

LOGÍSTICA REVERSA E ECONOMIA CIRCULAR: PROPOSTA DE PROTOCOLO PARA GESTÃO DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS EM LABORATÓRIOS DE ENGENHARIA

Mateus Gonçalves Pereira Faria[1]
Gabriel Longati Covolo [2]
Prof. Luiz Eugênio Veneziani Pasin[3]

Resumo

Este artigo analisa o descarte de resíduos eletroeletrônicos (REEE) no meio universitário. O Brasil lidera a geração desse lixo na América Latina, mas recicla apenas 3% do total. O descarte errado é perigoso, pois metais como chumbo e mercúrio contaminam o solo e a água. Por meio de revisão bibliográfica, notou-se que universidades acumulam sucatas por falta de fluxos internos, enquanto cooperativas carecem de preparo técnico para reciclar peças complexas. Assim, propomos um protocolo de triagem gerido por alunos de engenharia. A ideia é testar componentes para reuso acadêmico e entregar o material já separado para catadores locais. Isso fortalece a economia circular e reduz o impacto ambiental no campus.

Palavras-chave: lixo eletrônico; logística reversa; economia circular; laboratórios de engenharia.

Abstract

Brazil is the leader in electronic waste production in Latin America, yet proper disposal remains a huge challenge. We generate over 1.5 million tons per year, and almost everything ends up in the wrong place, given that the recycling rate barely reaches 3%. This neglect is dangerous: metals like lead and mercury leak from boards and batteries, contaminating soil and water. Through a literature review, this paper shows that universities accumulate a lot of scrap due to

[1] Graduando em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI (d2023012946@unifei.edu.br).
[2] Graduando em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI (d2023002449@unifei.edu.br).
[3] Professor Orientador, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI (luizpasin@unifei.edu.br).

a lack of internal rules, while waste picker cooperatives lack the technical skills to handle complex circuits. To change this, we propose a screening protocol carried out by engineering students themselves. The idea is to test parts in the lab, create a component bank for reuse in academic projects, and deliver already separated material to local cooperatives. This practical action helps clear the college space, saves resources, and makes the circular economy actually work on campus.

Palavras-chave: electronic waste; reverse logistics; circular economy; engineering laboratories.

INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia e a troca rápida de equipamentos eletroeletrônicos geraram um grave desafio ambiental: o lixo eletrônico. Hoje, os equipamentos duram muito pouco e logo viram sucata. Só em 2019, o mundo gerou mais de 53 milhões de toneladas (SOLDERA, 2023) de resíduos eletrônicos. Aqui no Brasil, a situação é bem preocupante. Somos o país que mais produz esse tipo de lixo na América Latina, chegando a 1,5 milhão de toneladas por ano. O grande problema é que a gente recicla corretamente apenas cerca de 3% de todo esse volume (REIS, 2021).

Jogar essas peças no lixo comum ou em aterros é um perigo enorme para a saúde e para a natureza. Placas de circuito, baterias e monitores antigos são cheios de metais pesados, como chumbo e mercúrio. Quando esse material vai parar em aterros irregulares e toma chuva, os metais vazam. Eles acabam infiltrando no solo e contaminam a água que abastece as cidades, podendo causar doenças graves no sistema nervoso das pessoas (ALMEIDA et al., 2015).

Para tentar mitigar esses impactos, o governo criou a Política Nacional de Resíduos Sólidos e focou na logística reversa (BRASIL, 2010). A ideia é que o equipamento obsoleto faça o caminho de volta para a indústria e vire matéria-prima de novo (SANTANA; JANKOWITSCH, 2022). Só que, na prática, isso esbarra na falta de informação. Boa parte da população nem sabe

o que é lixo eletrônico e simplesmente joga o aparelho quebrado na lixeira normal de casa (REIS, 2021).

Nas universidades, o problema se repete de um jeito parecido. Os laboratórios de engenharia e informática atualizam seus equipamentos e acabam acumulando muita sucata. Como faltam regras internas claras para descartar isso direito, as peças ficam guardadas de qualquer jeito em salas vazias por anos. Isso ocupa espaço útil da faculdade e gera um risco ambiental desnecessário.

E quando a faculdade finalmente resolve doar esse material para cooperativas de reciclagem, os catadores não conseguem aproveitar muita coisa. Eles costumam fazer só uma desmontagem básica da carcaça, porque não têm treinamento técnico para lidar com placas e circuitos complexos. Assim, muito dinheiro e material reciclável são perdidos.

Pensando em todo esse cenário, este artigo analisa estudos recentes sobre logística reversa para propor uma solução prática. O objetivo é criar um protocolo interno de triagem de componentes eletrônicos, gerenciado pelos próprios alunos de engenharia, para ser aplicado na rotina dos laboratórios universitários.

REVISÃO DA LITERATURA

A literatura contemporânea demonstra que o gerenciamento do lixo eletrônico exige uma visão sistêmica que une educação ambiental, infraestrutura e capacitação técnica. O primeiro ponto de alerta levantado pelos pesquisadores é a toxicidade dos materiais. Almeida e seus colaboradores (2015) detalham com precisão que os equipamentos eletrônicos são bombas-relógio químicas. O chumbo, por exemplo, é amplamente utilizado nas soldas de placas de computador e tubos de raios catódicos. Se absorvido pelo corpo humano através da água contaminada, o chumbo ataca o sistema nervoso central e a medula óssea. Outro metal crítico citado pelos autores é o mercúrio, comum em chaves elétricas, baterias e monitores antigos, que tem um alto poder de contaminação cerebral. Isso prova que o lixo eletrônico não pode, em hipótese alguma, receber o mesmo tratamento do lixo doméstico.

Para resolver essa questão, Santana e Jankowitsch (2022) destacam a importância da Política Nacional de Resíduos Sólidos e da logística reversa. Os autores explicam que a legislação

transformou a gestão dos resíduos, que antes era um dever exclusivo do poder público, em uma responsabilidade compartilhada entre fabricantes, varejistas e consumidores. Em um estudo de caso realizado no município de Cotia, em São Paulo, os pesquisadores aplicaram questionários e descobriram que a população até possui consciência ambiental, mas não realiza o descarte correto porque simplesmente não sabe onde encontrar pontos de coleta seletiva para eletrônicos. Esse cenário de desconhecimento foi confirmada por Reis (2021) em uma pesquisa feita na cidade de Porto Velho. Os dados levantados foram alarmantes: 64% das pessoas entrevistadas afirmaram não saber sequer o que era lixo eletrônico, e 88% delas admitiram jogar seus aparelhos velhos, como celulares e peças de computador, diretamente na lixeira comum de suas casas. Fica evidente que a logística reversa encontra sua primeira grande barreira na primeira etapa, que é a devolução do material pelo usuário.

No contexto das instituições de ensino superior, o desafio do descarte inadequado também é evidente, o cenário não se mostra muito mais avançado. A pesquisa de Grassi e sua equipe (2022) analisou o processo de descarte em um dos campi da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Os autores constataram que, embora a universidade possua regras gerais de patrimônio, não existem protocolos internos ágeis e específicos para a triagem de peças. O resultado é o estrangulamento do espaço físico. Computadores velhos e peças avulsas ficam acumulados em almoxarifados improvisados e salas de professores, esperando por anos até que se junte um volume grande o suficiente para justificar o frete de um caminhão para o descarte.

O trabalho de Soldera (2023) observou um gargalo idêntico na Universidade Estadual de Goiás (UEG). Lá, a situação chegou ao ponto de criarem uma "Sala de Hardware", que rapidamente deixou de ser um laboratório para se transformar em um depósito insalubre de sucata eletrônica. Não havia nenhum cuidado no armazenamento e nenhuma triagem para verificar o que poderia ser consertado e o que era lixo definitivo.

Por fim, quando as universidades conseguem liberar esse material e enviá-lo para cooperativas, um novo problema surge. Marciano e demais autores (2024), através de um projeto de extensão do Laboratório de Informática da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), acompanharam o dia a dia de cooperativas de reciclagem parceiras. Eles notaram que 75% das organizações analisadas realizam apenas uma desmontagem rudimentar do lixo eletrônico.

Apenas 25% tentam fazer um desmonte mais profundo das placas ou buscam consertar equipamentos para revenda. A conclusão do estudo é que os catadores carecem de capacitação técnica em eletrônica, o que os impede de extrair o verdadeiro valor financeiro dos resíduos.

METODOLOGIA

O presente artigo baseia-se em uma pesquisa exploratória com abordagem qualitativa para analisar o problema do descarte e propor uma solução prática. Segundo Gil (2008), o formato exploratório é o mais adequado quando o objetivo é aproximar o pesquisador de um tema pouco estruturado, o que geralmente ocorre por meio de levantamento bibliográfico. A escolha do método qualitativo, por sua vez, permite compreender a fundo os significados e a complexidade do problema no seu ambiente real, em vez de apenas contabilizar dados numéricos (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Todo o levantamento do material teórico ocorreu na base do Google Acadêmico. O foco foi selecionar documentos que refletissem o cenário atual das instituições. Por isso, a busca priorizou apenas artigos científicos, relatos de experiência e trabalhos de conclusão de curso publicados de 2015 a 2024.

As palavras-chave guiaram toda a etapa de triagem. Termos como "logística reversa", "lixo eletrônico", "impacto ambiental" e "universidades" foram combinados no buscador. Para um texto ser efetivamente escolhido, ele precisava obrigatoriamente abordar pelo menos um destes pontos: os danos químicos das peças, a dificuldade das faculdades em armazenar a sucata ou os limites técnicos enfrentados pelas cooperativas de reciclagem.

Ao final do processo, seis estudos principais serviram de base para a análise. A tática da pesquisa consistiu em comparar as falhas de descarte já documentadas por outras universidades com o dia a dia de um laboratório de engenharia. A partir desse cruzamento de informações, foi possível estruturar o protocolo interno de triagem, conectando a teoria da economia circular com o trabalho prático de extensão universitária.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das informações da revisão da literatura, os resultados indicam que o modelo atual de descarte nas instituições de ensino falha em sua base operacional. O simples acúmulo de materiais em salas improvisadas, como evidenciado nos casos da UFSM e da UEG, não apenas compromete a infraestrutura da universidade, como também potencializa os riscos de contaminação por metais pesados.

A essência da proposta é transformar o passivo ambiental gerado pela obsolescência dos equipamentos em um ativo educacional e social. Em vez de aguardar anos por um descarte patrimonial burocrático, o protocolo sugere que alunos voluntários, engajados em projetos de extensão universitária, atuem como o primeiro filtro técnico da logística reversa. O sistema proposto é dividido em quatro etapas contínuas.

A primeira etapa consiste na Conscientização e Coleta Segregada. Como as pesquisas de Reis (2021) e Santana e Jankowitsch (2022) provaram que a desinformação é a principal causa do descarte irregular, é fundamental mudar a cultura interna do campus. A proposta envolve a instalação de ecopontos específicos e sinalizados dentro dos laboratórios de elétrica e eletrônica. Os estudantes serão orientados, através de campanhas visuais, a não descartar pedaços de fios de cobre, resistores queimados ou placas de circuito impresso nas lixeiras de lixo comum.

A segunda etapa é o coração do projeto: a Triagem Técnica e Recuperação. Periodicamente, os alunos da engenharia elétrica farão a coleta desses ecopontos e levarão o material para as bancadas do laboratório. Utilizando multímetros, osciloscópios e fontes de alimentação, os estudantes testarão a integridade de componentes menores, como capacitores, diodos, relés e motores de passo. O material que apresentar pleno funcionamento será limpo, catalogado e armazenado em um "Banco de Peças Solidário". Esse banco ficará à disposição, de forma gratuita, para que outros alunos utilizem as peças recicladas em seus projetos acadêmicos, de robótica ou trabalhos de conclusão de curso.

A terceira etapa foca no material Irrecuperável. Aquilo que estiver oxidado, carbonizado ou totalmente obsoleto será rigorosamente desmontado e separado por categorias de materiais básicos: plásticos de carcaça, fiação de cobre, chapas metálicas de alumínio ou ferro, e as placas de circuito impresso (PCBs) isoladas. Esse processo de separação resolve o problema de espaço

físico crônico apontado pelos estudos anteriores, pois materiais desmontados e empilhados corretamente ocupam uma fração mínima do espaço que gabinetes inteiros e vazios ocupariam nas salas. Além disso, o manuseio técnico evita o rompimento de baterias e o vazamento de mercúrio ou chumbo no ambiente acadêmico.

Por fim, a quarta etapa é a Destinação Estratégica. O material que não pôde ser reaproveitado no Banco de Peças será doado para cooperativas de reciclagem parceiras do município local. É nesta etapa que a universidade resolve o gargalo diagnosticado no estudo da UFRJ. Como os catadores geralmente não possuem ferramentas ou capacitação técnica para desmontar eletrônicos complexos e perigosos, a universidade entregará um material pré-processado. Os plásticos, metais e placas chegarão às cooperativas já limpos e separados por categoria. Isso facilita imensamente a pesagem, a prensagem e a venda direta para as indústrias de reciclagem de alto nível, maximizando a geração de renda para os trabalhadores locais sem expô-los aos riscos químicos da desmontagem forçada.

Espera-se que os potenciais impactos dessa proposta atinjam os três pilares da sustentabilidade. Ambientalmente, a instituição atua como um filtro rigoroso, impedindo que metais pesados sejam descartados no lixo comum ou em aterros. Economicamente, o "Banco de Peças" gera uma economia financeira considerável para os próprios estudantes, que deixam de comprar componentes novos no mercado para seus projetos acadêmicos. Socialmente, a universidade deixa sua posição de geradora passiva de resíduos e passa a fornecer matéria-prima limpa e de alto valor agregado para as cooperativas locais, fortalecendo a base da logística reversa da região.

CONCLUSÃO

A gestão ineficiente do lixo eletrônico é um problema global que se reflete de forma grave dentro do ambiente acadêmico. Como demonstrado pela literatura, o gerenciamento adequado do lixo eletrônico ainda enfrenta barreiras práticas, especialmente porque grande parte da população desconhece os fluxos corretos de descarte, as universidades acumulam equipamentos em salas improvisadas sem triagem adequada, e as cooperativas de reciclagem enfrentam severas limitações técnicas para desmontar e reaproveitar os resíduos que recebem.

A pesquisa conclui que a solução para esse impasse estrutural passa, necessariamente, pela ação ativa das instituições de ensino superior. A estruturação teórica de um protocolo interno de triagem técnica, executado por alunos de engenharia por meio de projetos de extensão, apresenta-se como uma alternativa promissora e com forte potencial para otimizar os recursos do campus. O processo de testar peças, criar um banco de componentes reutilizáveis e enviar apenas os resíduos já separados para as cooperativas ataca a raiz do problema. Com isso, limpa-se o espaço físico dos laboratórios universitários, promove-se o reuso prático de materiais na educação, protege-se o meio ambiente de contaminações químicas e entrega-se um material de maior valor agregado e mais fácil de comercializar para os catadores locais.

O próximo passo sugerido para pesquisas futuras é a aplicação empírica deste protocolo. Seria de grande valor científico implementar o sistema de triagem em laboratórios de engenharia elétrica por um período mínimo de dois semestres acadêmicos. Dessa forma, será possível quantificar, com dados exatos, o volume em quilos de material que deixou de ir para o lixo comum, a economia financeira gerada para os alunos que utilizaram o banco de peças e o aumento percentual na renda da cooperativa parceira ao receber o e-lixo já segregado.

Uso de IA: Gemini - revisão de linguagem e estruturação - 05/03/2026.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. A. *et al*. Destinação do lixo eletrônico: impactos ambientais causados pelos resíduos tecnológicos. **E-Locução**, v. 4, n. 7, 2015.

GRASSI, M. R. *et al*. Descarte de eletroeletrônicos: uma análise em um campus de uma universidade federal. **Delos: Desarrollo Local Sostenible**, [S. l.], v. 15, 2022. DOI: https://doi.org/10.51896/delos.

MARCIANO, S. S. *et al*. Desafios e necessidades na gestão de resíduos eletroeletrônicos: Relato das atividades do Laboratório de Informática para Educação com cooperativas no Rio de Janeiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO SOCIAL, 19., 2024, Salvador. **Anais...** Salvador: XIX ENEDS, 2024.

REIS, E. K. S. O uso da logística reversa para minimizar os impactos ambientais causados pelo lixo eletrônico. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 7, n. 8, 2021.

SANTANA, I. T. S.; JANKOWITSCH, J. Logística reversa e o impacto no descarte de eletroeletrônicos: um estudo de caso. **Revista Científica Cognitionis**, v. 5, n. 1, 2022.

SOLDERA, M. O. **Estratégias para o gerenciamento sustentável de resíduos eletrônicos: estudo de caso na Universidade Estadual de Goiás (UEG)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2023.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.