

## Desafios da reciclagem de lixo eletrônico e as cooperativas de mineração urbana

### Challenges of e-waste recycling and urban mining cooperatives

DOI: 10.34140/bjbv3n5-010

Recebimento dos originais: 04/03/2021

Aceitação para publicação: 30/06/2021

#### **Ellen Cristine Giese**

Doutor em Engenharia e Ciências de Alimentos pela Universidade Estadual Paulista – UNESP/ Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - Câmpus de São José do Rio Preto

Instituição: Coordenação de Processos Metalúrgicos e Ambientais (COPMA) / Centro de Tecnologia Mineral – CETEM

Endereço: Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ (Brasil)

E-mail: egiese@cetem.gov.br

#### **Fernando Antônio Freitas Lins**

Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ / Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE)

Instituição: Diretoria (DIR) / Centro de Tecnologia Mineral - CETEM

Endereço: Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ (Brasil)

E-mail: fernando.lins@cetem.gov.br

#### **Lúcia Helena Xavier**

Doutor em Engenharia da Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ / Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE)

Instituição: Coordenação de Processos Metalúrgicos e Ambientais (COPMA) / Centro de Tecnologia Mineral – CETEM

Endereço: Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ (Brasil)

E-mail: lxavier@cetem.gov.br

#### **RESUMO**

A expansão da população, atrelada à elevação dos níveis de produção e consumo de bens, vem intensificando a geração de resíduos sólidos em áreas urbanas. Estima-se que no Brasil são gerados anualmente 2 milhões de toneladas de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE). Se não for tratado adequadamente, essa categoria de resíduos pode causar impactos negativos ao meio ambiente em razão do potencial de contaminação. Os depósitos de REEE localizados nas áreas urbanas são conhecidos também como minas urbanas, uma vez que os REEE apresentam uma quantidade expressiva de matérias-primas críticas e metais valiosos. Aliado à Política Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos (PNRS), o presente trabalho apresenta uma discussão sobre os desafios para o funcionamento eficiente das cooperativas de reciclagem de REEE, as quais também podem contribuir para o desenvolvimento da mineração urbana como uma maneira de auxiliar na mitigação do impacto negativo da crescente geração destes tipos de resíduos e gerar renda.

**Palavras-chave:** Resíduos eletroeletrônicos; Reciclagem; Mineração Urbana; Cooperativas

#### **ABSTRACT**

The growing increase in the population tied to the increase in levels of production and consumption of goods, has intensified the generation of solid waste in urban areas. It is estimated that in Brazil 2 million tons of waste from electronic equipment (WEEE) are generated annually. If not treated properly; this

category of waste can cause negative impacts to the environment due to the potential for contamination. WEEE deposits located in urban areas are also known as urban mines, as WEEE have a significant amount of critical raw materials and valuable metals. Allied to the Brazilian Policy on Solid Waste (BPSW), this paper presents a discussion of the challenges of WEEE recycling cooperatives, which can also contribute to the development of urban mining as a way to assist in mitigating negative influences from the intense generation of these types of waste.

**Keywords:** *Electroeletronic residues; Recycling; Urban Mining; Cooperatives*

## 1 INTRODUÇÃO

Os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) tornaram-se uma preocupação mundial nos últimos anos, em chave com o crescente aumento no consumo de equipamentos dessa natureza e com a ausência de políticas públicas para o descarte adequado destes bens pós-consumo. Estima-se que em 2019 foram gerados mais de 2 milhões de toneladas de REEE no Brasil (Forti et al., 2020).

Em 2019, alcançou-se o recorde de 53,6 milhões de toneladas métricas (Mt) de REEE gerado em todo o mundo, o que representa um aumento de 21% em apenas cinco anos, de acordo com o Global E-waste Monitor 2020 das Nações Unidas (Forti et al., 2020). O Brasil foi o maior produtor de REEE da América Latina e o segundo de todo o continente americano, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Estima-se que cada brasileiro gera 10,2 kg de lixo eletrônico por ano, totalizando 2,14 Mt (Forti et al., 2020). O relatório da ONU também prevê que os REEE globais totalizarão 74 milhões de toneladas em 2030, quase dobrando em apenas 16 anos.

Considerando 2019, apenas 17,4% dos resíduos eletrônicos foram coletados e reciclados no mundo. Isso significa que ouro (Au), prata (Ag), cobre (Cu), platina (Pt) e outros materiais recuperáveis de alto valor, avaliados em 57 bilhões de dólares, foram principalmente descartados ou queimados, em vez de coletados para reciclagem e recuperação de materiais valiosos (Forti et al., 2020). Os REEE são compostos de vários metais, incluindo cobre (Cu), níquel (Ni), ferro (Fe), alumínio (Al) e zinco (Zn), por exemplo, envoltos em matrizes de plástico e cerâmica. O lixo eletrônico de alto valor contém além de metais preciosos, metais do grupo da platina e elementos de terras raras, que são considerados matérias-primas críticas, as quais são de interesse econômico e geopolítico (Xavier et al., 2019; Giese, 2020).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é analisar o processo de reciclagem de REEE de minas urbanas, identificando as oportunidades e, principalmente, os desafios das cooperativas de reciclagem de REEE sob as lentes da mineração urbana.

## 2 GESTÃO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

Os equipamentos eletroeletrônicos são todos aqueles produtos cujo funcionamento depende do uso de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos. Eles podem ser divididos em quatro categorias:

- Linha Branca: refrigeradores e congeladores, fogões, lavadoras de roupa e louça, secadoras, condicionadores de ar;
- Linha Marrom: monitores e televisores de tubo, plasma, LCD e LED, aparelhos de DVD e VHS, equipamentos de áudio, filmadoras;
- Linha Azul: batedeiras, liquidificadores, ferros elétricos, furadeiras, secadores de cabelo, espremedores de frutas, aspiradores de pó, cafeteiras;
- Linha Verde: computadores desktop e laptops, acessórios de informática, tablets e telefones celulares.

Ao fim de sua vida útil, esses produtos passam a ser considerados resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE). Idealmente só chegam a esse ponto, uma vez esgotadas todas as possibilidades de reparo, utilização ou reuso.

Os equipamentos eletroeletrônicos têm sido substituídos por produtos de maior potencial tecnológico, caracterizando um movimento de obsolescência programada em diferentes segmentos produtivos (Xavier & Carvalho, 2014; Xavier et al., 2017). Desta forma, televisores de tubo (tipo CRT) e lâmpadas incandescentes, por exemplo, foram descontinuados em suas linhas produtivas por televisores de tela plana e lâmpadas de LED, respectivamente, gerando um significativo passivo de produtos pós-consumo a ser destinado de forma ambientalmente adequada.

Os REEE representam a categoria de resíduos sólidos que mais cresce em todo o mundo (Awasthi et al., 2018). O teor de metais pesados e de substâncias retardantes de chamas presentes nos REEE podem impactar a saúde de organismos vivos e ainda se acumularem no meio ambiente, representando um passivo ambiental a ser considerado e ainda hoje não radiografado. Em razão do desconhecimento da diversidade de constituintes dos REEE, pode-se verificar a carência de regulamentações e materiais informativos a respeito dos riscos envolvidos no manuseio de partes, peças e componentes presentes nos equipamentos eletroeletrônicos (Xavier et al., 2014; Xavier & Carvalho, 2014).

Não só dos fatores de descontinuidade da produção e o potencial tóxico dos REEE são os problemas. Há ainda a geração de volumes significativos de resíduos em razão da ausência de tecnologias eficientes envolvidas na recuperação e coleta, do desconhecimento dos pontos de destinação e sua adequação aos regramentos legais, e, também, o custo de processamento de tais resíduos. Empresas, organizações públicas e cooperativas ainda estão se mobilizando não só para incorporar a sua responsabilidade no gerenciamento correto dos resíduos, bem como estão se preparando para colocar em prática a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), lançada em 2010, através da instituição da Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010, que dispõe sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento dos resíduos sólidos (Nobrega, 2011).

A PNRS foi elaborada com a finalidade de fortalecer os princípios da gestão integrada e sustentável

por meio de uma série de diretrizes, metas e mecanismos para atenuar a geração de resíduos, definindo prazos de elaboração de planos de resíduos sólidos no âmbito nacional, estadual e municipal, e trazendo como meta a extinção dos lixões. Tal instrumento regulamentador estabelece a obrigatoriedade da elaboração dos Planos de Gestão de Resíduos (PGR) e da implantação dos Sistemas de Logística Reversa (SLR) para diferentes categorias de resíduos.

Além disso, a PNRS estabelece o acordo setorial entre poder público, e empresariado e demais relacionados, com intuito de atribuir responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e motivar condutas de responsabilidade socioambiental, destacando-se a inclusão das cooperativas de catadores de forma prioritária no processo de coleta seletiva e logística reversa (Lei nº 12305/10).

Um grande avanço legislativo, diante do quadro socioeconômico do Brasil, representou o destaque dado às cooperativas ou associações de catadores de materiais recicláveis na prestação de serviços em atividades de logística reversa e coleta seletiva. A integração de associações ou cooperativas na gestão dos resíduos é um meio importante para uma real ampliação da economia solidária. Por outro lado, percebe-se a necessidade de ajustes na legislação ambiental com relação às cooperativas, além de melhorias nas atividades internas de manuseio, armazenamento, transporte e a capacitação dos catadores.

Todavia, sem efetividade e adesão verdadeira, uma Lei é apenas uma Lei. Daí que somente dez anos após a promulgação da PNRS, o Brasil passou a contar com regras menos dúbias, metas e prazos para mitigar os danos causados pelos REEE. Somente em fevereiro de 2020, quando foi publicado o Decreto nº 10.240 de 12/02/2020, foi que começou a contar o prazo para a implementação de um sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos.

Segundo maior produtor desse tipo de resíduo nas Américas, suplantado apenas pelos Estados Unidos, com descarte de 2,14 milhões de toneladas em 2019 (último dado disponível), o país terá, de agora, de acordo com o decreto referido acima, até 2025, se estruturar para contar com cinco (5) mil pontos de coleta e destinação de lixo eletroeletrônico, para coletar os produtos, transportar e depois desmontá-los e reciclá-los, espalhados por 400 cidades, que concentram 60% da população. Municípios com mais de 80 mil habitantes terão que ter um ponto de coleta para cada 25 mil habitantes. Cidades menores poderão fazer campanhas móveis de coleta ou estabelecer esquemas consorciados.

A expectativa governamental é que até 2025 seja dado destino ambientalmente correto a 17%, em peso, do lixo eletroeletrônico descartado por ano, tendo como base o volume apurado em 2018. O decreto aponta: 255 itens com prioridade de reciclagem, a criação de uma lista na qual produtos e pontos de entrega sejam atualizados periodicamente; e a criação de um Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) para divulgação dos dados à sociedade. O decreto prevê divisão de responsabilidades para todos os integrantes do setor, inclusive, quanto ao destino das embalagens. De acordo com a meta final do decreto. Levando em consideração parâmetros de 2018, em 2025 o país terá que contar com, no mínimo, 5 mil pontos de coletas nas 400 maiores cidades (pelo critério populacional),

para coletar os produtos, transportar e depois desmontá-los e reciclá-los. Em casos de não cumprimento das obrigações propostas pela PNRS, a entidade está sujeita a multas, penalidades, e até mesmo penas de reclusão de 1 a 3 anos.

### 3 MINAS URBANAS

A baixa oferta de alguns óxidos metálicos é um problema crítico que já vem preocupando setores industriais estratégicos em muitos países, especialmente aqueles desenvolvidos industrialmente. Além das questões geográficas de localização das reservas minerais naturais, que ajuda a explicar o controle sob o aspecto da oferta, há a questão de que os minerais brutos primários não são renováveis. Depois da extração e uso, os metais extraídos das fontes primárias são relegados especialmente na forma de produtos em fim de vida (Kiddee et al., 2013).

Os grandes centros urbanos de um modo geral, “possuem” grandes estoques de REEE, contidos em construções urbanas, infraestrutura, aterros sanitários e também em cada domicílio. Os locais onde estão localizados estes REEE são denominados minas urbanas. Tais materiais representam estoques de recursos potenciais com grande valor econômico agregado que podem ser recuperados, ao final da vida útil do produto, sendo reintroduzíveis para novo ciclo de aproveitamento. Com isso tornar-se-ia mitigada parte do problema de dependência.

As minas urbanas incluem resíduos secundários que são gerados diretamente nas áreas urbanas. Estes recursos são caracterizados pela heterogeneidade material, contendo diversos metais e suas ligas além de plásticos, vidros e cerâmicas. Um exemplo dessa matriz complexa em termos de variedade de materiais é o lixo eletrônico (Debaraj & Young, 2010).

O objetivo da mineração urbana é alcançar a utilização máxima de materiais com custos mínimos de produção e de processamento, concomitantemente com a diminuição do impacto ambiental (Allwood et al., 2011). E poderíamos acrescentar: diminuição da dependência externa. Deste modo, a mineração urbana se encaixa nas tendências atuais de economia circular, buscando o aproveitamento econômico de matérias-primas secundárias resultante da geração de resíduos, pelo descarte de produtos pós-consumo. As matérias-primas, assim, voltariam à cadeia produtiva por meio de recirculação ou reciclagem, minimizando os impactos ambientais e favorecendo a sustentabilidade (Xavier & Lins, 2018).

As minas urbanas possuem a característica de receber vários tipos de fluxos de resíduos, os quais se encontram prontamente acessíveis e apresentam a especificidade de concentrações significativas de metais de interesse. Um paralelo entre a disponibilidade de metais críticos nas fontes minerais primárias (minas) e a disponibilidade em minas urbanas pode ser visto na Tabela 1 (Wang et al., 2017).

Tabela 1. Disponibilidade de alguns metais críticos na mineração tradicional vs. mineração urbana.

Metais	Disponibilidade em Minérios %	Disponibilidade em Minas urbanas %	em Composição das minas urbanas
Li	6,5 x 10 <sup>-3</sup>	1-6	cerâmica, vidro, baterias, indústria nuclear
In	1,0 x 10 <sup>-5</sup>	0,5-5	TVs e monitores LCD, laptops
Ga	1,5 x 10 <sup>-3</sup>	-	semicondutores, células fotovoltaicas, ligas metálicas
Ge	7,0 x 10 <sup>-5</sup>	-	fibra óptica e de infravermelho, catalisadores
Mo	1,1 x 10 <sup>-4</sup>	10-30	produtos eletroeletrônicos, catalisadores
W	1,0 x 10 <sup>-3</sup>	-	carboneto cimentado, catalisadores
V	1,8	1-12	siderurgia, aviação, catalisadores

Devido ao seu amplo emprego em tecnologias de ponta, a maioria dos metais valiosos estão disponíveis nas minas urbanas na forma de REEE, rejeitos e escória, com a vantagem de apresentarem-se concentrados relativamente à extração mineral tradicional. A Figura 1 ilustra os diversos produtos de alta tecnologia que contém metais críticos e são considerados matéria-prima quando descartados ao final do uso em aterros, constituindo as minas urbanas.



Figura 1. Produtos de alta-tecnologia considerados fontes secundárias de metais na mineração urbana (Giese, 2020).

#### 4 MINERAÇÃO URBANA E ECONOMIA CIRCULAR

A mineração tradicionalmente praticada, via de regra, consiste na extração de minério a partir da lavra de uma jazida mineral e o seu processamento para a obtenção de produtos comercializáveis. Já a mineração urbana vem a ser o aproveitamento econômico de metais/materiais decorrentes da geração de resíduos provenientes do descarte de produtos e materiais pós-consumo, nos quais a matéria bruta foi utilizada ainda que aparentemente em pequenas, ou ínfimas, porções. À semelhança da mineração

convencional, a mineração urbana pode recuperar materiais não metálico e metálicos; sejam os mais comuns e os mais raros, a exemplo, respectivamente, de sucatas ferrosas/ não ferrosas e de resíduos de construção e demolição (RDC) e os metais contidos nos RREE (Xavier & Lins, 2018).

A mineração urbana pode ser considerada como a recirculação de produtos e materiais pós-consumo na forma de matéria-prima secundária, como forma de se minimizar os impactos ambientais, valorizar os resíduos, e criar e otimizar os benefícios econômicos em prol de um ambiente sustentável, otimização da economia e diminuição da dependência. A recirculação proposta pela economia circular pressupõe o reuso de um produto ou material na fase pós-consumo, da mesma forma em que contribui para a minimização da geração de resíduos, uma vez que estes deixam de seguir as rotas convencionais de destinação e descarte e passam a priorizar os vários mecanismos de recirculação, com seus vários Rs: reparo, restauração, reuso, remanufatura, reciclagem, entre outros (Xavier & Lins, 2018).

A economia circular, enquanto concepção, mesmo ainda recente em termos de abordagem e aplicação, vem sendo amplamente disseminada e discutida não só a nível teórico, mas também em círculos governamentais e nos organismos multilaterais (ONU). A economia circular representa uma forma de abordagem macroeconômica em que os recursos são utilizados de modo a maximizar seu valor, gerando retorno e benefícios econômicos e ambientais e reduzindo a geração de resíduos. Isto ocorre normalmente, não se utilizando de recursos naturais virgens, primários, mas sim de outros, secundários e suplementares, que são obtidos da recuperação ou reciclagem de resíduos. Desta forma, poupam-se recursos naturais e preserva-se o meio ambiente; e se utiliza dos que foram recuperados pelas atividades econômica, suprimindo assim também a geração de resíduos por meio de projetos de modelagem de produtos com esta finalidade.

## 5 COOPERATIVAS E MINERAÇÃO URBANA

Não cabe dúvida de que o manejo da reciclagem por intermédio do modelo cooperativista, já consagrado em diferentes segmentos, representa uma opção perfeitamente viável. As cooperativas de reciclagem de resíduos sólidos convencionais, tais como aquelas que se concentram em reciclar papel e alumínio, fazem parte do ramo do cooperativismo de trabalho, e desenvolvem um papel importante para a sociedade, atribuindo uma destinação correta para o lixo, que passa a ter sua alcunha alterada para resíduo, o que faz toda a diferença.

Os catadores de materiais recicláveis na PNRS instituída pela legislação (Lei nº 12.305), num primeiro momento, receberam posição de destaque. A PNRS promove a integração desses trabalhadores “nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos”(art. 7º, inciso XII) e incentiva a criação e o desenvolvimento de “cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis” (art 8º, inciso IV). Na elaboração de um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos a “participação de cooperativas ou outras formas de associação

de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda é obrigatória” (art 19º, inciso XI).

De acordo com a meta final estipulada no Decreto nº 10.240, de 12/02/2020, propõe-se que em 2025 deverão ser instaladas pelo menos 5 mil pontos de coletas nas 400 maiores cidades (em população), visando coletar os produtos de REEE, transportá-los, depois desmontá-los, e, por fim, reciclá-los. Está dada a oportunidade para integrar as cooperativas de reciclagem de REEE com os atores envolvidos em todas as etapas da coleta seletiva, logística reversa e tratamento dos resíduos. Sem ilusões que o processo será tranquilo e harmônico. Bastando para tanto deduzir do tempo que se levou para surgir a regulamentação legal a partir da criação legislativa.

O gerenciamento dos REEE é um desafio de certa forma recente para a nossa sociedade. A diversidade de produtos eletrônicos, a evolução tecnológica e a obsolescência programada dos produtos são alguns dos fatores que, impulsionados pelos nossos hábitos extravagantes de consumo, colaboram para a geração de quantidades de REEE cada vez maiores e que precisam ser descartados de forma correta, nem que seja para se evitar maiores e desconhecidos danos ao meio ambiente. Como os fabricantes de produtos eletrônicos não informam detidamente a composição física dos produtos, tendemos a achar que são “inofensivos” à natureza. Além de evitar os danos causados (visíveis e potenciais) e preservar os recursos naturais diminuindo a extração, estudos apontam que há maior quantidade de ouro em 1 tonelada de computadores do que em 17 toneladas de minério bruto. Assim, o descarte de REEE sem reaproveitamento dos minerais contidos nos mesmos significa desperdício de reservas naturais e de dinheiro.

A reciclagem de REEE na forma de mineração urbana pode contribuir intensamente para a melhoria da sustentabilidade nos grandes centros urbanos. O setor cooperativo de reciclagem pode ser decisivo para que a PNRS não soçobre, uma vez que está sob o guarda-chuva dos princípios orientadores da economia social e solidária e da economia ecológica. Os recicladores contribuem para a recuperação de recursos, o que gera benefícios ambientais e reduz o desperdício. Os ganhos podem ser ainda traduzidos na redução dos gases de efeito estufa (GEE) e na mitigação das mudanças climáticas (Gutberlet, 2015).

A gestão de REEE por cooperativas de mineração urbana apresenta muitos desafios (Giese et al., 2021). A começar pelo fato de que os eletroeletrônicos disponíveis no mercado não foram produzidos de forma a considerar a viabilidade da desmontagem, reciclagem e reaproveitamento de seus componentes (Xavier et al., 2017). Privilegia-se o design à funcionalidade e ressignificação (reciclagem). A miniaturização, a busca pelo melhor desempenho e as novas funcionalidades dos eletroeletrônicos de alta tecnologia tem sido alcançadas pelo uso de um número cada vez mais crescente de componentes menores, de embalagens compactas e de materiais encapsulados. O que resulta na maior dificuldade de desmantelamento ou desmontagem, uma vez que estes equipamentos não são projetados originalmente para essa etapa de separação dos materiais constituintes ao final do ciclo de uso. Afora o fato da completa

falta de lógica na localização espacial, o que leva a nenhuma padronização, e, portanto, a ter-se num mesmo fabricante uma miríade de diferenças entre produtos equivalentes, por exemplo, a localização de componentes em placas de circuito impresso de notebook ou o clássico problema das diferentes entradas de plugs de carregadores de celulares, questão agora resolvida com a obrigatoriedade da adoção de um mesmo modelo. E tal atitude importa em dificultar a confecção de ferramentas que pudessem auxiliar o processo de reciclagem.

## 6 DESAFIOS DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

A primeira etapa do processamento do REEE é a denominada manufatura reversa, que consiste na desmontagem manual objetivando a separação dos componentes para a reciclagem. Na manufatura reversa de apenas um determinado REEE, algumas peças e componentes podem retornar, como matéria-prima, para reaproveitamento no fabricante de origem. Adicionalmente, a linha de desmontagem torna-se mais simples e produtiva, pois não exige uma utilização diversificada de ferramentas ou de recipientes para coleta das peças e componentes desmontados, além da utilização de pouca mão de obra.

Os gargalos do setor de reciclagem de REEE são definidos como fatores que limitam o desempenho e a eficiência da reciclagem ou reutilização dos produtos e, assim, impedem ou limitam o movimento de cooperativas de reciclagem de REEE para uma cadeia de valor de desperdício próximo de zero, segundo preconiza a economia circular.

### a) Desafios da manufatura reversa:

- Logística reversa (coleta, transporte e armazenamento adequados dos REEE);
- Espaços disponíveis nas áreas urbanas que disponham de área adequada à atividade, além de estar acessível aos cooperados e próxima das áreas geradoras dos REEE;
- Custo elevado para compra ou aluguel de terreno;
- Custo elevado para a adequação do local e compra de equipamentos;
- Risco de incêndio devido à estocagem de materiais de fácil combustão;
- Capacitação técnica dos cooperados;
- Presença de substâncias indesejadas, tóxicas ou perigosas.

### b) Desafios tecnológicos:

- Falta de métodos automáticos de bom desempenho para o desmantelamento de dispositivos eletrônicos: a principal alternativa é o desmantelamento manual.
- Devido ao alto custo, não é economicamente viável desmontar e classificar, por exemplo, pequenos componentes contendo metais valiosos de placas de circuito impresso (PCB), ou mesmo desmontar PCBs antes do processo de esmagamento;

- Heterogeneidade na composição dos materiais na entrada do processo, mesmo pertencendo ao mesmo fabricante;
- Dificuldade em separar a matéria-prima crítica das estruturas complexas;
- Perda de materiais em diferentes fases de processamento.

c) Desafios econômicos:

- Devido à variação das qualidades e quantidades de fornecimento de material de insumo e dependência dos preços secundários dos materiais sobre os de materiais virgens, é difícil manter os volumes, qualidades e preços dos materiais reciclados estáveis;
- O benchmarking dos preços em relação aos preços dos materiais primários não leva em conta os potenciais benefícios ambientais e estratégicos da reciclagem;
- Em alguns casos, os custos de aterros ou alternativas de recuperação de energia são bastante baixos devido à supercapacidade;
- O mercado de matérias-primas críticas recicladas não é claro, pois muitas vezes o valor do material primário é muito baixo para aumentar o interesse pela reciclagem.

## 7 DESAFIOS PARA CONSTRUÇÃO DE COOPERATIVAS DE REEE

Por tudo que já se discutiu anteriormente, e tendo em vista o sistema tradicional de organização e funcionamento de cooperativas de catadores, não se vislumbra que estas possam galvanizar os benefícios que, em tese, a PNRS poderia proporcionar ao setor sem apoio decisivo da sociedade civil organizada, das instituições do setor e, sobretudo, da gestão de uma Política pública que descortine o imenso potencial social-econômico-ambiental envolvido no congraçamento e correlação entre reciclagem-REEE-cooperativas-resgate social.

Deixados à própria sorte, sem apoio científico, técnico e político, as cooperativas de reciclagem não conseguirão alcançar outro patamar e se beneficiar ao máximo do movimento societal que a PNRS aponta.

Hoje as cooperativas de reciclagem se defrontam com obstáculos de toda natureza, e, resumidamente, podemos citar: a) começando pelo assédio de regulamentação descolada da realidade prática do atual nível tecnológico do setor; b) exigências ambientais justas, mas quase insuperáveis; c) exigências de segurança de trabalho; d) zoneamento urbano e dificuldades para implantação de empreendimentos cooperativos (Giese et al., 2021b; Giese et al., 2021c).

Sem qualquer prestígio ou contrapartida dos entes estatais para que o setor possa cumprir seu desiderato de inclusão sócio-econômica e o resgate ambiental em compasso com exigências pensadas para um mundo idílico de precondições ótimas, mas sem qualquer amparo na realidade concreta na qual se busca legislar.

Os problemas e desafios cotidianos das cooperativas de reciclagem já são do conhecimento da literatura (Santos et al., 2018), e dentre outros podemos citar:

- baixa formação intelectual dos cooperados;
- falta de treinamento específico;
- desqualificação da importância de tal trabalho;
- desconhecimento completo das exigências legais, contábeis, ambientais, para constituição e manutenção do empreendimento cooperativo;
- dificuldade de acesso a material reciclável “nobre” e em volumes suficientes para gerar renda que permita sobrevivência do modelo de negócio e de seus operadores;
- não previsibilidade da renda a ser auferida;
- dificuldade na compreensão da filosofia “cooperativa” como expressão de pensamento-organização na criação de um mundo mais justo;
- conseguir compradores e preços justos para os produtos reciclados pela cooperativa.

A despeito das indissidências internas, as cooperativas podem ser, viabilizadas, a melhor solução para o adequado manejo do REEE, uma vez que não há obstáculo para que esse modelo de negócio não se encontre com a academia num processo de ganha-ganha. Somente interdição intelectual e preconceito explicam não se cogitar desse casamento.

À toda evidência, esse processo nos parece deverá ser implantado em etapas, como sói acontecer no desenvolvimento de qualquer cadeia produtiva. Assim, tal logo se estruture, a cooperativa de REEE poderá ir galgando o desenvolvimento suficiente para fechar o ciclo a partir da recolha até chegar ao beneficiamento e realocação de produtos de interesse na economia.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma empresa com boa reputação, até a segunda metade da década de 1970, era aquela que alcançava um nível de recursos financeiros conveniente e que estava com seus rendimentos em ascensão. Atualmente, as organizações respeitadas e sustentáveis são aquelas que conseguem integrar sinergicamente os pontos dos três pilares da sustentabilidade, os quais englobam fatores econômicos, ambientais e sociais.

Em comparação com as cooperativas de reciclagem tradicionais, o modelo cooperativista de mineração urbana requer um esforço maior de implantação, pois demanda dos cooperados um maior conhecimento e capacitação. A reciclagem cooperativa como forma de mineração urbana organizada, no médio e longo prazo, pode contribuir para todos os setores, seja a comunidade, o governo ou o meio ambiente.

Ao mesmo tempo, há desafios diversos relacionados à reciclagem de REEE que precisam ser

superados. Além disso, políticas públicas estado de longo prazo, avaliadas periodicamente, que apoiem continuamente a economia social e solidária dos resíduos sólidos e as abordagens participativas para a gestão dos resíduos são cruciais para garantir o sucesso dos programas e salvaguardar o apoio contínuo, que vai além do espectro dapolítica partidária, vale dizer, meramente conjuntural. Trata-se de política de Estado.

A reciclagem de REEE na forma de cooperativas de mineração urbana é um caminho transitório de promoção da mudança nos paradigmas da reciclagem tradicional e da extração convencional de metais a partir de minérios, que se encaixa no desenvolvimento da economia social e solidária e nos aspectos ambientais vitais da economia ecológica. É essencial que futuras pesquisas desenvolvam estratégias tecnológicas e políticas para maximizar o potencial dos recicladores organizados. para que estes se tornem reconhecidos como mineradores urbanos e agentes condutores de lixo zero.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Serviço Nacional de Aprendizagem do Cooperativismo (SESCOOP) pelo apoio financeiro no âmbito do Projeto CNPq/SESCOOP nº 403048/2018-4.

## REFERÊNCIAS

- J.M. Allwood, M.F. Ashby, T.G. Gutowski, E. Worrell. Material efficiency: a white paper. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 55, 362e381, 2011.
- A.K. Awasthi, M. Wang, Z. Wang, M.K. Awasthi, J. Li. E-waste management in India: A mini-review. *Waste Management & Research*, n. 5, v. 36, 2018.
- M. Debaraj, H.R. Young. Current research trends of microbiological leaching for metal recovery from industrial wastes. *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*, v. 4, p. 1289-1296, 2010.
- V. Forti, C.P. Baldé, R. Kuehr, G. Bel, The Global E-Waste Monitor 2020. Quantities, flows, and the circular economy potential (2020).
- E.C. Giese. Os desafios da biometalurgia frente ao crescimento das minas urbanas. 1. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2020. 45p.
- GIESE, E.C.; BLANCO, J.; LINS, F. A. F.; XAVIER, L. H. Mineração urbana e cooperativismo: uma abordagem sobre a reciclagem de resíduos de eletroeletrônicos. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2021a.
- GIESE, E. C.; XAVIER, L. H.S.M.; OTTONI, M. S.O.; ARAÚJO, R. A. (org.). Cooperativas e a gestão de resíduos eletroeletrônicos. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2021b.
- Giese, E.C., Araujo, R.A., Ottoni, M., Santos, J., Contador, L., Rebello, R.Z., Sierpe, R.S., Silva, M.L.M., Xavier, L.H. Cooperativas e a gestão de resíduos eletroeletrônicos no Rio de Janeiro. 1ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2021c.
- J. Gutberlet. Cooperative urban mining in Brazil: Collective practices in selective household waste collection and recycling. *Waste Management*, v. 45, p. 22-31, 2015.
- P. Kiddee, R. Naidu, M.H. Wong. Electronic waste management approaches: an overview. *Waste Management*, v. 33, 1237e1250, 2013.
- F.A. Nobrega. A relevância dos processos em empreendimentos coletivos: o caso da cooperativa de reciclagem 100 Dimensão. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2011.
- R. A. Santos, R. M. Deus, R. A. G. Battistelle. Cooperativas de reciclagem: Problemáticas e desafios para o desenvolvimento sustentável. *Revista Espacios*, v. 39, p. 4, 2018.
- M. Wang, Q. Tan, J.F. Chiang, J. Li. Recovery of rare and precious metals from urban mines – A review. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, v. 11, p. 1, 2017.
- L.H. Xavier, A.C. Duthie, E.C. Giese, F.A.F. Lins, Sustainability and Circular Economy: a theoretical approach focused on e-waste urban mining. *Resources Policy*, v. 1, p. 101467, 2019.
- L.H. Xavier, T.C.M.B. Carvalho. Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos: Uma abordagem prática para a sustentabilidade. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier/Campus, 2014. v.1. 240p.
- L.H. Xavier, H.F.F. Nascimento, I. Bellan, F.A.F. Lins, F. Ribeiro, M.B. Caldas, L.O.S. Silva, B. Zomer, R.A. Araujo, O.O. Dias Filho, P.C. Reinol, R.L. Fagundes, A.C.F. Gusmão. Manual para a destinação de resíduos eletroeletrônicos: orientação ao cidadão sobre como dispor adequadamente os resíduos eletroeletrônicos na cidade do Rio de Janeiro. 1. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2017. v.1. 20p.

L.H. Xavier, R.V. Silva, A. Diniz, J.P.C. Cajueiro, F.J.T. Juca, M.C. Silveira, P. Ferreira. Inovação e sustentabilidade na gestão de resíduos sólidos: perspectivas da aplicação da política nacional de resíduos sólidos na Região Metropolitana do Recife. 2014. v.1. 103p.

L.H. Xavier, F.A.F. Lins. Mineração urbana de resíduos eletrônicos: uma nova fronteira a explorar no Brasil. *Brasil Mineral*, n. 379, p. 22-26, 2018.