

POTENCIAL DE RECUPERAÇÃO DE MINERAIS CRÍTICOS E ESTRATÉGICOS A PARTIR DE PILHAS PRODUZIDAS NO BRASIL

POTENTIAL FOR RECOVERY OF CRITICAL AND STRATEGIC MINERALS FROM BATTERIES PRODUCED IN BRAZIL

Luiza Elena Reckziegel

Aluna de Graduação de Engenharia Ambiental, 6º período

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Período PIBIC/CETEM: setembro de 2024 a agosto de 2025

Lúcia Helena Xavier

Orientador, Bióloga, D.Sc.

Coordenação de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA/CETEM

lxavier@cetem.gov.br

RESUMO

O cenário da transição energética e o desenvolvimento constante de tecnologias exige a exploração cada vez maior de minerais denominados críticos e estratégicos, o que pressiona a economia e o meio ambiente. Diante disso, a mineração urbana configura-se como uma solução para a recuperação desses minerais, especialmente através de resíduos de equipamentos eletrônicos (REEE). Esta pesquisa tem como objetivo evidenciar o potencial quantitativo e econômico da recuperação de MCEs a partir de pilhas produzidas no Brasil. A metodologia utilizada consiste na análise de dados secundários sobre a produção de pilhas e na estimativa do potencial de recuperação do zinco. Os resultados indicam um potencial de recuperação de MCEs no país, além da relevância econômica associada à valorização do zinco recuperado. No entanto, observam-se inconsistências nos dados de produção de pilhas, exigindo ajustes nas unidades de medida e não informam a tipologia dos produtos, o que limita a precisão das estimativas. Como conclusão, os princípios da economia circular implicam a potencialidade de minas urbanas no Brasil.

Palavras chave: Mineração urbana; pilhas; minerais críticos e estratégicos.

ABSTRACT

The energy transition scenario and the constant development of new technologies demand an increasing exploitation of so-called critical and strategic minerals, placing pressure on both the economy and the environment. In this context, urban mining emerges as a solution for the recovery of these minerals, particularly through waste electrical and electronic equipment (WEEE). This research aims to highlight the quantitative and economic potential of recovering critical and strategic minerals (CSMs) from primary batteries produced in Brazil. The methodology adopted consists of analyzing secondary data on battery production and estimating the zinc recovery potential. The results indicate a significant recovery potential for CSMs in the country, in addition to the economic relevance associated with the valorization of recovered zinc. However, inconsistencies were observed in the battery production data, requiring adjustments to measurement units and lacking information on product typology, which limits the accuracy of the estimates. In conclusion, the principles of the circular economy reveal the potential of urban mines in Brazil.

Keywords: Urban mining; primary batteries; critical and strategic minerals.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por minerais impulsionada pela transição energética, digitalização e expansão tecnológica têm colocado os recursos minerais críticos e estratégicos em uma posição central nas discussões políticas, econômicas e ambientais. O Serviço Geológico do Brasil (SGB) tem destacado o impacto desses minerais para o futuro da economia nacional e internacional, como um ativo essencial para a ampliação de fontes energéticas renováveis, como painéis fotovoltaicos, baterias automobilísticas e turbinas eólicas, que surgem com a finalidade de reduzir os impactos ambientais consequentes das emissões de carbono geradas pelos combustíveis fósseis.

Entre os minerais abordados no relatório do SGB de 2024, o zinco aparece como um dos elementos essenciais, tanto para aplicações industriais quanto para o fortalecimento das cadeias de suprimento voltadas a tecnologias verdes. O zinco também faz parte da composição de diversas tecnologias, como os painéis solares fotovoltaicos (PV), drones, entre outros (EUROPEAN COMMISSION, 2020). Além disso, é um mineral que também se encontra em outros dispositivos eletroeletrônicos, como as pilhas alcalinas e de zinco-carbono, por exemplo (Tabela 1).

Tabela 1: Quantidade de ZnO em pilhas de óxidos de Zn e Mn.

Amostra	Estequiometria	ZnO (%)
1	Zn _{0,3} Mn _{2,7} O ₄	7,49
2	Zn _{0,65} Mn _{2,35} O ₄	16
3	ZnMn ₂ O ₄	25,83

Fonte: Adaptado de Almeida (2025).

Apesar do zinco não estar listado nos blocos de minerais estratégicos do Brasil, resolucionado pelo Comitê Interministerial de Análise de Projetos de Minerais Estratégicos (CTAPME), conforme estabelecido na Resolução nº 2/2021 (MME, 2021), faz parte da lista de minerais críticos dos Estados Unidos (UNITED STATES, 2023), Reino Unido (UKCMIC, 2024), Canadá (CANADÁ, 2023), Coreia do Sul (IEA, 2023), entre outros. Diante disso, a recuperação desse mineral estratégico poderia representar ganho significativo para o Brasil.

Nesse contexto, a mineração urbana surge como estratégia para a recuperação dessa matéria-prima secundária através de resíduos, especialmente de equipamentos eletroeletrônicos. O aumento da produção e redução da vida útil eleva os volumes pós-consumo de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), evidenciando a necessidade de serem direcionados a partir dos princípios da economia circular (XAVIER e OTTONI, 2021). Um exemplo prático da mineração urbana acontece na planta da empresa mineradora Nexa Resources em Juiz de Fora (MG), a qual realiza a reciclagem de pilhas e baterias portáteis com recuperação de zinco, que são reintegrados à cadeia produtiva (NEXA RESOURCES, 2023).

Paralelo a isso, as entidades gestoras do setor de resíduos eletroeletrônicos, a Green Eletron e a ABREE incentivam a conscientização ambiental e o descarte adequado, voltado para a reciclagem de REEE, com atenção para as pilhas e baterias, que contam com mais de 8 mil PEVs exclusivos, dialogando com a Resolução CONAMA nº 401, de 4 de novembro de 2008, que prevê o gerenciamento voltado à coleta, reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final. Assim, uma gestão eficiente de pilhas atrelada à mineração urbana, a fim de recuperar materiais secundários, apresenta benefícios ambientais diante da redução de recursos naturais primários e da prevenção de impactos ao meio ambiente, e econômicos (BOYDEN, 2016).

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo projetar o potencial quantitativo e econômico da recuperação de minerais críticos e estratégicos a partir de pilhas produzidas no Brasil.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa propõe uma análise de dados para a verificação da quantidade de pilhas produzidas no Brasil, que foi consultada através da Lista de Produtos e Serviços Industriais (PRODLIST) e da Pesquisa Industrial Anual – Produto (PIA-Produto) do IBGE, que disponibiliza dados até o ano de 2022. Os dados para a produção disponibilizados pelo IBGE são disponibilizados em unidades de medida em valor unitário (mil unidades). Diante disso, a quantidade de pilhas produzidas no Brasil é ajustada para toneladas, por meio do peso médio unitário obtido pela média do peso de pilhas de diferentes marcas, com uso de uma balança de precisão digital. Além disso, a estimativa baseia-se em uma análise em que todas as pilhas produzidas são de Zn/Mn, já que o IBGE não disponibiliza informações específicas relacionadas à tipologia produzida.

Em seguida, a porcentagem de ZnO caracterizada pelo Almeida (2025) na amostra 3 da Tabela 1 será utilizada para estimar o potencial de recuperação desse material secundário a partir das pilhas produzidas no Brasil. Por fim, para avaliar o potencial econômico da recuperação de zinco, foi calculado o valor de mercado, considerando o preço médio internacional do mineral, com base nas cotações da London Metal Exchange (LME).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de pilhas no Brasil é estimada por meio do código 2721.2030 - Pilhas e baterias de pilhas, elétricas, de volume menor ou igual a 300cm³, exceto para veículos (mil) - determinado pela PRODLIST-Indústria, a qual permite organizar e comparar as estatísticas da produção nacional. Em complementação, a Pesquisa Industrial Anual – Produto (PIA-Produto) do IBGE permite a consolidação da quantificação da produção nacional de pilhas.

A média de peso realizada pelos diferentes tipos de pilhas foi calculada em 23g por unidade. Essa medida foi utilizada para ajustar o valor em unidades de produção de pilhas para toneladas.

Tabela 2. Estimativa do potencial de recuperação de óxido de zinco a partir das pilhas produzidas no Brasil.

	Unidades (mil)	Pilhas Zn/Mn (t)	ZnO (t)	Valor (US\$¹)
2022	652.788	15014,12	4124,09	10949951,53
2021	889.932	20468,436	3863,31	14927836,08
2020	707.060	16262,38	4200,57	11860317,17
2019	650.29'0	14956,67	5287,00	10908049,75
2018	694.186	15966,278	3878,15	11644367,01

Os resultados apontam para uma projeção significativa da mineração urbana de pilhas no Brasil, com cerca de 15 mil toneladas de ZnO com potencial de recuperação no ano de 2022. Além disso, o valor econômico estimado calculado a partir da cotação atual do zinco na London Metal Exchange (US\$ 2823,5/t), indica que entre 2018 e 2022, o Brasil poderia ter movimentado cerca

¹ Cotação em julho de 2025.

US\$ 10 e 15 milhões anuais com a recuperação de ZnO a partir de pilhas. Embora se trate de um cenário idealizado, sem ajustes anuais no valor do mineral e sem considerar as taxas de eficiência da recuperação, os resultados demonstram grande potencial econômico.

Esses dados evidenciam a importância do incentivo à gestão desses resíduos, a fim de assegurar a logística reversa e reduzir os impactos ambientais gerados pelo descarte incorreto. Por conta disso, o estudo se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), com destaque para a ODS 12, que busca assegurar padrões sustentáveis de produção e consumo.

5. CONCLUSÕES

A presente pesquisa possibilitou identificar o potencial significativo para a recuperação de minerais críticos e estratégicos (MCE), como o zinco, a partir de pilhas produzidas no Brasil. A recuperação de MCEs a partir das pilhas podem contribuir significativamente para a produção sustentável, a exemplo da empresa Nexa Resources, que reintegra o zinco recuperado de pilhas pós-consumo na cadeia produtiva. Assim, verifica-se a importância da gestão desses resíduos através de diretrizes da Resolução CONAMA nº 401, de 4 de novembro de 2008, que atrelada aos princípios da economia circular, representam uma mina urbana em grande potencial.

Como limitação da pesquisa, destaca-se o fato de a análise ter se concentrado na produção de pilhas e não considerado também valores de importação, além de se restringir a análise até o ano de 2022. A restrição dos dados até o ano de 2022 se deu em razão da Lista de Produtos e Serviços Industriais (PRODLIST) e o PIA-Produto do IBGE não disponibiliza informações mais recentes e sobre produção específica para cada tipologia de pilha. Assim, para futuras investigações, recomenda-se a realização do cálculo do Volume Colocado no Mercado (VCM) (XAVIER et al., 2021) com dados mais atualizados, pois abrangeia um número mais consolidado de pilhas pós consumo com potencial de recuperação.

6. AGRADECIMENTOS

A autora agradece ao projeto RECUPER3 (Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação SETEC/MCTI - Processo nº 01207.000170/2023-35), e a bolsa concedida pelo CNPq para o desenvolvimento da pesquisa (Processo 1398834/2024-0).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, M.A. et al. Refurbished zinc manganese oxides from waste batteries as a supercapacitor asymmetric cell: a second life to battery waste. *Materials Today Sustainability*, [S.I.], v. 29, 2025. p. 101077.
- BOYDEN, A.; SOO, V.K.; DOOLAN, M. The environmental impacts of recycling portable lithium-ion batteries. In: CIRP CONFERENCE ON LIFE CYCLE ENGINEERING, 23., 2016, Canberra. *Procedia CIRP*, v. 48, 2016. p. 188-193.
- CANADÁ. Critical minerals: an opportunity for Canada. [S.I.], 2023. Disponível em: <<https://www.canada.ca/en/campaign/critical-minerals-in-canada/critical-minerals-an-opportunity-for-canada.html>>. Acesso em: 27 jul. 2025.
- EUROPEAN COMMISSION. Critical raw materials for strategic technologies and sectors in the EU: a foresight study. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. ISBN 978-92-76-15336-8. Disponível em: <<https://doi.org/10.2873/58081>>. Acesso em: 27 jul. 2025.

GREEN ELETRON. Green Eletron reciclagem quase 45 mil toneladas de eletroeletrônicos e pilhas em 2023. [S.I.], 2023. Disponível em: <https://greeneletron.org.br/blog/green-eletron-reciclagem-quase-45-mil-toneladas-de-eletroeletronicos-e-pilhas-em-2023/?utm_>. Acesso em: 27 jul. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. The strategy for securing reliable critical minerals supply. Paris, 2023. Disponível em: <<https://www.iea.org/policies/17942-the-strategy-for-securing-reliable-critical-minerals-supply>>. Acesso em: 27 jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Pesquisa Industrial Anual - Produto [Internet]. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9044-pesquisa-industrial-anual-produto.html?=&t=download>>. Acesso em: 15 jun. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Produtos da Estrutura [Internet]. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <<https://concla.ibge.gov.br/estrutura/produtos-estrutura.html>>. Acesso em: 15 jun. 2025.

LONDON METAL EXCHANGE. LME Zinc. Disponível em: <<https://www.lme.com/Metals/Non-ferrous/LME-Zinc>>. Acesso em: 27 jul. 2025.

NEXA RESOURCES. Juiz de Fora tem a maior reciclagem de pilhas e baterias portáteis do Brasil. [S.I.], 2023. Disponível em: <<https://www.nexaresources.com/juiz-de-fora-tem-a-maior-reciclagem-de-pilhas-e-baterias-portateis-do-brasil>>. Acesso em: 15 mai 2025.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB. An overview of critical and strategic minerals potential of Brazil. Brasília: SGB, 2024. p. 35.

UNITED KINGDOM. CRITICAL MINERALS INTELLIGENCE CENTRE – UKCMIC. *UKCMIC 2024* criticality assessment. [S.I.]: British Geological Survey, 2024. Disponível em: <<https://www.ukcmic.org/downloads/reports/ukcmic-2024-criticality-assessment.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2025.

UNITED STATES. DEPARTMENT OF ENERGY. What are critical materials and critical minerals? [S.I.], 2023. Disponível em: <<https://www.energy.gov/cmm/what-are-critical-materials-and-critical-minerals>>. Acesso em: 27 jul. 2025.

XAVIER, Lúcia Helena; OTTONI, Marianna. Mineração urbana: conceitos e análise do potencial dos resíduos eletroeletrônicos. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2021. p. 197. ISBN 978-65-5919-059-1.

XAVIER, Lúcia Helena ; SILVA, Ricardo Sierpe Vidal V.; OTTONI, Marianna; CUGULA, Jéssica. Método para a categorização e a estimativa da geração de resíduos eletroeletrônicos no Brasil. REVISTA BRASILEIRA DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE, v. 8, p. 1533-1551, 2021. Doi 10.21438/rbgas(2021)082017.