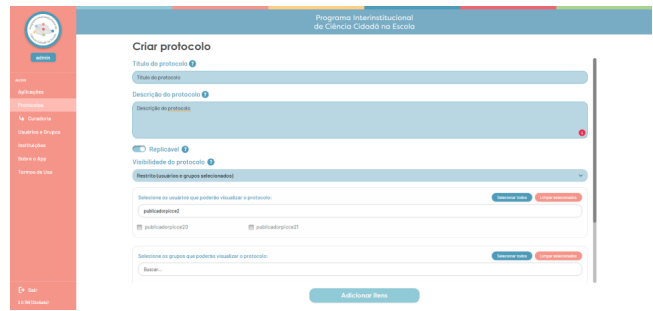


Figura 6: Tela mostrando os metadados e políticas de acesso na criação de Protocolos

solicitadas, como estes elementos serão ordenados e agrupados, quais restrições eles deverão respeitar e quais dependências existirão entre eles. Para tal, dispõe de uma barra de ferramentas com todos os tipos de itens que pode inserir no Protocolo e, para cada item, pode definir a qual página e a qual grupo ele fará parte, tal como a posição dele dentro destes. Por fim, para cada página e grupo, o Usuário pode definir quais dependências eles devem atender para se tornarem visíveis para o cientista cidadão.

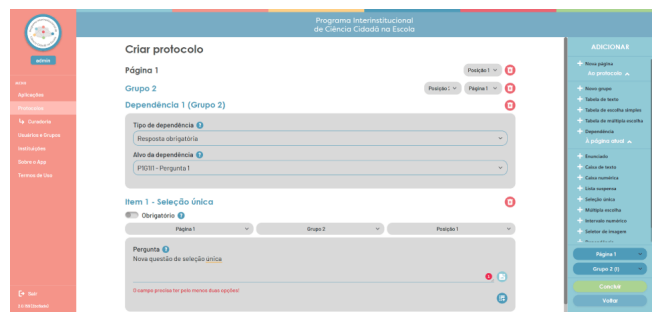


Figura 7: Tela mostrando a criação de itens de Protocolo

A partir dos Protocolos criados, é possível então criar Aplicações, que serão o meio pelo qual a plataforma receberá dados e respostas. No momento da criação, o pesquisador pode definir parâmetros de privacidade — como a coleta ou não de geolocalização — e redefinir políticas de acesso específicas para a Aplicação em relação às do Protocolo. Estas políticas devem respeitar as restrições do Protocolo original, ou seja, um Usuário que não vê o Protocolo nunca pode ver a Aplicação, mas nem todos os visualizadores do Protocolo precisam vê-la.

O módulo acrescenta também painéis mais avançados para análise e curadoria. Além de visualizar as respostas de Aplicações específicas, é possível visualizar as respostas de todas as Aplicações de um determinado Protocolo, com opções de filtragem por item, por respondente ou por Aplicação. Para permitir análises externas específicas, o sistema permite a exportação das respostas em formato CSV, acessível via softwares de visualização de planilha.

Por fim, conforme mostra a Figura 8, é por estes painéis que os criadores dos Protocolos e Aplicações ou os coordenadores de suas respectivas instituições podem realizar a curadoria das respostas,

evitando que respostas impróprias ou que violem os termos de uso sejam disponibilizadas publicamente. As respostas pendentes de validação são mostradas em lista e podem ser aprovadas, ficando públicas, ou removidas.

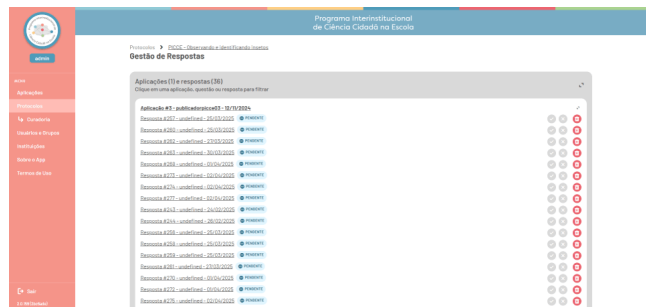


Figura 8: Tela para visualização de respostas de Protocolo e curadoria

5 RESULTADOS

Esta Seção apresenta os resultados alcançados em função dos dados de utilização e engajamento da comunidade de usuários desde a disponibilização da plataforma. O principal resultado obtido é a criação de uma ferramenta que confere flexibilidade na gestão de dados e na criação de conteúdo, superando a rigidez observada em aplicações globais de protocolos fixos, como algumas aplicações apresentadas na Seção 2. A demonstração de sua flexibilidade e extensibilidade arquitetônica reside no volume e na diversidade do portfólio já estabelecido.

Até a data de redação deste trabalho, a plataforma conta com 24 protocolos de pesquisa e 18 aplicações distintas criadas por pesquisadores e educadores, assim como com mais de 500 respostas submetidas por usuários, conforme ilustrado pela evolução temporal na Figura 9. É possível observar um salto substancial no volume de respostas acumuladas no período entre os meses de outubro e novembro de 2025. Esse pico justifica-se pela realização de uma fase de experimentação prática, que consistiu na aplicação presencial e supervisionada de um dos protocolos em campo pelos pesquisadores responsáveis por sua manutenção.

Destaca-se que, para garantir a precisão dos dados, os valores reportados foram submetidos a um processo de limpeza, onde foram excluídas respostas de teste. Ademais, esse volume de dados demonstra a facilidade e a eficiência da infraestrutura em traduzir diversas necessidades pedagógicas e científicas em ferramentas funcionais, validando o design modular e o modelo declarativo de criação.

Embora o detalhamento individual dos protocolos e aplicações seja omitido devido ao foco no artefato tecnológico, destaca-se a amplitude dos temas abordados. Os protocolos desenvolvidos abrangem áreas cruciais para o desenvolvimento sustentável e a consciência socioambiental, incluindo monitoramento de recursos hídricos, inventário de biodiversidade urbana e mapeamento de resíduos sólidos. Essa diversidade temática reflete a adaptabilidade da plataforma a diferentes necessidades curriculares e o potencial do *framework* proposto para auxiliar as escolas no diagnóstico e análise de uma vasta gama de problemas locais.



Figura 9: Gráfico do total acumulado de respostas em função dos meses desde a disponibilização da ferramenta.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram apresentadas a arquitetura e as principais funcionalidades de um artefato tecnológico desenvolvido sob a égide da Informática na Educação e da Ciência Cidadã. Nesse sentido, tem-se que a contribuição central do projeto reside no desenvolvimento de uma ferramenta robusta e flexível para auxiliar na disseminação do conhecimento científico em ambientes de ensino básico, promovendo a participação ativa dos estudantes. Diferentemente de aplicações globais existentes, que utilizam protocolos fixos (Seção 2.1), a plataforma foi arquitetada para permitir a criação de protocolos de diversos temas, contendo uma quantidade considerável de diferentes campos de guia e coleta. Outro grande diferencial é a adoção da arquitetura PWA, uma escolha estratégica pensada para o contexto acadêmico nacional, que enfrenta desafios de conectividade precária, garantindo o uso offline e a acessibilidade móvel com baixo consumo de armazenamento dos dispositivos.

O impacto da Plataforma PICCE é promissor, sendo um elo concreto entre as tecnologias atuais e a importância da pesquisa de campo (estudo prático) no processo educativo. Espera-se que a ferramenta contribua significativamente para o desenvolvimento estudantil, em especial no que diz respeito ao aprendizado científico, ao conectar a teoria do currículo com a realidade local dos alunos. Com um portfólio inicial, conforme o apresentado na Seção 5, o artefato demonstra seu potencial em termos de funcionalidade e aderência do público-alvo.

A partir deste ponto, a aplicação entra em uma nova fase, de uso mais intenso e de experimentos controlados, com foco na avaliação e validação empírica da experiência dos usuários, da usabilidade e da eficácia pedagógica da solução em diferentes contextos escolares. Neste momento, está sendo realizado um trabalho de conclusão de curso com ênfase na avaliação da ferramenta, cujo experimento encontra-se em fase avançada de avaliação pelo comitê de ética da UFPR.

Nessa perspectiva, os trabalhos futuros serão diretamente direcionados pelos resultados e *insights* obtidos durante a fase de validação em campo. A análise aprofundada do engajamento e da experiência dos usuários deverá gerar novos requisitos funcionais. Consequentemente, o projeto se voltará para a implementação

dessas novas funcionalidades, aprimorando o artefato de forma contínua e iterativa (Seção 3.2). Adicionalmente, devem ser desenvolvidos novos estudos de caso pedagógicos que explorem a eficácia da plataforma na melhoria do desempenho dos alunos em ciências e na promoção dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) em escala regional.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), da Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná (FA) e do programa Paraná faz Ciência.

REFERÊNCIAS

- [1] Robin Millar. Um currículo de ciências voltado para a compreensão por todos. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 5(2):146–164, December 2003. ISSN 1983-2117. doi: 10.1590/1983-21172003050206.
- [2] Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. *Percepção pública da C&T no Brasil - 2023: Resumo Executivo*. CGEE, Brasília, 2024. ISBN 978-65-5775-080-3.
- [3] Elsevier-Bori. Análise da produção científica de 1996-2022: queda inédita no número de artigos científicos do Brasil. Technical report, Elsevier and Agência Bori, 2023. URL <https://abori.com.br/publicacoes/>. Relatório técnico.
- [4] Brasil. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira Inep. Notas sobre o Brasil no PISA 2022. Nota técnica. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep), Brasília, DF, 2023.
- [5] Elvis M. Ganyaupfu. Teaching methods and students' academic performance. *International Journal of Humanities and Social Science Invention*, 2(9):29–35, 09 2013.
- [6] Givaldo Dos Santos Lins, Alex Da Silva, Almir Da Silva Lima, Maryone Cristina Souza, Roselândia Do Nascimento Prado, Gisélia Pinho Neto, Josefina Da Silva Costa, Manuel Afonso Alves Geronimo, Roseane Santos Costa, and Silvia Januária da Silva Araujo. Potentialities of new technologies in the teaching learning process in Brazilian public schools: a participating research approach. *Revista Gênero e Interdisciplinaridade*, 5(04):239–256, August 2024. ISSN 2675-7451. doi: 10.51249/gei.v5i04.2163.
- [7] Lena Finger, Vanessa van den Bogaert, Laura Schmidt, Jens Fleischer, Marc Stadler, Katrin Sommer, and Joachim Wirth. The science of citizen science: a systematic literature review on educational and scientific outcomes. *Frontiers in Education*, 8, August 2023. ISSN 2504-284X. doi: 10.3389/educ.2023.1226529.
- [8] Laura Trouille, Chris J. Lintott, and Lucy F. Fortson. Citizen science frontiers: Efficiency, engagement, and serendipitous discovery with human-machine systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(6):1902–1909, February 2019. ISSN 1091-6490. doi: 10.1073/pnas.1807190116.
- [9] Rick Bonney, Heidi Ballard, Rebecca Jordan, Ellen McCallie, Tina Phillips, Jennifer Shirk, and Candie C. Wilderman. Public participation in scientific research: Defining the field and assessing its potential for informal science education. a CAISE inquiry group report, 2009. URL <https://eric.ed.gov/?id=ED519688>. ERIC Number: ED519688.
- [10] Harsh R. Shah and Luis R. Martinez. Current approaches in implementing citizen science in the classroom. *Journal of Microbiology and Biology Education*, 17(1): 17–22, March 2016. ISSN 1935-7885. doi: 10.1128/jmbe.v17i1.1032.
- [11] Tamara Dias Domiciano, Jailson Rodrigo Pacheco, Anna Carolina Espósito Sanchez, Emerson Joucoski, Marco Antonio Ferreira Randi, and William José Borges, editors. *Práticas de investigação por meio de protocolos comuns compartilhados em rede*. Editora UFPR, Curitiba, 2023. ISBN 978-65-5458-189-9. E-book. Programa Interinstitucional de Ciência Cidadã na Escola (PICCE).
- [12] Katharina Dehnen-Schmutz, Gemma L. Foster, Luke Owen, and Séverine Persello. Exploring the role of smartphone technology for citizen science in agriculture. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(2), April 2016. ISSN 1773-0155. doi: 10.1007/s13593-016-0359-9.
- [13] Daniel D. Olson, John A. Bissonette, Patricia C. Cramer, Ashley D. Green, Scott T. Davis, Patrick J. Jackson, and Daniel C. Coster. Monitoring wildlife-vehicle collisions in the information age: How smartphones can improve data collection. *PLoS ONE*, 9(6):e98613, June 2014. ISSN 1932-6203. doi: 10.1371/journal.pone.0098613.
- [14] Francesco Cappa, Stefano Franco, and Federica Rosso. Citizens and cities: Leveraging citizen science and big data for sustainable urban development. *Business Strategy and the Environment*, 31(2):648–667, November 2021. ISSN 1099-0836. doi: 10.1002/bse.2942.
- [15] Mordechai Haklay, Daniel Dörler, Florian Heigl, Marina Manzoni, Susanne Hecker, and Katrin Vohland. *What Is Citizen Science? The Challenges of Definition*, page 13–33. Springer International Publishing, 2021. ISBN 9783030582784. doi: 10.1007/978-3-030-58278-4_2.
- [16] Dumitru Roman, Neal Reeves, Esteban Gonzalez, Irene Celino, Shady Abd El Kader, Philip Turk, Ahmet Soylu, Oscar Corcho, Raquel Cedazo, Gloria Re Calegari, Damiano Scandolari, and Elena Simperl. An analysis of pollution citizen science projects from the perspective of data science and open science. *Data Technologies and Applications*, 55(5):622–642, May 2021. ISSN 2514-9288. doi: 10.1108/dta-10-2020-0253.
- [17] Chengliang Wang, Xiaojiao Chen, Teng Yu, Yidan Liu, and Yuhui Jing. Education reform and change driven by digital technology: a bibliometric study from a global perspective. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), February 2024. ISSN 2662-9992. doi: 10.1057/s41599-024-02717-y.
- [18] Fabiano Scriptori de Carvalho, Luiz Alberto Pilatti, Hilda Alberton de Carvalho, and Isaura Alberton de Lima. Information and communication technology in Brazilian public schools: A sustainable legacy of the pandemic? *Sustainability*, 15(8):6462, April 2023. ISSN 2071-1050. doi: 10.3390/su15086462.
- [19] Andreas Björn-Hansen, Tim A. Majchrzak, and Tor-Morten Grønli. Progressive web apps for the unified development of mobile applications. In *Web Information Systems and Technologies*, page 64–86. Springer International Publishing, 2018. ISBN 9783319935270. doi: 10.1007/978-3-319-93527-0_4.
- [20] Anudari Batsaikhan and Stephan Hachinger. A progressive web app template for citizen science projects involving spatial data collection. In *2023 IEEE 19th International Conference on e-Science (e-Science)*, page 1–6. IEEE, October 2023. doi: 10.1109/e-science58273.2023.10254925.
- [21] Jessica Zelt, Jason Courter, Ali Arab, Ron Johnson, and Sam Droegge. Reviving a legacy citizen science project to illuminate shifts in bird phenology. *International Journal of Zoology*, 2012:1–6, 2012. ISSN 1687-8485. doi: 10.1155/2012/710710.
- [22] Brock Geary, Lisa Williams, C Robert Long, Reina M Tyl, and Roderick B Gagne. Christmas bird count data are a reliable harvest-independent index for ruffed grouse monitoring in the eastern united states. *Ornithological Applications*, 126(3), March 2024. ISSN 2732-4621. doi: 10.1093/ornithapp/duae011.
- [23] Muki Haklay. Citizen science and volunteered geographic information: Overview and typology of participation. In *Crowdsourcing Geographic Knowledge*, page 105–122. Springer Netherlands, June 2012. ISBN 9789400745872. doi: 10.1007/978-94-007-4587-2_7.
- [24] David N. Bonter and Emma I. Greig. Over 30 years of standardized bird counts at supplementary feeding stations in north america: A citizen science data report for project feederwatch. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, March 2021. ISSN 2296-701X. doi: 10.3389/fevo.2021.619682.
- [25] Steve Kelling. Improving data quality in ebird- the expert reviewer network. *Biodiversity Information Science and Standards*, 2:e25394, May 2018. ISSN 2535-0897. doi: 10.3897/biss.2.25394.
- [26] Gheorghe-Gavrilă Hognogi, Monika Meltzer, Filip Alexandrescu, and Lucrina Ștefănescu. The role of citizen science mobile apps in facilitating a contemporary digital agora. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), November 2023. ISSN 2662-9992. doi: 10.1057/s41599-023-02358-7.
- [27] Soledad Luna, Margaret Gold, Alexandra Albert, Luigi Ceccaroni, Bernat Clarumant, Olha Danylo, Muki Haklay, Renzo Kottmann, Christopher Kyba, Jaume Piera, Antonella Radicchi, Sven Schade, and Ulrike Sturm. Developing mobile applications for environmental and biodiversity citizen science: Considerations and recommendations. In *Multimedia Tools and Applications for Environmental amp; Biodiversity Informatics*, page 9–30. Springer International Publishing, 2018. ISBN 9783319764450. doi: 10.1007/978-3-319-76445-0_2.
- [28] Christothea Herodotou, Maria Aristeidou, Mike Sharples, and Eileen Scanlon. Designing citizen science tools for learning: lessons learnt from the iterative development of nquire. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 13(1), May 2018. ISSN 1793-7078. doi: 10.1186/s41039-018-0072-1.
- [29] Anudari Batsaikhan, Stephan Hachinger, Wolfgang Kurtz, Helmut Heller, and Anton Frank. Application of modern web technologies to the citizen science project basyics on climate research and science communication. *Sustainability*, 12(18):7748, September 2020. ISSN 2071-1050. doi: 10.3390/su12187748.
- [30] Helen M. Amos, Matthew J. Starke, Tina M. Rogerson, Marilé Colón Robles, Travis Andersen, Rebecca Boger, Brian A. Campbell, Russanne D. Low, Peder Nelson, David Overoye, Jessica E. Taylor, Kristen L. Weaver, Trena M. Ferrell, Holli Kohl, and Theresa G. Schwerin. Globe observer data: 2016–2019. *Earth and Space Science*, 7(8), August 2020. ISSN 2333-5084. doi: 10.1029/2020ea001175.
- [31] Christie A. Matheson. inaturalist. *Reference Reviews*, 28(8):36–38, 10 2014. ISSN 0950-4125. doi: 10.1108/rr-07-2014-0203.