RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar O Saber. ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

Logística reversa e reciclagem de resíduos eletrônicos: desafios e oportunidades para a economia circular no Amazonas

Reverse logistics and electronic waste recycling: challenges and opportunities for the circular economy in Amazonas

Logística inversa y reciclaje de residuos electrónicos: desafíos y oportunidades para la economía circular en Amazonas

Daniel Ferreira Leitão – Centro Universitário Fametro
Guilherme Marques de Araujo – Centro Universitário Fametro
Carlos Eduardo Trindade de Souza – Centro Universitário Fametro

Resumo

A expansão do consumo de equipamentos eletroeletrônicos intensifica a geração de resíduos e exige alternativas para sua coleta e destinação ambientalmente adequada. No Amazonas, as distâncias entre municípios e as diferenças de acesso à infraestrutura ampliam os desafios da logística reversa. Este estudo teve como objetivo analisar os obstáculos e as oportunidades da logística reversa e da reciclagem de resíduos eletroeletrônicos no estado, articulando essa análise ao desenvolvimento de um protótipo de sistema web de apoio ao descarte consciente. Adotou-se abordagem qualitativa, de caráter aplicado, exploratório e descritivo, mediante pesquisa bibliográfica e documental e descrição dos artefatos do protótipo. A análise identificou entraves ligados à informação disponível ao consumidor, à capilaridade dos pontos de recebimento, aos custos da cadeia reversa e à articulação entre seus agentes. Também foram reconhecidas oportunidades associadas ao recondicionamento, à recuperação de materiais e à inclusão produtiva. Como resultado tecnológico, foram apresentados requisitos funcionais, casos de uso, modelagem de dados, diagramas e telas de uma plataforma destinada à consulta de orientações, à localização de empresas e à gestão de perfis empresariais. A correspondência entre telas e requisitos foi examinada documentalmente, sem comprovação de testes funcionais ou de uso em ambiente real. Conclui-se que o protótipo organiza informações relevantes e pode apoiar iniciativas existentes, mas sua efetividade depende de validação técnica, atualização dos dados e participação dos atores locais.

Palavras-chave: Logística reversa. Resíduos eletroeletrônicos. Economia circular. Reciclagem. Amazonas.

Abstract

The growing consumption of electrical and electronic equipment increases waste generation and calls for environmentally sound collection and disposal alternatives. In Amazonas, long distances between municipalities and unequal access to infrastructure add complexity to reverse logistics. This study aimed to analyze the barriers and opportunities associated with reverse logistics and electronic waste recycling in the state and to relate those findings to the development of a web system prototype supporting responsible disposal. A qualitative, applied, exploratory, and descriptive approach was adopted, drawing on bibliographic and documentary research and an examination of prototype artifacts. The analysis identified barriers related to public access to information, the geographic coverage of collection points, reverse-chain costs, and coordination among stakeholders. Opportunities included refurbishment, material recovery, and productive inclusion. The technological outputs comprised functional requirements, use cases, data modeling, diagrams, and interface screens for a platform designed to provide disposal guidance, locate participating companies, and manage business profiles. Screens were compared with specified requirements through documentary inspection; functional tests and real-world use were not demonstrated. The study concludes that the prototype offers an

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

organized information interface with potential to support existing initiatives, although its effectiveness still depends on technical validation, reliable data updates, and the engagement of local stakeholders.

Keywords: Reverse logistics. Electronic waste. Circular economy. Recycling. Amazonas.

Resumen
El aumento del consumo de equipos eléctricos y electrónicos intensifica la generación de residuos y exige alternativas para su recogida y gestión ambientalmente adecuada. En Amazonas, las distancias entre municipios y las desigualdades de acceso a la infraestructura agravan los desafíos de la logística inversa. Este estudio tuvo como objetivo analizar los obstáculos y las oportunidades de la logística inversa y del reciclaje de residuos electrónicos en el estado, vinculando este análisis con el desarrollo de un prototipo de sistema web de apoyo a la eliminación responsable. Se adoptó un enfoque cualitativo, aplicado, exploratorio y descriptivo, mediante investigación bibliográfica y documental y la descripción de los componentes del prototipo. Se identificaron obstáculos relacionados con la información disponible para el consumidor, la cobertura de los puntos de recepción, los costos de la cadena inversa y la coordinación entre sus agentes. También se reconocieron oportunidades de reacondicionamiento, recuperación de materiales e inclusión productiva. Como resultado tecnológico, se presentaron requisitos funcionales, casos de uso, modelado de datos, diagramas y pantallas de una plataforma destinada a consultar orientaciones, localizar empresas y gestionar perfiles empresariales. La correspondencia entre pantallas y requisitos se examinó documentalmente, sin acreditar pruebas funcionales ni uso en condiciones reales. Se concluye que el prototipo organiza información relevante y puede apoyar iniciativas existentes, aunque su eficacia depende de la validación técnica, la actualización de los datos y la participación de los actores locales.

Palabras clave: Logística inversa. Residuos eléctricos y electrónicos. Economía circular. Reciclaje. Amazonas.

1 Introdução

A presença de equipamentos eletroeletrônicos nas atividades cotidianas tem sido acompanhada por ciclos de substituição e descarte cada vez mais frequentes. Quando deixam de ser utilizados, celulares, computadores, monitores e outros dispositivos tornam-se resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE), cuja composição pode reunir materiais recuperáveis e substâncias que exigem manejo específico. O relatório The Global E-waste Monitor 2024 estimou a geração mundial de 62 milhões de toneladas desses resíduos em 2022; apenas 22,3% desse volume foi registrado como coletado e reciclado formalmente (BALDÉ et al., 2024).

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos estabeleceu a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e incluiu os eletroeletrônicos entre as categorias sujeitas à logística reversa (BRASIL, 2010). O Decreto nº 10.240/2020 detalhou a implementação do sistema para equipamentos de uso doméstico (BRASIL, 2020). Apesar desse marco normativo, estudos brasileiros identificam obstáculos referentes à cobertura territorial da

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

coleta, à articulação entre os agentes da cadeia reversa e ao conhecimento do consumidor sobre formas adequadas de descarte (SANTOS; OGUNSEITAN, 2022; SCHNEIDER; AANESTAD; CARVALHO, 2026).

No Amazonas, as particularidades territoriais tornam especialmente relevante a divulgação de alternativas de recebimento e reaproveitamento. Há experiências concretas de recondicionamento e inclusão digital, a exemplo do Instituto Descarte Correto, identificado pelo Ministério das Comunicações entre os Centros de Recondicionamento de Computadores atuantes em Manaus (BRASIL, 2024). Em agosto de 2026, a Prefeitura de Manaus iniciou a instalação de uma rede planejada de 62 Pontos de Entrega Voluntária em parceria com a Circular Brain, indicando avanços na estrutura de recebimento, mas sem representar, por si, cobertura integral do território estadual (MANAUS, 2026).

A gestão inadequada de REEE envolve perdas econômicas e riscos à saúde. Metais e componentes podem ser recuperados por processos de reciclagem e mineração urbana, enquanto a desmontagem e o processamento informais, realizados sem proteção adequada, podem expor trabalhadores e comunidades a contaminantes. A Organização Mundial da Saúde associa essas práticas inadequadas a riscos à saúde, particularmente entre crianças (OMS, 2021). Além da infraestrutura de coleta e tratamento, portanto, a qualidade das informações oferecidas à população integra o problema de pesquisa.

Diante desse cenário, formulou-se a seguinte questão: quais desafios e oportunidades da logística reversa de REEE podem ser identificados no Amazonas, à luz da literatura e de documentos institucionais, e como um protótipo web pode contribuir para organizar informações sobre descarte adequado?

O objetivo geral foi analisar os desafios e as oportunidades da logística reversa e da reciclagem de REEE no Amazonas e apresentar um protótipo de sistema web voltado ao acesso a orientações, categorias de materiais e informações sobre empresas coletoras. Especificamente, buscou-se: identificar entraves e iniciativas documentadas; relacionar essas evidências às necessidades informacionais do público; e descrever os requisitos, a modelagem e as interfaces do protótipo, distinguindo funcionalidades previstas de resultados efetivamente demonstrados.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

2 Marco teórico

2.1 Resíduos eletrônicos e impactos ambientais

Os REEE abrangem equipamentos descartados após perda de utilidade, defeito ou substituição tecnológica. Seus componentes podem incluir plásticos, vidro, metais ferrosos e não ferrosos, além de substâncias que demandam tratamento ambientalmente controlado. A OMS (2021) destaca os riscos associados à queima, à desmontagem e à recuperação informal de materiais, sobretudo quando essas atividades ocorrem sem medidas de proteção.

A destinação adequada deve considerar, conforme as condições do equipamento, possibilidades de prolongamento da vida útil, reaproveitamento de componentes e reciclagem.

O comportamento do consumidor também interfere nos fluxos de destinação. Em revisão sistemática, Dias et al. (2024) apontam a importância de estratégias de conscientização ambiental; em estudo realizado em João Pessoa, Brilhante e Nóbrega (2024) identificaram desconhecimento dos pontos de coleta entre os obstáculos ao descarte. Essas evidências sustentam a necessidade de informação acessível, mas não autorizam afirmar que esse comportamento ocorre com a mesma intensidade em todos os municípios amazonenses. Para Manaus há evidência pontual: Vasconcelos, Simão e Souza (2024) entrevistaram 71 servidores de uma secretaria municipal e registraram que cerca de 90% deles não conheciam nenhuma lei sobre o descarte de lixo eletrônico, resultado restrito a um único órgão público.

2.2 Logística reversa, política nacional de resíduos sólidos e economia circular

A logística reversa organiza o retorno de produtos e materiais após o consumo, com vistas ao reaproveitamento ou à destinação ambientalmente adequada. No caso dos eletroeletrônicos domésticos, a Lei nº 12.305/2010 e o Decreto nº 10.240/2020 definem responsabilidades e diretrizes de operacionalização, incluindo o envolvimento de fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e consumidores (BRASIL, 2010, 2020). A existência de regras, entretanto, não elimina dificuldades de implementação: Santos e Ogunseitan (2022) discutem barreiras e possibilidades do modelo brasileiro de logística reversa.

A economia circular propõe reduzir o desperdício de recursos mediante estratégias como manutenção, reparo, reuso, remanufatura e reciclagem. Em análise de desafios brasileiros, Mancini et al. (2021) ressaltam que a diversidade territorial e organizacional interfere na adoção de práticas circulares. Correia et al. (2024) identificaram a participação dos consumidores, a observância das normas e a articulação entre operadores como aspectos relevantes da cadeia

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

reversa de REEE. Assim, o retorno de materiais à produção depende tanto de processos técnicos quanto de condições institucionais e sociais.

2.3 Mineração urbana e potencial econômico dos resíduos eletrônicos

A mineração urbana consiste no aproveitamento de materiais presentes em produtos e resíduos já incorporados ao ambiente construído e aos fluxos de consumo. Ao estudar a valorização de REEE na região metropolitana do Rio de Janeiro, Ottoni, Dias e Xavier (2020) destacaram a relevância da localização de pontos de coleta e da estrutura de reciclagem para a recuperação de recursos. Giese, Lins e Xavier (2021) também discutem o papel das cooperativas de mineração urbana e as dificuldades de organização e operação desse segmento. O interesse econômico de recuperar cobre, alumínio e outros materiais não significa que toda operação seja tecnicamente ou financeiramente viável. A composição dos equipamentos, a escala de recebimento, os custos de transporte e a existência de instalações adequadas precisam ser considerados. Por isso, evitou-se reproduzir comparações quantitativas entre ouro contido em computadores e minério natural sem indicação de fonte e condições de medição.

2.4 Logística reversa e reciclagem de resíduos eletrônicos no Amazonas

No Amazonas, a concentração de serviços e instalações em centros urbanos, associada às distâncias regionais, exige atenção às condições concretas de acesso ao descarte. O Instituto Descarte Correto, em Manaus, participa do Programa Computadores para Inclusão por meio de atividades de recondicionamento de equipamentos e formação digital (BRASIL, 2024). Esse tipo de iniciativa articula gestão de resíduos e aproveitamento social de dispositivos, sem dispensar a destinação ambientalmente adequada dos componentes não reutilizáveis. No âmbito municipal, a Lei nº 2.501/2019 instituiu a coleta seletiva de lixo eletrônico e tecnológico nas zonas rural e urbana de Manaus (MANAUS, 2019).

Outra iniciativa documentada é a cooperação entre a Prefeitura de Manaus e a Circular Brain, formalizada em agosto de 2026 para ampliar a rede de recebimento de eletroeletrônicos na capital. A administração municipal informou o início da instalação de coletores e a previsão de 62 pontos de entrega voluntária, com encaminhamento dos resíduos à cadeia de logística reversa (MANAUS, 2026). A experiência evidencia a importância da integração entre poder público e empresas, mas o anúncio e o início da instalação não permitem concluir que todos os pontos já estivessem operacionais ou que municípios do interior tivessem sido atendidos.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

3 Material e método

Realizou-se pesquisa aplicada, exploratória e descritiva, de abordagem qualitativa, com duas frentes complementares: análise bibliográfica e documental sobre gestão de REEE e descrição de um protótipo de sistema web. A primeira permitiu reconhecer problemas e oportunidades relatados em estudos e registros públicos; a segunda consistiu no exame dos artefatos disponibilizados pela equipe, incluindo requisitos, casos de uso, modelos de dados, diagramas e capturas de tela. Não foram conduzidas entrevistas com consumidores, medições da geração de resíduos no Amazonas ou experimentos de impacto ambiental e econômico. Os resultados, portanto, expressam uma síntese analítica das fontes e a descrição da solução tecnológica, e não uma avaliação de efetividade em uso real.

3.1 Pesquisa bibliográfica e documental

A busca bibliográfica inicialmente descrita pelos autores utilizou o Google Acadêmico e os termos “logística reversa”, “resíduos eletrônicos”, “reciclagem de resíduos eletrônicos” e “economia circular”. O documento original registrou 35 resultados preliminares; como não foi apresentada uma planilha de triagem que permitisse reconstituir os registros excluídos, esse número não foi tratado como amostra final.

Para a composição do artigo foram conferidas as informações bibliográficas nas páginas dos periódicos e em repositórios institucionais, tendo sido incorporados à análise 12 artigos científicos efetivamente identificados, publicados entre 2020 e 2026. A seleção considerou pertinência ao objetivo, indicação verificável de autoria, ano e veículo de publicação, além de disponibilidade de resumo ou texto para conferência. Foram afastadas referências anteriores a 2020 como fundamento científico central, itens duplicados e afirmações cuja fonte não pôde ser sustentada.

A pesquisa documental compreendeu a Lei nº 12.305/2010 e o Decreto nº 10.240/2020, utilizados por sua vigência normativa, o relatório internacional The Global E-waste Monitor 2024, a publicação da OMS sobre riscos à saúde e registros públicos do Ministério das Comunicações e da Prefeitura de Manaus. As normas de 2010 e 2020 foram mantidas por constituírem marcos legais, não estudos científicos.

Na síntese temática, as evidências foram agrupadas em quatro dimensões: informação e participação do consumidor; infraestrutura e custos; governança da cadeia reversa; e

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

valorização de materiais e inclusão produtiva. Cada dimensão foi relacionada aos requisitos do protótipo, sem pressupor que a ferramenta, isoladamente, resolva problemas operacionais.

3.2 Desenvolvimento do protótipo

A equipe apresentou um protótipo de sistema web denominado EletroDescarte, destinado à consulta de informações sobre descarte consciente e à divulgação de empresas que recebem ou compram determinados REEE. O escopo registrado inclui guia informativo, catálogo de categorias, listagem e filtros por localização, modalidade de atendimento e tipo de resíduo, além de cadastro e manutenção de perfis empresariais. As etapas documentadas abrangeram definição de requisitos, casos de uso, modelagem de dados, diagramas e elaboração das interfaces exibidas na seção de resultados.

A proposta foi delineada para a realidade de acesso à informação sobre descarte no Amazonas. Serviços e iniciativas de recebimento de resíduos já existem no país e na própria capital amazonense; desse modo, a contribuição apresentada não é a criação de uma modalidade inédita de coleta, mas a organização, em uma interface voltada ao tema, de conteúdos educativos e informações que poderiam ser atualizadas pelos estabelecimentos participantes. A efetiva integração com bases externas, a verificação cadastral e a atualização automática dos registros não foram demonstradas.

3.3 Ferramentas e tecnologias

Conforme a documentação fornecida pela equipe, foram selecionados Java 21 para a lógica da aplicação, Spring Boot para a estrutura dos serviços web e MySQL para o armazenamento relacional de dados. O brModelo foi empregado na representação da estrutura de dados, e o PlantUML, na elaboração de diagramas. Essas escolhas se relacionam à organização dos módulos e à documentação dos vínculos entre empresas e categorias de resíduos. Não foi informada de modo verificável a tecnologia utilizada na camada de interface (front-end), razão pela qual não se atribuiu a ela linguagem ou biblioteca específica.

4 Resultados e discussão

Os resultados são apresentados em dois conjuntos: os artefatos de especificação e interface do protótipo e a síntese dos desafios e oportunidades extraída da literatura e dos documentos consultados. A análise distingue recursos especificados ou visualmente

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

representados de funcionalidades tecnicamente verificadas, uma vez que não foram disponibilizados registros de testes ou de operação com usuários.

4.1 Levantamento de requisitos

O Documento de Especificação de Requisitos (SRS) delimitou dois perfis de interação: o cidadão ou visitante, que consulta informações e procura opções de descarte, e a empresa parceira, que dispõe de recursos previstos para registrar e atualizar sua apresentação institucional. Os requisitos descritos a seguir representam o escopo planejado para a aplicação, e não a confirmação de que todas as funções estejam operacionais.

Os requisitos funcionais, organizados em módulos de informação e conscientização, de divulgação e de gestão de empresas, estão no Quadro 1.

Quadro 1 – Requisitos funcionais do sistema

Código	Requisito	Descrição
RF-01	Guia de Descarte Consciente	Disponibilizar guia informativo sobre o impacto ambiental do lixo eletrônico e os passos para o descarte ecologicamente correto.
RF-02	Catálogo de Materiais Apoiados	Listar os tipos de resíduos eletroeletrônicos aceitos (computadores, celulares, baterias, monitores, placas de circuito e cabos).
RF-03	Vitrine de Empresas	Exibir, na página inicial, uma lista de cards com as empresas parceiras ativas.
RF-04	Dados Exibidos no Card	Mostrar em cada card: foto ou logo, nome fantasia, modalidade de atendimento (coleta gratuita e/ou compra de resíduos), breve descrição dos serviços, localização (cidade e estado) e meio de contato (telefone ou WhatsApp).
RF-05	Busca e Filtragem	Permitir filtrar as empresas por localização (cidade/UF), categoria de resíduo aceito e tipo de operação (apenas coleta ou compra).
RF-06	Cadastro de Empresa	Permitir o cadastro de empresas parceiras com CNPJ e razão social, nome fantasia, e-mail e senha, telefone/WhatsApp, endereço completo, modalidades, resumo institucional e upload da foto ou logo.
RF-07	Vínculo de Categorias Aceitas	Permitir que a empresa selecione, no cadastro ou na edição, as categorias de materiais que aceita receber.
RF-08	Autenticação e Painel da Empresa	Permitir login por e-mail e senha para acesso a um painel restrito, no qual a empresa atualiza dados cadastrais, imagem e categorias aceitas.

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

Os requisitos não funcionais expressam condições desejadas de uso, segurança e compatibilidade, apresentadas no Quadro 2. A simples definição dessas condições não equivale à comprovação de conformidade ou desempenho.

Quadro 2 – Requisitos não funcionais do sistema

Código	Requisito	Descrição
RNF-01	Usabilidade e Responsividade	Interface responsiva, com boa navegação em computadores, tablets e smartphones.
RNF-02	Desempenho no Upload de Imagens	Envio otimizado da foto ou logo, aceitando arquivos de até 5 MB nos formatos PNG ou JPG/JPEG.
RNF-03	Segurança no Armazenamento de Credenciais	Prever armazenamento de senhas por função de hash robusta, com algoritmo e configuração sujeitos à comprovação em teste técnico.
RNF-04	Privacidade e Conformidade	Prever medidas de privacidade e proteção de dados conforme a LGPD (BRASIL, 2018), com verificação de conformidade em etapa posterior.
RNF-05	Disponibilidade e Compatibilidade	API e front-end compatíveis com os principais navegadores (Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge e Safari).

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

4.2 Casos de uso

Os casos de uso descrevem as interações esperadas entre os perfis definidos e a plataforma. Para o visitante, foram previstos acesso ao conteúdo educativo e filtros de busca sem autenticação. Para as empresas, o escopo contempla cadastro, autenticação e edição das próprias informações.

O Quadro 3 resume esses fluxos especificados, e a Figura 1 apresenta sua representação gráfica.

Quadro 3 – Casos de uso do sistema

Código	Caso de uso	Ator principal	Descrição
UC01	Consultar Guia de Descarte Consciente	Cidadão / Visitante	Leitura de conteúdos sobre o descarte correto e o impacto ambiental do lixo eletrônico, além do catálogo de materiais aceitos. Acesso público.
UC02	Visualizar Empresas na Home Page	Cidadão / Visitante	Exibição, na página inicial, dos cards das empresas parceiras ativas. Acesso público.
UC03	Buscar e Filtrar Pontos de Coleta	Cidadão / Visitante	Refinamento da lista de empresas por localização, modalidade ou categoria de resíduo. Quando nenhuma empresa atende aos filtros, o sistema informa que nenhum ponto de coleta foi encontrado.

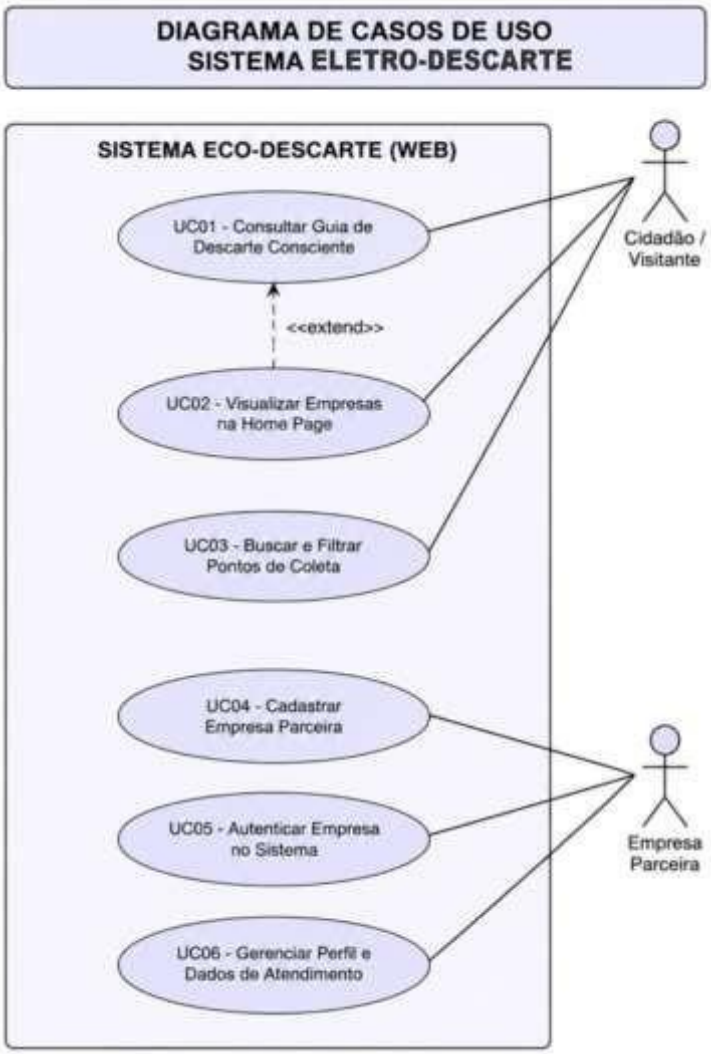
Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

Código	Caso de uso	Ator principal	Descrição
UC04	Cadastrar Empresa Parceira	Empresa Parceira	Autocadastro da empresa para figurar na vitrine da página inicial. Exceções: CNPJ ou e-mail já cadastrado; foto em formato ou tamanho inválido.
UC05	Autenticar Empresa no Sistema	Empresa Parceira	Validação de e-mail e senha para acesso ao painel restrito. Exceção: credenciais inválidas. Pré-condição: cadastro prévio (UC04).
UC06	Gerenciar Perfil e Dados de Atendimento	Empresa Parceira	Atualização de contato, localização, descrição, foto e categorias aceitas, com reflexo nos cards da página inicial. Pré-condição: empresa autenticada (UC05).

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Figura 1 – Diagrama principal de casos de uso



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

4.3 Modelagem do banco de dados

A modelagem relacional prevista para MySQL articula as entidades Empresa, Categoria_Lixo e Empresa_Categoria, descritas no Quadro 4. A estrutura foi concebida para relacionar as organizações participantes aos materiais por elas recebidos.

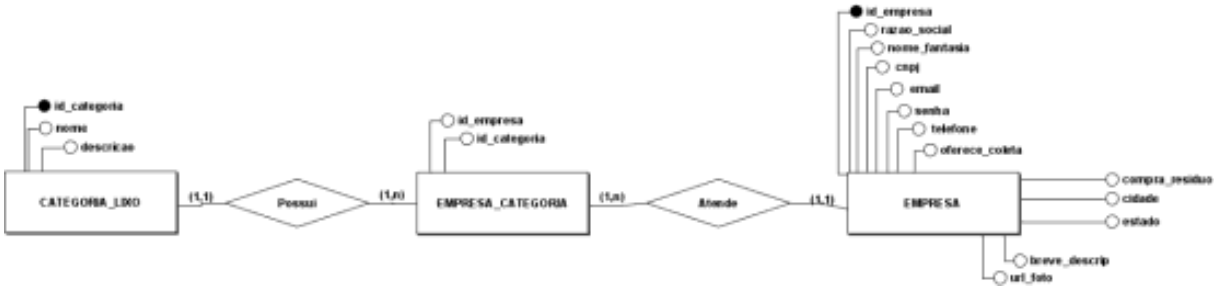
Quadro 4 – Entidades do banco de dados

Entidade	Descrição
Empresa	Armazena os dados cadastrais, de localização e de contato, as modalidades de atendimento (coleta e/ou compra), as credenciais de acesso e a foto ou logo das empresas parceiras exibidas na página inicial.
Categoria_Lixo	Representa os tipos de resíduos eletroeletrônicos aceitos no sistema, como monitores, celulares, baterias e placas de circuito.
Empresa_Categoria	Entidade associativa que liga cada empresa às categorias de resíduos que ela está apta a coletar ou comprar.

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

A relação entre Empresa e Categoria_Lixo é do tipo muitos para muitos e foi representada pela entidade associativa Empresa_Categoria. Na modelagem apresentada, cada vínculo registra a correspondência entre uma organização e determinada categoria de resíduo. As Figuras 2 e 3 representam, respectivamente, a estrutura conceitual e o modelo lógico; elas não constituem evidência de testes de integridade dos dados.

Figura 2 – Diagrama entidade-relacionamento (DER)

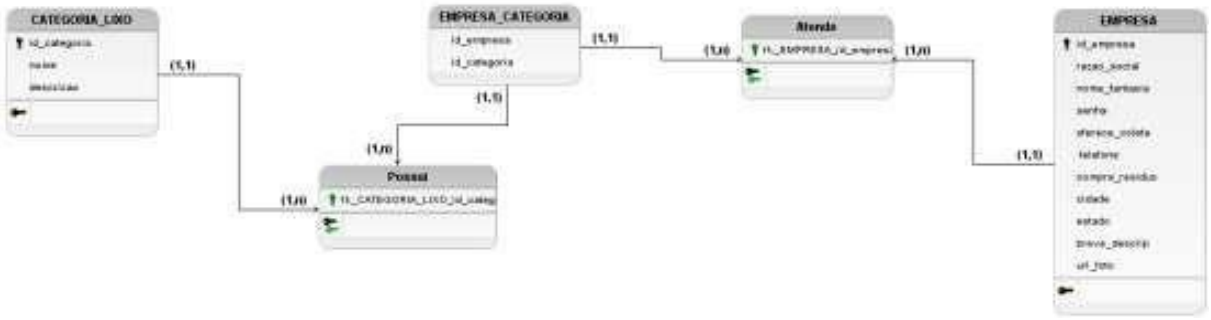


Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

Figura 3 – Diagrama lógico de dados (DLD)



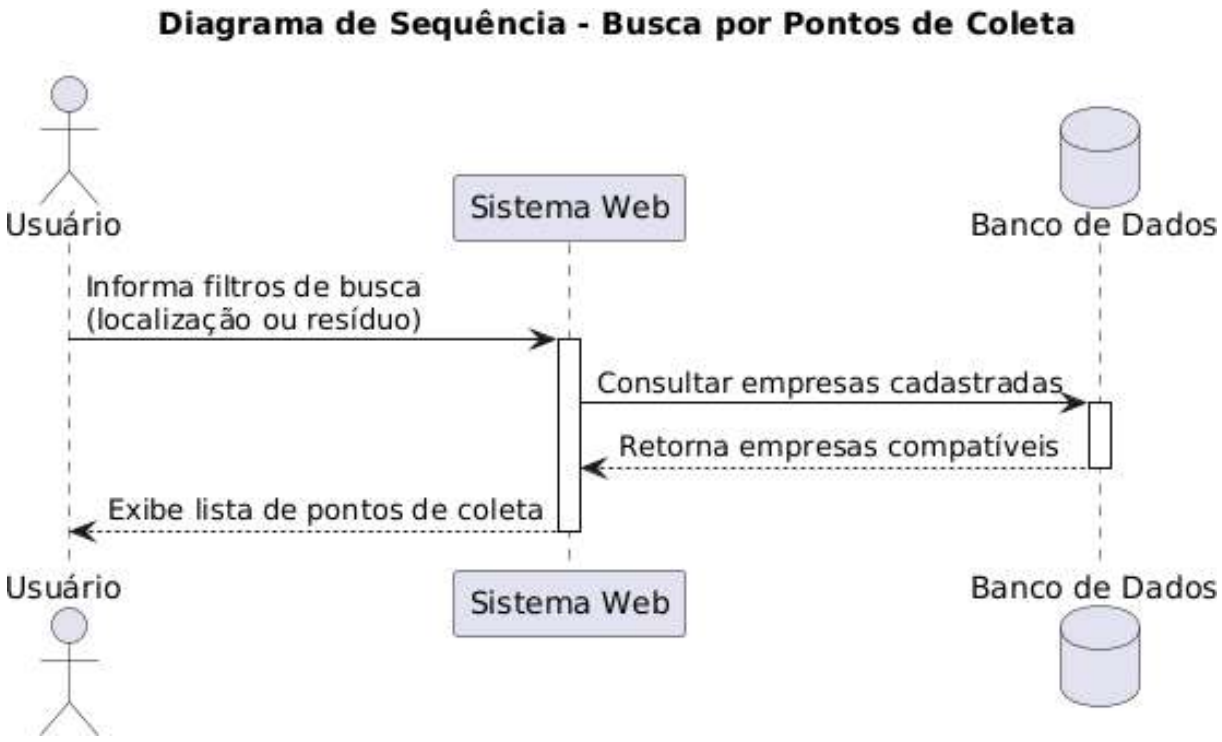
Fonte: elaborado pelos autores (2026).

A Figura 3 apresenta o modelo lógico das tabelas Empresa, Categoria_Lixo e Empresa_Categoria. A distribuição dos atributos contempla dados de identificação e contato das organizações, tipos de materiais recebidos e os respectivos vínculos. Essa estrutura é compatível com os filtros previstos no RF-05 e com o gerenciamento das categorias associado ao RF-07.

4.4 Diagramas

A Figura 4 apresenta um diagrama de sequência relativo à busca por pontos de coleta.

Figura 4 – Diagrama de sequência



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

Nele, o usuário informa critérios de pesquisa, o sistema consulta os dados de empresas cadastradas e a interface apresenta os registros correspondentes. Trata-se da representação do fluxo previsto para o caso de uso UC03.

O fluxo apresentado articula a seleção de filtros, a consulta à base e a apresentação do resultado ao visitante. A documentação disponível não inclui registros de execução ou medições de tempo de resposta capazes de comprovar o comportamento em ambiente de produção.

4.5 Implementação e interfaces apresentadas

A Figura 5 apresenta a página do site, com mensagem de conscientização e acesso visual à busca de pontos de coleta. Essa interface corresponde à proposta de divulgação de orientações e à navegação pública prevista nos requisitos RF-01 e RF-03.

Figura 5 – Página inicial e acesso à busca de pontos de coleta



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Na Figura 6, a página inicial é apresentada em continuidade, com conteúdo sobre impactos ambientais e valorização de resíduos. O registro exemplifica o componente educativo previsto no RF-01, sem comprovar, por si, a abrangência ou a atualização das informações publicadas.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

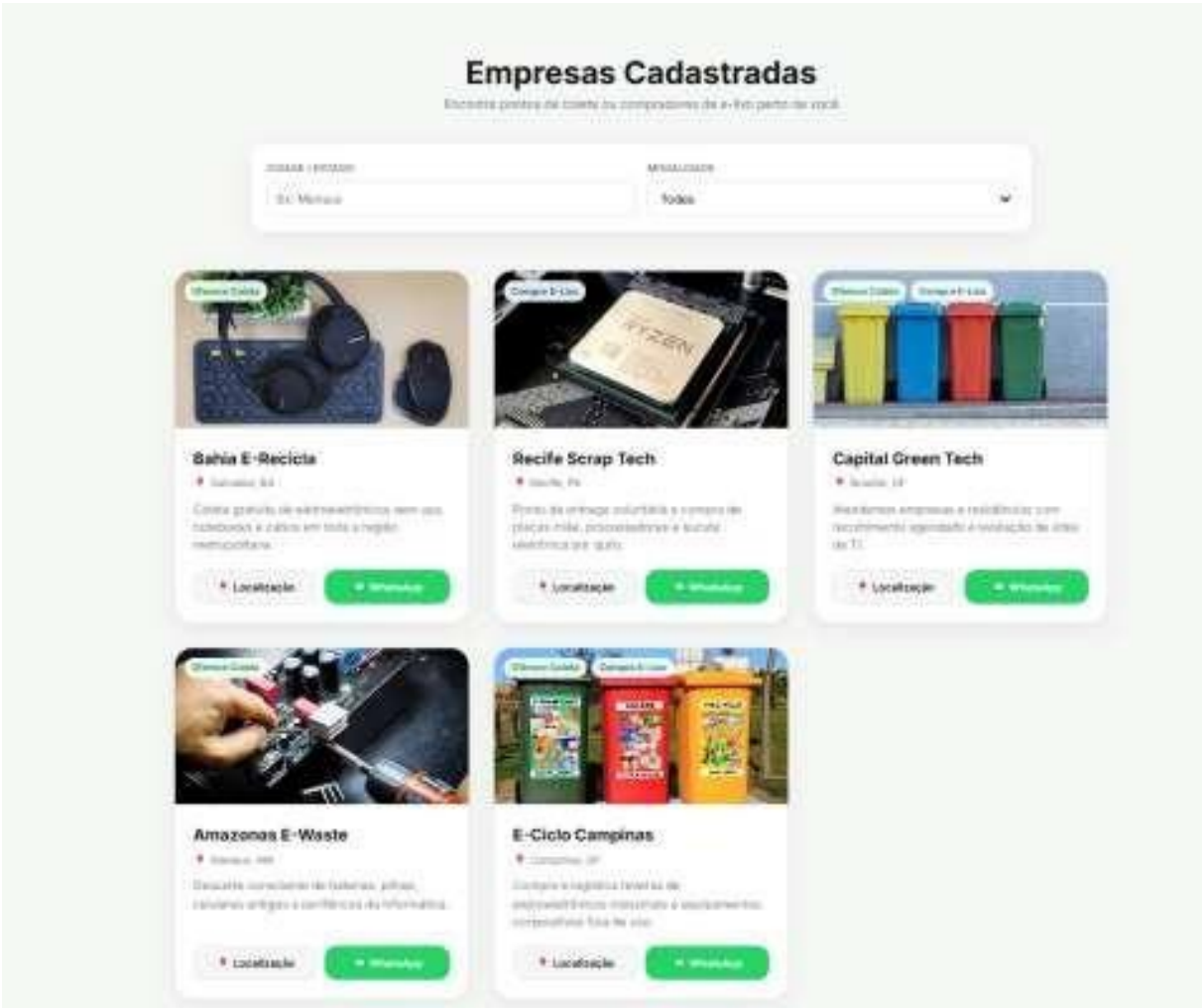
Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

Figura 6 – Conteúdo educativo sobre impacto ambiental e economia circular



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Figura 7 – Listagem demonstrativa de empresas e filtros de busca



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

A Figura 7 reúne cartões demonstrativos de estabelecimentos e opções de filtragem. A imagem ilustra os requisitos RF-03, RF-04 e RF-05 e os casos de uso UC02 e UC03. Os nomes exibidos na tela são exemplos constantes do protótipo; a imagem não constitui comprovação de parceria comercial ou cadastro validado.

A Figura 8 mostra campos destinados à edição das informações de uma empresa. A tela se relaciona ao gerenciamento de perfil previsto no RF-08 e no UC06, não sendo possível inferir a partir da imagem que todas as rotinas de gravação, validação e recuperação estejam concluídas.

Figura 8 – Interface de edição do perfil da empresa



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

A Figura 9 apresenta a interface destinada ao acesso de empresas cadastradas, vinculada ao caso de uso UC05. Sua existência documental não substitui testes de autenticação, tratamento de erros e armazenamento seguro de credenciais.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

Figura 9 – Interface de autenticação da empresa



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

4.6 Desafios, oportunidades e relação com o protótipo

A leitura articulada dos estudos científicos e das fontes institucionais permitiu agrupar os obstáculos e possibilidades da logística reversa em quatro dimensões. O Quadro 5 apresenta a evidência examinada e a contribuição possível da plataforma, mantendo separadas as necessidades de informação das intervenções materiais e institucionais necessárias para a operação da cadeia reversa.

Quadro 5 – Síntese temática dos desafios e das contribuições previstas

Dimensão	Desafio e oportunidade documentados	Relação com o protótipo / limite
Informação ao consumidor	Desconhecimento de pontos de recebimento e necessidade de educação ambiental (DIAS et al., 2024).	Guia de descarte e filtros (RF-01, RF-05); eficácia depende de conteúdo confiável.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

Dimensão	Desafio e oportunidade documentados	Relação com o protótipo / limite
Abrangência territorial	Custos da logística e distribuição desigual de serviços (SANTOS; OGUNSEITAN, 2022; SCHNEIDER; AANESTAD; CARVALHO, 2026).	Busca por cidade e categorias (RF-05); o sistema não cria pontos físicos.
Coordenação entre atores	Importância das empresas, operadores e iniciativas públicas na cadeia reversa (VARGAS; CAMPOS; LUNA, 2024; MANAUS, 2026).	Perfis empresariais e atualização cadastral (RF-06 a RF-08); depende de adesão e verificação.
Valorização e inclusão	Recondicionamento, reciclagem e atuação de cooperativas (OTTONI; DIAS; XAVIER, 2020; GIESE; LINS; XAVIER, 2021).	Divulgação de modalidades e categorias (RF-02 a RF-04); não comprova recuperação de materiais.

Fonte: Adaptado de Dias et al. (2024), Santos e Ogunseitan (2022), Ottoni, Dias e Xavier (2020), Giese, Lins e Xavier (2021), Schneider, Aanestad e Carvalho (2026), Vargas, Campos e Luna (2024) e Manaus (2026).

A análise indica que a contribuição mais diretamente vinculada ao escopo do protótipo é reduzir a dispersão de informações sobre possibilidades de descarte, e não substituir o serviço de coleta. Na experiência de Florianópolis descrita por Vargas, Campos e Luna (2024), a efetividade dos canais reversos dependeu da interação entre diferentes agentes. O mesmo cuidado se aplica ao Amazonas: divulgar empresas e materiais aceitos somente será útil se os dados forem mantidos atualizados e se houver capacidade real de recebimento.

A implantação de coletores em Manaus e a atuação de centros de recondicionamento mostram que a região já conta com ações concretas (BRASIL, 2024; MANAUS, 2026). O protótipo pode funcionar como interface complementar, mas não foi realizada comparação de desempenho com os serviços digitais dessas organizações. Sua contribuição, neste estágio, é o desenho de uma ferramenta de organização da informação, e não uma inovação tecnológica ou um impacto ambiental empiricamente demonstrado.

4.7 Verificação documental e limitações de avaliação

Como não foram apresentados relatórios de execução de testes, a avaliação limitou-se à correspondência entre requisitos, casos de uso e evidências visuais. O Quadro 6 diferencia os elementos efetivamente apresentados daqueles que ainda demandam comprovação técnica.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

Quadro 6 – Verificação documental dos recursos apresentados

Recurso	Evidência apresentada	Situação da validação
Guia e conteúdo educativo (UC01)	Capturas das Figuras 5 e 6.	Interface documentada; utilidade com usuários não avaliada.
Listagem e busca (UC02–UC03)	Figura 7 e diagrama de sequência.	Fluxo e interface representados; filtros não testados.
Cadastro e perfil empresarial (UC04 e UC06)	Especificação e Figura 8 (edição do perfil).	Rotinas de cadastro e persistência não comprovadas.
Autenticação e requisitos não funcionais (UC05)	Figura 9 e Quadro 2.	Segurança, desempenho e conformidade LGPD não auditados.

Fonte: elaborado pelos autores (2026), a partir dos artefatos do protótipo.

A documentação das funcionalidades e dos casos de uso permitiu apresentar a estrutura do sistema e sua aplicação no contexto da logística reversa de resíduos eletrônicos. As interfaces desenvolvidas demonstram a organização das informações, os recursos de consulta e as possibilidades de interação entre usuários e empresas cadastradas. Como possibilidade de aperfeiçoamento, recomenda-se ampliar a avaliação funcional do sistema, considerando aspectos relacionados à usabilidade, à segurança, à acessibilidade e ao desempenho das ferramentas disponibilizadas. Também se destaca a importância da atualização contínua das informações sobre empresas e pontos de coleta, contribuindo para a confiabilidade dos dados apresentados aos usuários.

No campo da discussão, os resultados apresentam relação com a pesquisa de Brilhante e Nóbrega (2024), que identificou o desconhecimento sobre a localização dos pontos de coleta como uma das dificuldades enfrentadas pela população no descarte de resíduos eletroeletrônicos. Nesse sentido, o sistema desenvolvido contribui para facilitar o acesso às informações e aproximar os cidadãos das iniciativas de reciclagem.

Entretanto, Schneider, Aanestad e Carvalho (2026) destacam que a logística reversa também enfrenta desafios relacionados aos custos operacionais, à infraestrutura disponível, à transparência dos processos e à segurança dos dados. Dessa forma, a plataforma desenvolvida

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

representa uma contribuição tecnológica para a divulgação de informações e o incentivo ao descarte adequado, embora sua atuação esteja inserida em um contexto mais amplo de responsabilidades ambientais, sociais e organizacionais.

5 Considerações finais

O estudo identificou desafios recorrentes à logística reversa de resíduos eletroeletrônicos: dificuldade de acesso a informações sobre destinação, cobertura desigual dos serviços, custos de transporte e processamento e necessidade de coordenação entre os participantes da cadeia. No contexto amazonense, a análise documental localizou iniciativas de recebimento, recondicionamento e inclusão digital, mas não encontrou elementos suficientes para mensurar sua abrangência em todo o estado.

As oportunidades associadas à economia circular incluem o prolongamento da vida útil dos dispositivos, a recuperação de materiais e a participação de cooperativas e organizações sociais. A literatura consultada indica que essas possibilidades dependem de infraestrutura, segurança, informação e condições de mercado; por isso, não se atribuem ao sistema web efeitos ambientais ou econômicos que não foram medidos.

O protótipo apresentado reuniu especificação de requisitos, modelos de dados, casos de uso, diagramas e telas orientadas à divulgação de informações e à interação com empresas. Dessa forma, o objetivo de analisar o problema e apresentar uma proposta tecnológica foi atendido nos limites de uma pesquisa bibliográfica, documental e de prototipação. As evidências disponíveis demonstram a concepção das interfaces e o planejamento de funcionalidades, mas não permitem assegurar o funcionamento integral da aplicação.

Como limitações, destacam-se a ausência de avaliação com usuários, de testes funcionais documentados, de auditoria de segurança e de verificação sistemática da atualidade das informações empresariais. Estudos posteriores poderão avaliar esses aspectos, comparar os resultados com serviços já existentes e examinar a acessibilidade da solução em municípios com condições distintas de conectividade.

Conclui-se que a organização de informações em uma plataforma temática pode complementar ações de logística reversa no Amazonas, desde que seja acompanhada da participação dos operadores, da atualização responsável dos dados e da validação de sua utilidade e segurança em condições reais de uso.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

Declarações para submissão

Foi utilizada a ferramenta ChatGPT (OpenAI, GPT-6, 2026) como recurso auxiliar na revisão ortográfica e gramatical, a ferramenta também ajudou na identificação de três estudos científicos pertinentes à temática e aos resultados discutidos.

Referências

BALDÉ, Cornelis P. et al. The global e-waste monitor 2024. Bonn; Genebra: UNITAR; ITU, 2024. Disponível em: https://ewastemonitor.info/the-global-e-waste-monitor-2024/. Acesso em: 18 nov. 2026.

BRASIL. Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020. Regulamenta o sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 13 fev. 2020.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Diário Oficial da União: Brasília, DF, 15 ago. 2018.

BRASIL. Ministério das Comunicações. Computadores para Inclusão. Brasília, DF: Ministério das Comunicações, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mcom/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programas-projetos-acoes-obras-e-atividades/computadores-para-inclusao-1. Acesso em: 18 nov. 2026.

BRILHANTE, Anna Kryslene Viana Chianca; NÓBREGA, Claudia Coutinho. Domestic flow of laptops and peripherals: evaluating reverse logistics in a Brazilian municipality. Latin American Journal of Management for Sustainable Development, v. 6, n. 3, p. 265-286, 2024. DOI: 10.1504/LAJMSD.2024.141348.

CORREIA, Auro J. C. et al. Evaluation of circular economy practices for management of the reverse chain of electronic waste in Brazil. Journal of Material Cycles and Waste Management, v. 26, n. 6, p. 3699-3713, 2024. DOI: 10.1007/s10163-024-02071-w.

DIAS, Gabriela Figueiredo et al. Descarte responsável de lixo eletrônico e comportamento do consumidor: uma revisão sistemática da literatura. Revista Eletrônica de Administração, Porto Alegre, v. 30, n. 3, p. 1350-1380, 2024. DOI: 10.1590/1413-2311.417.138879.

DIAS, Pablo et al. Electronic waste in Brazil: generation, collection, recycling and the COVID pandemic. Cleaner Waste Systems, v. 3, art. 100022, 2022. DOI: 10.1016/j.clwas.2022.100022.

GIESE, Ellen Cristine; LINS, Fernando Antônio Freitas; XAVIER, Lúcia Helena. Desafios da reciclagem de lixo eletrônico e as cooperativas de mineração urbana. Brazilian Journal of Business, v. 3, n. 5, p. 3647-3660, 2021. DOI: 10.34140/bjbv3n5-010.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Ano VII, v.1 2026 | submissão: 13/11/2026 | aceito: 20/11/2026 | publicação: 25/11/2026

MANAUS. Lei nº 2.501, de 16 de setembro de 2019. Institui a Coleta Seletiva de Lixo Eletrônico e Tecnológico nas zonas rural e urbana do município de Manaus e dá outras providências. Manaus, 2019.

MANAUS. Prefeitura Municipal. Prefeitura inicia instalação de 62 coletores de lixo eletrônico e amplia estrutura permanente de coleta seletiva em Manaus. Manaus: Prefeitura de Manaus, 31 ago. 2026. Disponível em: https://www.manaus.am.gov.br/noticia/servicos/instalacao-coletores-de-lixo-eletronico/. Acesso em: 18 nov. 2026.

MANCINI, Sandro Donnini et al. Circular economy and solid waste management: challenges and opportunities in Brazil. Circular Economy and Sustainability, v. 1, n. 1, p. 261-282, 2021. DOI: 10.1007/s43615-021-00031-2.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Children and digital dumpsites: e-waste exposure and child health. Genebra: WHO, 2021. Disponível em: https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240023901. Acesso em: 18 nov. 2026.

OTTONI, Marianna; DIAS, Pablo; XAVIER, Lúcia Helena. A circular approach to the e-waste valorization through urban mining in Rio de Janeiro, Brazil. Journal of Cleaner Production, v. 261, art. 120990, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120990.

RODRIGUES, Angela Cassia; BOSCOV, Maria Eugenia Gimenez; GÜNTHER, Wanda Maria Risso. Domestic flow of e-waste in São Paulo, Brazil: characterization to support public policies. Waste Management, v. 102, p. 474-485, 2020. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.10.052.

SANTOS, S. M.; OGUNSEITAN, O. A. E-waste management in Brazil: challenges and opportunities of a reverse logistics model. Environmental Technology & Innovation, v. 28, art. 102671, 2022. DOI: 10.1016/j.eti.2022.102671.

SCHNEIDER, Alice Frantz; AANESTAD, Margunn; CARVALHO, Tereza Cristina. Exploring barriers in the transition toward an established e-waste management system in Brazil: a multiple-case study of the formal sector. Environment, Development and Sustainability, v. 28, p. 6149-6169, 2026. DOI: 10.1007/s10668-024-05188-y.

VARGAS, Danieli Braun; CAMPOS, Lucila Maria de Souza; LUNA, Mônica Maria Mendes. Brazil's formal e-waste recycling system: from disposal to reverse manufacturing. Sustainability, v. 16, n. 1, art. 66, 2024. DOI: 10.3390/su16010066.

VASCONCELOS, Cristiane Lima de; SIMÃO, Maria Olívia de Albuquerque Ribeiro; SOUZA, Ivan Nunes de. Gestão e descarte de equipamentos eletroeletrônicos: o caso de uma secretaria do município de Manaus. Revista Delos, v. 17, n. 60, e2117, 2024. DOI: 10.55905/rdelosv17.n60-031.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença CreativeCommons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.