

# Ecotrash: Protótipo Web para Promover o Descarte Sustentável de Lixo Eletrônico apoiado por Gamificação e Engajamento do Usuário

Guilherme José Johann<sup>1</sup>, José Carlos Toniazzi<sup>1</sup>, Lucas Hetzel Zundel<sup>1</sup>, Mayza Bernardi<sup>1</sup>, Thauane Amadigi<sup>1</sup>, Tuane Montagna<sup>1</sup>, Viviane Duarte Bonfim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Comunitária da Região de Chapecó (UNOCHAPECÓ)  
Caixa Postal 1141 – 89.809-900 – Chapecó – SC – Brazil

{guilherme.johann, zetoniazzi, lucas.zundel, mayza, thauane.amadigi, tuane.m, vividb}@[unochapeco.edu.br](mailto:unochapeco.edu.br)

**Abstract.** *This article addresses the logistics and engagement challenges of proper e-waste disposal and presents Ecotrash, a web prototype designed to address these barriers. The prototype integrates recycling bin location, collection scheduling, and a gamification approach to encourage proper recycling. The prototype was designed using the Scrum methodology and UML modeling, and its interactive prototype was validated with users using the System Usability Scale (SUS). The evaluation demonstrated good acceptance of the prototype, highlighting its educational potential and the usefulness of its main functions.*

**Resumo.** *Este artigo aborda o problema da logística e do engajamento no descarte adequado de lixo eletrônico e por isso apresenta o Ecotrash, um protótipo web projetado para solucionar essas barreiras. O protótipo integra localização de ecopontos, agendamento de coletas e uma abordagem de gamificação para incentivar a prática correta. O protótipo foi concebido com a metodologia Scrum e modelagem em UML, e seu protótipo interativo foi validado com usuários por meio da escala de usabilidade System Usability Scale (SUS). A avaliação demonstrou boa aceitação do protótipo, com destaque para seu potencial educativo e a utilidade das funções principais.*

## 1. Introdução

A sociedade contemporânea, impulsionada pela constante inovação tecnológica, enfrenta um desafio ambiental crescente: o lixo eletrônico, ou Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE). A geração global destes resíduos atingiu a marca recorde de 62 milhões de toneladas em 2022, com uma taxa de reciclagem documentada de apenas 22,3%. A previsão é que esse volume continue a crescer, evidenciando uma crise de sustentabilidade em escala mundial [Forti et al. 2024]. No Brasil, o cenário é igualmente preocupante. O país é o maior gerador de lixo eletrônico da América Latina, com mais de 2 milhões de toneladas anuais, mas com uma infraestrutura de reciclagem que ainda não atende à demanda [ABRELPE 2023]. Esses resíduos são particularmente perigosos pois contêm substâncias tóxicas como chumbo, mercúrio e cádmio, que, se descartadas em aterros comuns, contaminam o solo e a água, com sérios riscos à saúde pública.

Para regulamentar esta questão, o Brasil instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em 2010. A lei estabelece a responsabilidade compartilhada e prevê a logística reversa como o principal instrumento para garantir o descarte e a reciclagem adequados de produtos como os eletroeletrônicos [Brasil 2010]. Contudo, a

efetividade da PNRS ainda enfrenta barreiras significativas, principalmente a baixa adesão do consumidor. A falta de informação sobre onde e como descartar, a dificuldade de acesso a pontos de entrega voluntária (PEVs) e a ausência de incentivos diretos criam uma lacuna entre a política e a prática.

Nesse contexto, o protótipo web surge como uma ferramenta estratégica para superar essas barreiras. Aplicações móveis podem atuar como pontes, conectando cidadãos à infraestrutura de reciclagem e servindo como plataformas de conscientização e engajamento. Para preencher essa lacuna este artigo propõe o Ecotrash, um protótipo web concebido para facilitar e incentivar o descarte correto de resíduos eletrônicos. O protótipo integra, em uma única plataforma, a localização de pontos de coleta, o agendamento de recolhidas domiciliares, a disseminação de conteúdo educativo e um programa de gamificação para estimular a participação contínua.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: a Seção 2 revisa os trabalhos relacionados sobre o tema; a Seção 3 apresenta a metodologia de pesquisa e a modelagem que guiou o desenvolvimento; a Seção 4 apresenta os resultados obtidos, incluindo a descrição do protótipo Ecotrash e a análise da avaliação com usuários, seguida da discussão dos resultados; por fim, a Seção 5 expõe as considerações finais e os direcionamentos para trabalhos futuros.

## **2. Trabalhos Relacionados**

A Engenharia de Software tem se voltado cada vez mais para desafios de sustentabilidade, buscando desenvolver sistemas que influenciam positivamente o comportamento humano. No contexto da gestão de resíduos, a literatura aponta para o uso de Tecnologia Persuasiva, que consiste em projetar soluções computacionais com o objetivo de motivar e persuadir usuários a adotar hábitos desejáveis, sem usar coerção [Fogg 2003]. Uma das estratégias mais eficazes dessa abordagem é a gamificação, que aplica mecânicas de jogos (como pontos e recompensas) para aumentar o engajamento em tarefas pró-ambientais [Deterding et al. 2011].

Uma recente revisão sistemática da literatura sobre o tema, conduzida por Boncu, Candel e Popa (2022), confirmou que a maioria das intervenções digitais gamificadas foi bem-sucedida em seus objetivos, como o incentivo à reciclagem. No entanto, os autores alertam para a necessidade de um engajamento contínuo com a tecnologia para que os benefícios se mantenham a longo prazo.

Apesar dos avanços teóricos, a aplicação prática no contexto brasileiro para Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) ainda é fragmentada. Existem plataformas de logística, como as da Green Eletron e Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos (ABREE), mas que não oferecem mecanismos de engajamento contínuo [GREEN ELETRON, 2024; ABREE, 2024]. Para ilustrar essa lacuna e evidenciar a originalidade da abordagem proposta, a Tabela 1 a seguir apresenta uma análise comparativa entre as funcionalidades do Ecotrash e as soluções existentes.

**Tabela 1. Comparativo de funcionalidades entre Ecotrash e soluções existentes**

<b>Funcionalidade</b>	<b>Green Eletron /ABREE</b>	<b>Cataki</b>	<b>Ecotrash</b>
Foco Exclusivo em REEE	Sim	Não	Sim
Agendamento de Coleta	Não	Sim	Sim
Gamificação	Não	Não	Sim
Conteúdo Educativo Integrado	Básico	Não	Sim
Engajamento de Longo Prazo	Baixo	Moderado	Alto

Diante disso, o Ecotrash foi desenvolvido como um projeto que sintetiza a praticidade das plataformas de logística com as estratégias de engajamento da tecnologia persuasiva. Ele se diferencia ao aplicar esses princípios de forma holística, combinando funcionalidades que aumentam a capacidade do usuário com elementos que reforçam a motivação (gamificação e conteúdo educativo). Essa abordagem, focada no nicho de REEE, visa superar o desafio do engajamento de longo prazo.

### 3. Método de Pesquisa

A condução deste trabalho seguiu um processo estruturado, combinando práticas de engenharia de software ágil com métodos de avaliação do protótipo para garantir que o protótipo proposto fosse funcional quanto centrado no usuário. Esta seção detalha as etapas realizadas.

#### 3.1. Processo de Desenvolvimento e Requisitos

Desenvolvido sob a metodologia ágil Scrum, o projeto teve seu processo de levantamento de requisitos baseado na combinação da análise de documentos, como a literatura da área e as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos com entrevistas realizadas junto a potenciais usuários, cujo objetivo foi identificar os requisitos funcionais e não funcionais do protótipo. Conforme [Sommerville 2011], essa fase inicial é crucial, pois os requisitos são as descrições dos serviços que o protótipo deve prover e de suas restrições operacionais.

Os requisitos foram documentados por meio de Histórias de Usuário (HUs), que são uma forma de requisitos de usuário expressos em linguagem natural. As HUs detalham os principais requisitos funcionais que o Ecotrash deve oferecer aos atores Cidadãos (Tabela 2) e Empresas (Tabela 3). O projeto também considerou requisitos não funcionais essenciais, como a usabilidade da interface, que foi validada posteriormente através do questionário System Usability Scale (SUS).

**Tabela 2. Histórias de usuário (Cidadão)**

ID	História de Usuário
HU01	Como um cidadão, eu quero encontrar o ponto de coleta mais próximo para que eu possa descartar meus resíduos corretamente.
HU02	Como um cidadão, eu quero agendar a retirada de um item para que eu não precise transportá-lo.
HU03	Como um cidadão, eu quero receber pontos por cada descarte correto para que eu me sinta motivado a continuar reciclando.
HU04	Como um cidadão, eu quero ler artigos sobre os impactos do lixo eletrônico para que eu entenda a importância das minhas ações.
HU05	Como um cidadão, eu quero acessar campanhas de coletas que estão sendo realizadas próximas a mim.

**Tabela 3. Histórias de usuário (Empresa)**

ID	História de Usuário
HU01	Como uma empresa, eu quero ter a possibilidade de cadastrar meus pontos de coleta.
HU02	Como uma empresa, eu quero receber notificações referentes aos meus pedidos de coletas domiciliares.
HU03	Como uma empresa, eu quero promover campanhas de coletas para influenciar no descarte consciente.
HU04	Como uma empresa, eu quero gerenciar as solicitações de coleta domiciliar, podendo aceitá-las ou recusá-las, para organizar minha logística de trabalho.
HU05	Como uma empresa, eu quero atualizar as informações dos meus pontos de coleta, como horário de funcionamento e tipos de resíduos aceitos, para que os cidadãos tenham sempre os dados corretos.

### 3.2. Modelagem com UML

Com base nos requisitos, o protótipo foi modelado com a Unified Modeling Language (UML). A UML é uma linguagem visual padrão na engenharia de software, utilizada para especificar, visualizar e documentar os artefatos de um sistema, permitindo que suas características sejam definidas antes do início do desenvolvimento [Guedes 2011].

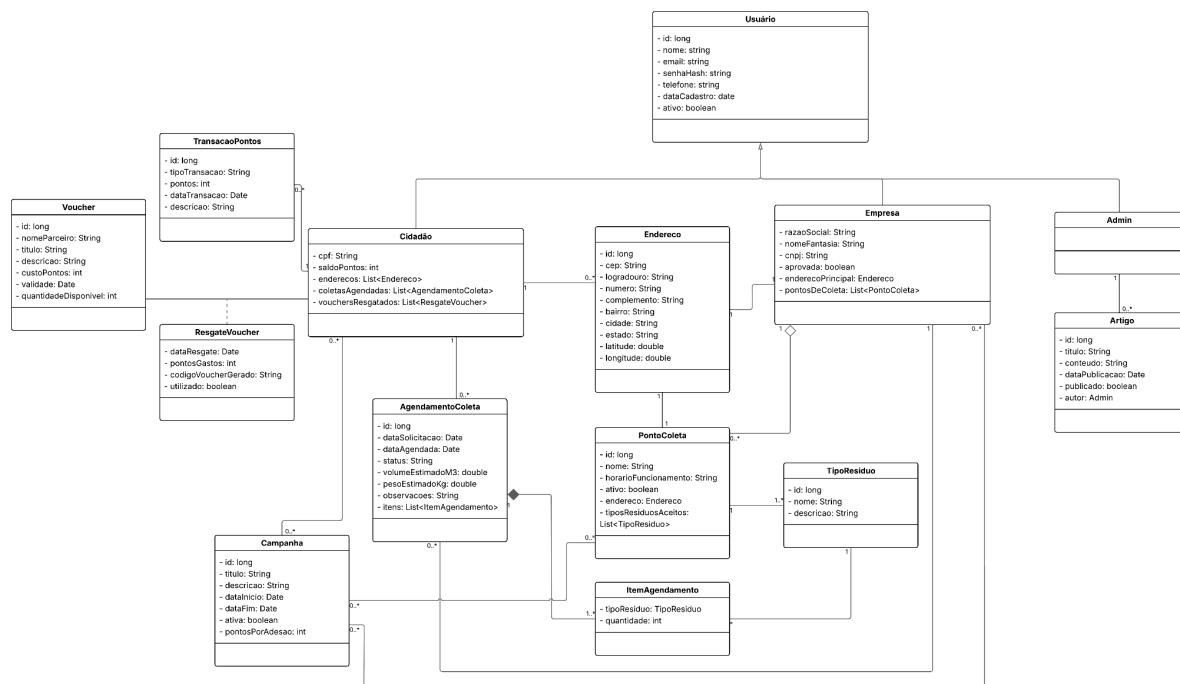
O Diagrama de Casos de Uso (Figura 1) foi empregado para apresentar uma visão externa das funcionalidades do Ecotrash. Conforme preconizado pela literatura,

este diagrama é de grande auxílio na fase de requisitos para identificar, visualizar e documentar as funções desejadas, apresentando o sistema sob a perspectiva do usuário [Guedes 2011]. Dessa forma, sua elaboração foi essencial para definir o escopo do protótipo e validar as interações dos atores Cidadão e Empresa com as funcionalidades propostas.



**Figura 1. Diagrama de Caso de Uso**

A estrutura estática do protótipo foi definida a partir de um Modelo Conceitual (Figura 2). Conforme a literatura, essa etapa inicial de modelagem é fundamental para representar as informações que o software necessita em termos de classes e seus relacionamentos, sem focar em detalhes de implementação como os métodos [Guedes 2011]. Este modelo serviu como a base que, posteriormente, evoluiu para um Diagrama de Classes detalhado, funcionando como o principal *blueprint* da arquitetura de software e guiando o desenvolvimento do protótipo.



**Figura 2. Modelo Conceitual**

## 4. Protótipo: Desenvolvimento e Avaliação

Esta seção descreve o desenvolvimento do protótipo de alta fidelidade do Ecotrash, detalha o método utilizado para sua avaliação junto aos usuários e, por fim, apresenta e discute os resultados obtidos.

### 4.1. Apresentação do Protótipo

A partir da modelagem definida, foi desenvolvido um protótipo web interativo com React.js e Next.js, buscando promover uma experiência de usuário fluida e responsiva. As figuras a seguir ilustram as telas centrais da jornada do usuário, que serviram como artefato para a avaliação. A interface apresenta as funcionalidades logísticas, como a localização de ecopontos (Figura 3) e o gerenciamento de coletas agendadas (Figura 4). O principal diferencial, no entanto, é a interface de gamificação (Figura 5), que busca promover o engajamento de longo prazo. Nela, o usuário visualiza seu acúmulo de pontos, acompanha seu progresso para o próximo nível e pode trocar seus pontos por recompensas tangíveis, como vouchers de desconto, materializando o incentivo ao descarte correto.

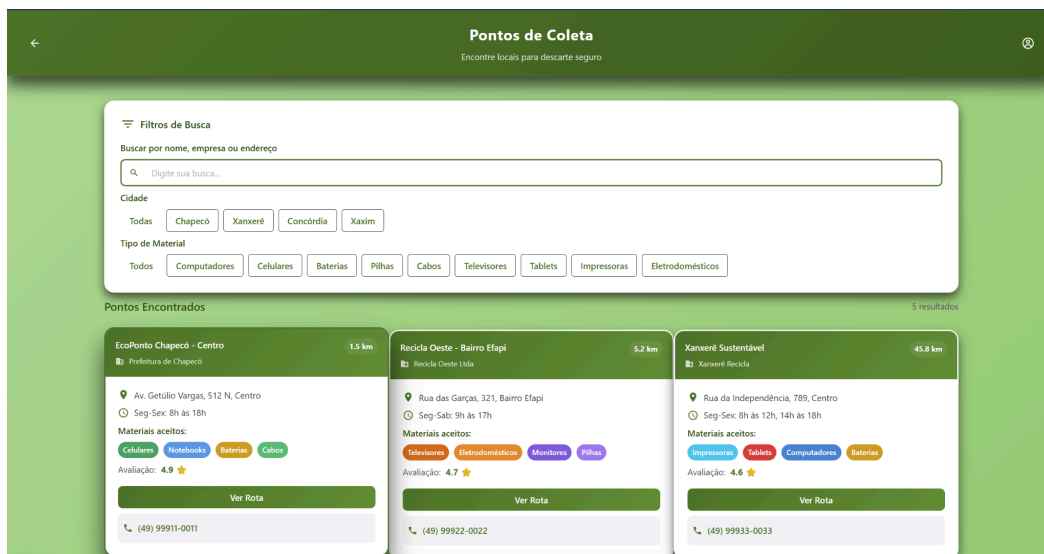


Figura 3. Interface de busca e localização de Pontos de Coleta



Figura 4. Tela de gerenciamento das Coletas Agendadas pelo usuário



Figura 5. Interface de gamificação

## 4.2. Avaliação do Protótipo

A avaliação do protótipo foi planejada e executada seguindo um processo estruturado de pesquisa quantitativa, utilizando um questionário como principal instrumento de coleta de dados. Para mensurar a percepção dos usuários sobre as funcionalidades, foi empregada a escala Likert, uma técnica consolidada para a medição de atitudes e opiniões [Likert 1932]. Adicionalmente, para aferir a usabilidade da interface, foi utilizado um questionário de 10 itens para aferir a usabilidade percebida, baseado no modelo SUS (System Usability Scale), um instrumento amplamente validado na indústria e na academia [Brooke 1996]. O processo foi composto pelas seguintes etapas:

- **1. Definição dos Objetivos:** A pesquisa teve dois objetivos centrais: (i) avaliar a utilidade, clareza e o potencial educativo das funcionalidades do protótipo (Funcionalidades e Relevância); e (ii) analisar a facilidade de uso da interface (Usabilidade Percebida).
- **2. Identificação do Público-Alvo:** O público-alvo foi definido como usuários de tecnologia em geral, que representam potenciais utilizadores do aplicativo Ecotrash, incluindo estudantes e profissionais de diversas áreas.
- **3. Plano de Amostragem:** A seleção dos participantes foi realizada por amostragem de conveniência, convidando pessoas da rede de contatos dos pesquisadores. O convite foi estendido a um público diversificado para obter diferentes perspectivas.
- **4. Projeto do Instrumento de Coleta:** Foi desenvolvido um questionário online (utilizando o Google Forms) como principal instrumento de coleta de dados. O questionário foi dividido em quatro partes:
  - **Termo de Consentimento:** Apresentação da pesquisa e solicitação do consentimento para participação.
  - **Dados Demográficos:** Coleta de informações de perfil, como faixa etária e cidade.
  - **Percepção sobre Funcionalidades:** Um bloco de perguntas fechadas, utilizando uma escala Likert de 5 pontos (de "Discordo Totalmente" a "Concordo Totalmente"), para avaliar a relevância e clareza das funcionalidades. Questões específicas foram incluídas para medir a percepção dos usuários sobre a eficácia do sistema de gamificação como um motivador para o descarte consciente.
  - **Avaliação de Usabilidade:** Aplicação do questionário System Usability Scale (SUS), um instrumento padrão composto por 10 itens para aferir a usabilidade percebida, alinhado ao segundo objetivo [Brooke 1996].
- **5. Teste do Instrumento:** Antes da distribuição, o questionário foi submetido a uma revisão interna pela equipe do projeto. Essa etapa serviu como um teste-piloto para verificar a clareza das perguntas, o tempo de preenchimento e identificar possíveis inconsistências, garantindo a qualidade do instrumento.
- **6. Distribuição do Questionário:** O protótipo interativo foi disponibilizado aos participantes através de um link. Após a interação livre e a execução de um roteiro de tarefas sugerido (e.g., "encontre um ponto de coleta", "agende uma



retirada"), os participantes foram direcionados ao link do questionário para registrar suas percepções de forma individual.

- **7. Análise dos Dados:** Foi definido que, após o período de coleta, os dados quantitativos (respostas da escala Likert e do SUS) seriam compilados e analisados por meio de estatística descritiva (frequências e porcentagens). Os resultados desta análise são apresentados na seção a seguir.

#### **4.3. Análise dos Resultados e Discussão**

O perfil dos participantes era predominantemente jovem (64,3% na faixa de 18 a 25 anos) e concentrado na cidade de Chapecó (64,2%). A análise das respostas aos questionários validou o Ecotrash como uma solução viável e com alto potencial de aceitação. A forte aprovação do conteúdo educativo (71,4% dos usuários consideraram os artigos totalmente relevantes) e das funcionalidades centrais confirma que o protótipo atende à necessidade primária dos usuários de ter um canal acessível para o descarte correto.

A análise da usabilidade percebida revelou uma dualidade interessante. Ao responder à afirmação "Achei o protótipo fácil de usar", 71,4% dos participantes concordaram totalmente, indicando uma forte percepção positiva sobre os fluxos principais. Em contraste, ao avaliar a afirmação "Achei o protótipo desnecessariamente complexo", 28,6% também concordaram. Este resultado sugere que, embora o sistema seja intuitivo em suas tarefas essenciais, existem pontos de complexidade em funcionalidades secundárias que representam uma clara oportunidade de refinamento para futuras iterações.

Finalmente, a abordagem de gamificação, principal diferencial do protótipo, teve uma recepção mista. Questionados diretamente sobre o potencial motivador do sistema, 71,4% dos usuários concordaram (total ou parcialmente) que se sentiram incentivados. No entanto, uma parcela considerável (21,4%) permaneceu neutra, indicando que a mecânica de pontos e recompensas não foi universalmente persuasiva. Este resultado é crucial, pois reforça a necessidade de calibrar os incentivos para maximizar o engajamento, um desafio já apontado pela literatura para garantir a adesão de longo prazo.

### **5. Considerações Finais**

O descarte inadequado de resíduos eletrônicos é um desafio ambiental urgente. Este artigo apresentou o Ecotrash, um protótipo de aplicativo que facilita o processo de descarte, conectando cidadãos à infraestrutura de reciclagem. Por meio de uma abordagem ágil e centrada no usuário, avaliamos um conceito que aborda as principais barreiras: a falta de informação e de incentivos, e a complexidade logística.

A principal contribuição deste trabalho reside em duas frentes: (i) a apresentação de um processo estruturado de concepção, desenvolvimento e avaliação de uma solução gamificada para o descarte de REEE; e (ii) a geração de insights práticos sobre a percepção dos usuários, que validam a utilidade do conceito e direcionam trabalhos futuros. O protótipo Ecotrash, como artefato, é em si uma contribuição tangível que pode ser expandida em projetos de extensão. A avaliação com usuários confirmou a

utilidade das funcionalidades propostas, especialmente o potencial educativo. O estudo também gerou insights cruciais para a evolução do projeto, destacando a necessidade de otimizar a interface e o sistema de gamificação.

Como trabalhos futuros, sugere-se a evolução tecnológica com o desenvolvimento de uma versão funcional da aplicação. Além disso, é necessário aprimorar o design de interação e a experiência do usuário, aplicando os aprendizados desta avaliação. Por fim, a validação em larga escala com um público mais amplo permitirá medir o impacto real da aplicação. Acreditamos que o Ecotrash tem o potencial para ser uma ferramenta de grande impacto na promoção da economia circular no Brasil.

## Referências

- ABREE (Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos) (2024). Onde descartar seu lixo eletrônico?. Disponível em: <https://abree.org.br/pontos-de-recebimento>.
- ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) (2023). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2023*. ABRELPE. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>.
- Boncu, S., Candel, O. S., and Popa, N. L. (2022). Gameful green: A systematic review on the use of serious computer games and gamified mobile apps to foster pro-environmental information, attitudes and behaviors. *Sustainability*, 14(16):10400.
- Brasil (2010). Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Diário Oficial da União.
- Brooke, J. (1996). SUS: A “quick and dirty” usability scale. In Jordan, P. W., Thomas, B., Weerdmeester, B. A., and McClelland, A. L., editors, *Usability Evaluation in Industry*. Taylor & Francis.
- Cataki (2024). Site oficial. Disponível em: <https://www.cataki.org/>.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., and Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: defining “gamification”. In *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*, pages 9–15.
- Fogg, B. J. (2003). *Persuasive Technology: Using Computers to Change What We Think and Do*. Morgan Kaufmann Publishers.
- Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., and Bel, G. (2024). *Global E-waste Monitor 2024: Electronic waste rising five times faster than documented e-waste recycling*. United Nations Institute for Training and Research (UNITAR). Disponível em: <https://ewastemonitor.info/>.
- Green Eletron (2024). Onde descartar. Disponível em: <https://greeneletron.org.br/onde-descartar/>.
- Guedes, G. T. A. (2011). *UML 2: Uma Abordagem Prática*. 2ª ed. Novatec Editora.