

### **III-878-DA MINERAÇÃO URBANA À ECONOMIA CIRCULAR: ESTIMATIVA DO VALOR AGREGADO AOS METAIS ADVINDOS DOS RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS GERADOS EM UBERLÂNDIA - MG**

**Guilherme de Paula Xavier <sup>(1)</sup>**

Bacharel em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Uberlândia.

**Bruna Fernanda Faria Oliveira <sup>(2)</sup>**

Possui graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Itajubá, mestrado e doutorado em Engenharia Civil (área de concentração: Saneamento e Ambiente) pela Universidade Estadual de Campinas. Atualmente é professora do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, atuando principalmente na gestão de resíduos sólidos e gestão ambiental.

**Endereço <sup>(1)</sup>:** Rua/Av. Cruzeiro do sul, 870 – Jd. Brasília – Uberlândia - MG - CEP: 38401-392 - Brasil - Tel: +55 (34) 99782-4146 - e-mail: [gui.xavier@outlook.com](mailto:gui.xavier@outlook.com)

#### **RESUMO**

O consumo de equipamentos eletroeletrônicos está aumentando e consequentemente a geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) também. Dado este cenário este trabalho teve como objetivo estimar a quantidade de resíduo eletrônico que o município de Uberlândia-MG gerou em 2021, estimar a quantidade de metais presentes e o valor agregado a esses metais. Foi utilizado para cálculo da quantidade o modelo da fórmula de KUSH e HILLS (2017), e para a quantidade de cada metal e seus valores a análise de dados do estudo de FORTI et.al (2020). Os resultados obtidos apresentaram que o município de Uberlândia gerou 3.600.474,933 kg em resíduos de equipamentos eletroeletrônicos e os metais advindos dessa quantidade de massa teria o valor agregado de, aproximadamente, 20,6 milhões de reais. A dificuldade no funcionamento da logística reversa, a falta de educação ambiental para a população e a falta incentivo para o setor privado de reciclagem fez com que estes resíduos fossem descartados incorretamente gerando desperdícios de recursos naturais, poluindo o meio ambiente com seus metais pesados e colocando em risco a saúde de catadores. Visto que o Brasil vende por preço bem inferior para que outros países reciclem esses metais, através deste trabalho conclui-se que não há efetividade nas ações dos envolvidos em alertar a população quanto ao desperdício e aos riscos ao meio ambiente, ao setor público quanto as necessidades de políticas mais efetivas garantindo a logística reversa e ao setor privado quanto as oportunidades de novos empreendimentos.

**PALAVRAS-CHAVE:** lixo eletrônico. REEE. quantidade de metais. valor agregado.

#### **INTRODUÇÃO**

Os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE), popularmente chamados de lixo eletrônico, são equipamentos em desuso ou sujeitos a disposição final. As fontes destes resíduos podem ser diversas: domésticas, industriais, comerciais e do setor de serviço (NASCIMENTO; OLIVEIRA, 2010, p.242).

Em um cenário onde o crédito e o crediário que o sistema financeiro distribui atingem as classes sociais mais pobres, que combinada com a propaganda acabam por estimular a prática do consumo de eletroeletrônicos (SANTOS, 2017). Com a obsolescência programada e um alto consumo de eletroeletrônicos o Brasil se torna o segundo maior gerador de REEE do continente americano, tendo gerado mais de 2 milhões de toneladas de lixo eletrônico em 2019 (FORTI et.al,2020).

Em contrapartida, o processo de reciclagem para os REEE aliviará a necessidade de recursos vindos da mineração, diminuindo também a emissão de carbono no processo (FORTI et.al,2020). Nos equipamentos eletroeletrônicos são utilizados recursos naturais que possuem taxas de reciclagem que ultrapassam 50%, sendo eles: alumínio, chumbo, cromo, titânio, manganês, rênio, ferro, paládio, cobalto, níquel, cobre, zinco, nióbio, prata, estanho, platina e ouro (PACE, 2019).

Visando o reaproveitamento dos recursos, a China recebe 70% de todo os REEE produzidos no mundo (ZHENG et al,2013), contudo no Brasil há ações para apoiar programas de incentivo a reciclagem, reuso e

reaproveitamentos dos materiais advindos de recursos naturais (BRASIL,2010), apresentando um interesse quanto a não exportação desses resíduos que são motivados por questões ambientais e comerciais.

Dessarte a mineração urbana se apresenta como novo conceito de obtenção de recursos naturais, e visto que não se sabe do quanto se produz e de quanto de valor agregado há nos metais dos REEE, este trabalho visa quantificar os metais contidos no lixo eletrônico que a cidade de Uberlândia, em Minas Gerais, produziu em 2021, e calcular o valor agregado desses metais.

## OBJETIVO

Identificar a quantidade de metais preciosos e estimar os valores monetários dos REEE gerados pelo município de Uberlândia em 2021.

## METODOLOGIA

A população estimada de Uberlândia para 2021 é de 706597 habitantes, pelo último censo o PIB per capita foi de, aproximadamente, 10231,96 dólares.

Utilizou-se da fórmula de KUSH e HILLS (2017) para calcular a quantidade em ‘quilogramas por habitante’ de REEE misto são gerados em Uberlândia. Para isso utilizou-se da equação representada na Equação (1).

$$Y = 0,489x \quad \text{Equação (1)}$$

Onde y é a geração de REEE em kg/habitante e o x é o PIB per capita em mil dólares.

Para calcular a quantidade de REEE geração em toda a cidade utilizou-se da Equação (2).

$$W = y * n^{\circ} \text{ de habitantes} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde W é a quantidade, em quilogramas, de REEE gerado em Uberlândia para 2021 e o “n° de habitantes” é o número estimado de habitantes em Uberlândia para 2021.

Considerando as proporções dos metais presentes em um REEE misto, calcula-se a quantidade de cada metal. Na Figura 1 é utilizada as proporções adaptadas de FORTI et al (2020).

| Elemento | Q (Quantidade em toneladas)      | Elemento  | Q (Quantidade em toneladas)      |
|----------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|
| Prata    | $((W * 0,0022388) / 100) / 1000$ | Índio     | $((W * 0,0003731) / 100) / 1000$ |
| Alumínio | $((W * 5,6828358) / 100) / 1000$ | Iridio    | $((W * 0,0000019) / 100) / 1000$ |
| Ouro     | $((W * 0,0003731) / 100) / 1000$ | Ósmio     | $((W * 0,0000187) / 100) / 1000$ |
| Bismuto  | $((W * 0,0001866) / 100) / 1000$ | Paládio   | $((W * 0,0001866) / 100) / 1000$ |
| Cobalto  | $((W * 0,0242537) / 100) / 1000$ | Platina   | $((W * 0,0000037) / 100) / 1000$ |
| Cobre    | $((W * 3,3731343) / 100) / 1000$ | Ródio     | $((W * 0,0000187) / 100) / 1000$ |
| Ferro    | $((W * 38,182836) / 100) / 1000$ | Rutênio   | $((W * 0,0000006) / 100) / 1000$ |
| Germânio | $((W * 0,0000187) / 100) / 1000$ | Antimônio | $((W * 0,1417910) / 100) / 1000$ |

**Figura 1 – Cálculo da quantidade em toneladas de metais recuperáveis no REEE**

Onde Q é a quantidade do elemento em tonelada e W é a quantidade, em quilogramas, do REEE total gerado por Uberlândia em 2021.

Em seguida calcula-se o valor monetário agregado a quantidade de elementos disponíveis para ser recuperados que estão presentes no REEE de Uberlândia em 2021.

| Elemento | V (Valor em dólares) | Elemento  | V (Valor em dólares) |
|----------|----------------------|-----------|----------------------|
| Prata    | (Q*482,500*1000)     | Índio     | (Q*85,000*1000)      |
| Alumínio | (Q*1,990*1000)       | Írídio    | (Q*5.000,000*1000)   |
| Ouro     | (Q*47.405,000*1000)  | Ósmio     | (Q*10.800,000*1000)  |
| Bismuto  | (Q*13,000*1000)      | Paládio   | (Q*35.320,000*1000)  |
| Cobalto  | (Q*79,692*1000)      | Platina   | (Q*35.500,000*1000)  |
| Cobre    | (Q*6,062*1000)       | Ródio     | (Q*32.000,000*1000)  |
| Ferro    | (Q*1,204*1000)       | Rutênio   | (Q*10.000,000*1000)  |
| Germânio | (Q*40,000*1000)      | Antimônio | (Q*8,474*1000)       |

**Figura 2 – Cálculo do valor agregado aos metais advindos do REEE em Uberlândia**

A Equação (3) é uma representação da fórmula utilizada na Figura 2 para que se encontre os valores, em dólares, de acordo com a quantidade do elemento presente no REEE.

$$V = (Q * v) \quad \text{Equação (3)}$$

Onde 'V' é o valor monetário da quantidade do elemento, 'Q' é a quantidade do elemento específico em tonelada e 'v' é o preço de mercado pago por tonelada, usualmente dado em 10<sup>3</sup> dólares.

Os valores encontrados para cada um dos metais quando somados resultarão no valor agregado ao REEE gerado em Uberlândia.

## RESULTADOS OBTIDOS

Utilizando da metodologia para o ano de 2021 o valor total de REEE estimado para a cidade de Uberlândia é de aproximadamente: 3.600.474,933 kg. Além de plásticos, borrachas, vidros e madeira, uma parte relevante nos REEE são os metais, e na Figura 3 tem-se a quantidade, em toneladas, dos metais presentes nos REEE gerados em Uberlândia.

| Elemento | Toneladas   | Elemento  | Toneladas   |
|----------|-------------|-----------|-------------|
| Prata    | 0,080607433 | Índio     | 0,013433372 |
| Alumínio | 204,6090784 | Írídio    | 6,8409E-05  |
| Ouro     | 0,013433372 | Ósmio     | 0,000673289 |
| Bismuto  | 0,006718486 | Paládio   | 0,006718486 |
| Cobalto  | 0,873248389 | Platina   | 0,000133218 |
| Cobre    | 121,4488549 | Ródio     | 0,000673289 |
| Ferro    | 1374,763439 | Rutênio   | 2,16028E-05 |
| Germânio | 0,000673289 | Antimônio | 5,105149412 |

**Figura 3 – Estimativa da quantidade em toneladas de metais recuperáveis no REEE gerado em Uberlândia**

A Figura 4 apresenta os valores calculados para cada elemento utilizando os valores da Figura 2, resultando nos valores, em reais, que cada metal presente no REEE confere.

| Elemento | Valor, em reais | Elemento  | Valor, em reais |
|----------|-----------------|-----------|-----------------|
| Prata    | 206.898,58      | Índio     | 6.074,20        |
| Alumínio | 2.166.023,06    | Iridio    | 1.819,57        |
| Ouro     | 3.387.616,91    | Ósmio     | 38.682,12       |
| Bismuto  | 464,62          | Paládio   | 1.262.342,56    |
| Cobalto  | 370.201,03      | Platina   | 25.157,93       |
| Cobre    | 3.916.466,87    | Ródio     | 114.613,69      |
| Ferro    | 8.805.206,81    | Rutênio   | 1.149,20        |
| Germânio | 143,27          | Antimônio | 230.134,65      |

**Figura 4 - Estimativa do valor agregado aos metais advindos do REEE em Uberlândia**

O valor total dos metais contidos nos REEEs de Uberlândia para o ano de 2021 foi de, aproximadamente, 20,6 milhões de reais.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os metais apresentados na Figura 3 correspondem a, aproximadamente, 47,4 % da massa total estimada pela geração de REEE, onde estes metais se misturam com outros elementos presentes no resíduo. Esses elementos como o plástico e o papel apresentam valor agregado menor comparado aos metais presentes na tabela, levando em conta que catadores sem treinamento manuseiam e extraem esses metais de forma artesanal e insalubre e com um alto desperdício (FRANCO,2008).

Por vezes, esses metais são descartados junto ao lixo domiciliar sem que se tenha consciência do impacto ambiental e do valor agregado ali desperdiçado. A mobilização para obtenção de pontos de coleta se faz necessária para aliviar a carga que o meio ambiente absorve advinda dos REEE até que sejam elaboradas e/ou fortalecidas políticas públicas a fim de dividir as devidas responsabilidades entre os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes.

No Brasil não há grandes empresas com tecnologia para extração e separação desses metais fazendo com que os resíduos sejam triturados e vendidos por um preço muito baixo para países capazes de reciclar os metais (RIBEIRO;SANTOS, 2012). Essa dinâmica faz com que os recursos fiquem disponíveis para outros países, não contribuindo para economia circular local.

Para um investimento efetivo do município, em relação ao REEE, deve-se atentar aos seguintes pontos: treinamento dos catadores, conscientização da população sobre o descarte do REEE, incentivo a empreendimentos que possam extrair esses metais e criação de políticas públicas para que as lojas de vendas de equipamentos eletroeletrônicos melhorem a relação quanto a logística com os fabricantes.

A mineração urbana explora esses valores para fins financeiros e se beneficia ambientalmente em virtude da redistribuição desses metais para a produção, gerando assim um alívio quanto a necessidade da mineração convencional.

## CONCLUSÃO

Este trabalho utilizando do modelo de cálculo escolhido identificou que em 2021 o município de Uberlândia gerou 3.600.474,933 kg em resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. Desses REEEs gerados aproximadamente 1,71 milhões de quilogramas são metais que juntos têm um valor agregado equivalente a 20,6 milhões de reais, metais esses que normalmente não são reinseridos na linha de produção pela via da logística reversa e acabam por serem vendidos a preço inferior para outros países que têm tecnologia para a separação dos mesmos.

Com a quantidade e o valor agregado aos REEEs a população deve se atentar ao desperdício e aos riscos ao meio ambiente, assim como o setor público quanto as necessidades de políticas mais efetivas e o setor privado quanto as oportunidades de novos empreendimentos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a política nacional de resíduos sólidos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, p. 3, 3 ago. 2010. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/diarios/7190459/pg-3-secao-1-diario-oficial-da-uniao-dou-de-03-08-2010>. Acesso em: 21 ago. 2021.
2. BRASIL. Plano Nacional de Mineração 2030 – Geologia, Mineração e Transformação Mineral Catalogação (PNM – 2030), Ministério de Minas e Energia (MME) - Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGM), Brasília, DF, 61-129 p., 2010.
3. FORTI, V., et. al. The Global E-waste Monitor – 2020: Quantities, flows and the circular economy potential, Bonn/Geneva/Vienna: United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), 2020. Disponível em: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Pages/Spotlight/Global-Ewaste-Monitor-2020.aspx>. Acesso em: 16 ago. 2021.
4. FRANCO, R. G. F. Protocolo de referência para gestão de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos domésticos para o município de Belo Horizonte Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Programa de pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUDB-8AVN33>. Acesso em: 01 set. 2021.
5. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (Brasil). Panorama Municipal. 2020. Portal. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/uberlandia/panorama>. Acesso em: 22 dez. 2021.
6. KUSCH, S.; HILLS, C. D. The Link between e-Waste and GDP—New Insights from Data from the Pan-European Region. Resources, v. 6, n. 2, p. 15, 27 mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/resources6020015>. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2079-9276/6/2/15>. Acesso em: 16 ago. 2021.
7. NASCIMENTO, A.N.; OLIVEIRA, G. A. G. Aspectos Tecnológicos e Ambientais: O desafio do lixo eletrônico. Revista Cerrados, Montes Claros, MG, v. 8, n. 1, p. 239-259, ago./dez. 2010.
8. PACE - PLATAFORM FOR ACCELERATING THE CIRCULAR ECONOMY. A new circular vision for electronics. Time for a global reboot, Cologny/Geneva, 2019. Disponível em: <https://www.weforum.org/reports/a-new-circular-vision-for-electronics-time-for-a-global-reboot>. Acesso em: 10 mai. 2019.
9. RIBEIRO, F. D.; SILVA, J. S. Lixo eletrônico: estudo sobre a situação do lixo eletroeletrônico na cidade de Uruaçu. Fasem Ciências, Uruaçu, GO, v. 2, n. 2, p. 61-81, jul./dez. 2012.
10. SANTOS, K. L. Ouro para fora, lixo para dentro: as inserções de Gana na Divisão Internacional do Trabalho contemporânea. GEOUSP: espaço e tempo, v. 22, p.607-622. 2018.
11. ZHENG, J.; CHEN, K. H.; YAN, X.; CHEN, S. J.; HU, G. C.; PENG, X. W.; YUAN, J. G.; MAI, B. X.; YANG, Z. Y. Heavy metals in food, house dust, and water from an e-waste recycling area in South China and the potential risk to human health. Ecotoxicology and Environmental Safety, [s.l.].v. 96,p. 205-212, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.06.017> PMID:23849468. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651313002595?via%3Dihub>. Acesso em 17 ago. 2021.