



## MINERAÇÃO URBANA DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS E OS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: AVALIAÇÕES PRELIMINARES

BARRETO, R.C.<sup>1</sup>, SENA DO NASCIMENTO, J.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, Rio de Janeiro, Brasil. e-mail: [rbarreto@cetem.gov.br](mailto:rbarreto@cetem.gov.br)

<sup>2</sup>Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, Rio de Janeiro, Brasil. e-mail: [jasena@cetem.gov.br](mailto:jasena@cetem.gov.br)

### RESUMO

A mineração urbana se constitui no aproveitamento econômico de matérias-primas secundárias, resultantes da geração de resíduos, pelo descarte de produtos pós-consumo. Estas matérias-primas voltam à cadeia por meio de recirculação ou reciclagem, o que contribui para a minimização dos impactos ambientais e favorece a sustentabilidade. Neste tipo de atividade ao contrário da mineração convencional, onde a extração de minerais metálicos e não metálicos é feita a partir dos recursos naturais, é possível o reaproveitamento de metais a partir de lixo eletroeletrônico, resíduos de construção e demolição. No que se refere especificamente ao uso dos recursos naturais, a Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) buscam justamente equilibrar os recursos renováveis e controlar os estoques finitos através da circularidade de materiais, com o reaproveitamento de resíduos na elaboração de novos produtos. Pesquisas sobre mineração urbana de REEE e ferramentas que auxiliem a logística reversa e a produção mais limpa são complementares à economia circular e aderentes às propostas de sustentabilidade previstas na Agenda 2030. Assim, o objetivo deste estudo é avaliar a mineração urbana de resíduos eletroeletrônicos dentro dos princípios dos ODS, de modo a permitir critérios e mecanismos de atuação que possam favorecer o cumprimento das metas estabelecidas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mineração urbana, ODS, economia circular, resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE)

### ABSTRACT

Urban mining is the economic exploitation of secondary raw materials, resulting from the generation of waste, by the disposal of post-consumer products. These raw materials return to the productive chain through recirculation or recycling, which contributes to the minimization of environmental impacts and favors sustainability. In this type of activity, unlike conventional mining, where the extraction of metallic and non-metallic minerals is made from natural resources, it is possible to reuse metals from electrical and electronic waste, construction and demolition waste. With specific reference to the use of natural resources, the Agenda 2030 and the Sustainable Development Goals (SDG) seek precisely to balance renewable resources and control finite stocks through the circularity of materials, with the reuse of waste in the elaboration of new products. Research on urban E-Waste mining and tools that support reverse logistics and cleaner production are complementary to the circular economy and adherent to the sustainability proposals set forth in Agenda 2030. Thus, the objective of this study is to evaluate the urban mining of electro-electronic waste within the SDG principles, in order to allow criteria and mechanisms for action that may favor compliance with established goals.

**KEYWORDS:** Urban mining, SDG, circular economy, E-waste.

## 1. INTRODUÇÃO

O conceito de mineração urbana parte do princípio do aproveitamento econômico de matérias-primas secundárias, resultantes da geração de resíduos, pelo descarte de produtos pós-consumo, sendo estes de características diversas. Estas matérias-primas voltam à cadeia por meio de recirculação ou reciclagem, minimizando os impactos ambientais e favorecendo a sustentabilidade. Contrapondo a mineração convencional, onde a extração de minerais metálicos e não metálicos é feita a partir dos recursos naturais, na mineração urbana é possível o reaproveitamento de metais, como o ouro, prata, cobre, platina, alumínio, aço, terras raras e até mesmo plástico, a partir de lixo eletroeletrônico, resíduos de construção e demolição (Xavier; Lins, 2018).

Economia Circular é um conceito econômico estratégico em que se baseia na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia, num processo fechado e integrado, embasado nos metabolismos naturais, evitando a exploração exacerbada dos recursos minerais que ocorre no modo linear (Luz, 2017) e que possui a capacidade de promover a dissociação entre o crescimento econômico e o aumento no consumo de recursos, de forma a atingir novas demandas de circularidade e, com isso, formar novas cadeias de valor (Bernardi; Dias, 2018).

Embora a Economia Circular apresente uma ampla gama de fronteiras temáticas, existe uma demanda crescente por uma avaliação de suas implementações e progressos através de indicadores. Apesar desta constatação, os temas a serem mensurados são sujeitos a debates entre seus pesquisadores, tendo em vista que suscitam diferentes metodologias e métricas específicas (Moraga et. al., 2019).

Equilibrar os recursos renováveis e controlar os estoques finitos são objetivos a serem alcançados no desenvolvimento sustentável (Bernardi; Dias, 2018). A circularidade de materiais, com o reaproveitamento de resíduos na elaboração de novos produtos é um diferencial a ser atingido e, para isso, temos a Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Os ODS fazem parte da Agenda 2030, um plano de ação desenvolvido pela Organização das Nações Unidas (ONU), em 2015, composto 17 objetivos, complementados por 169 metas estabelecidas durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável. Sua atuação integra 4 grandes esferas, que são: social, ambiental, econômica e institucional. Os ODS podem ser trabalhados individualmente, mas a possibilidade de integrar diversos campos da ciência, promovendo uma maior interdisciplinaridade entre eles é o diferencial para que suas metas sejam atingidas (ONU, 2015). Os avanços relacionados à aprovação da Agenda 2030 pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas permitiram a formulação de um plano de ação a favor das pessoas, do planeta e da prosperidade, que inclui a questão do reaproveitamento e reciclagem de materiais dentro dos 17 objetivos como um dos motores que impulsionam os outros objetivos acordados.

A perspectiva ampliada dos ODS considera não somente a satisfação das necessidades econômicas da geração atual, mas, a possibilidade das gerações futuras subsistirem, através do uso racional dos recursos naturais pela geração presente. Neste sentido, uma nova visão do uso de matérias primas provenientes dos recursos naturais começa a ocorrer por parte de empresas (muitas de grande porte) buscando

formas mais inteligentes, ágeis, modernas e ambientalmente adequadas de fazer negócio. No caso da indústria de bens duráveis, por exemplo, esta não pode mais depender apenas do eterno fluxo de extrair- manufaturar- vender para gerar riqueza, modelo que depende da constante obsolescência ou curta vida útil dos produtos. Já se fala em ter uma “economia circular” e a mudança na própria forma das pessoas consumirem, permitindo relacionamentos de longo prazo, por meio do oferecimento de serviços ao invés de produtos em muitos casos (UNIDO, 2016).

No que se refere aos processos produtivos, começam também a surgir novas formas de interação entre os diversos elos das cadeias de produção e consumo, com inclusão de elementos não previstos até o momento. A ampliação da reciclagem dos resíduos em alguns países europeus, para usar um exemplo, já está criando séria concorrência para as empresas de *commodities*, como as mineradoras – muitas destas já ampliaram suas estratégias de negócio para se tornarem fornecedores de materiais, sejam estes oriundos de uma jazida, dos restos de uma fábrica ou mesmo da coleta seletiva do lixo (Ribeiro, 2018).

Estudos sobre mineração urbana de REEE e ferramentas que auxiliem os processos de gestão, como monitoramento de desempenho, análise de ciclo de vida, logística reversa e produção mais limpa são complementares à economia circular e aderentes às propostas de sustentabilidade previstas na Agenda 2030. Assim, o objetivo deste estudo é avaliar a mineração urbana de resíduos eletroeletrônicos dentro dos princípios dos ODS, de modo a permitir critérios e mecanismos de atuação que possam favorecer o cumprimento das metas estabelecidas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste estudo foi baseada em levantamento de dados secundários a partir de artigos científicos e artigos online relacionados aos temas mineração urbana, resíduos sólidos urbanos e Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. A seguir, foi realizada uma análise das informações obtidas para, finalmente, fazer uma correlação entre os temas.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em uma análise preliminar, pode-se dizer que os ODS 11 e 12 são os que possuem maior interação com o tema, uma vez que o primeiro se refere a “Cidades e Comunidades Sustentáveis” e o segundo, trata dos “Padrões de Produção e Consumo Responsável”.

O ODS 11 que trata especificamente dos aspectos de cidades mais inclusivas, seguras, sustentáveis e resilientes a desastres ou a eventos incomuns traz metas específicas que se coadunam bastantes com o tema do gerenciamento de resíduos sólidos, reuso e reciclagem de materiais utilizados no processo produtivo em ambientes urbanos, razão pela qual este objetivo conhecido como ODS das cidades. Especificamente, a meta 11.6 trata da redução dos impactos ambientais pela vida e produção econômica nas cidades.

O ODS 12 aborda a produção e o consumo sustentáveis, com foco em ações globais (12.1) e locais, como alcançar o uso eficiente de recursos naturais (12.2),

reduzir o desperdício de alimentos (12.3), manejar resíduos químicos de maneira responsável (12.4). Neste objetivo, também estão incluídos a diminuição da emissão de poluentes (12.4) e o cuidado com resíduos sólidos (12.5).

Em relação a eficiência no uso ou reciclagem de recursos naturais, especificamente no tocante os derivados de resíduos eletroeletrônicos, é importante observar a existência de uma diversidade de indicadores específicos, como, por exemplo, o grau de eficiência para a mudança climática, a depleção de recursos, os impactos na saúde, entre outros. Contudo, para uma avaliação final consistente é fundamental a inclusão de categorias ambientais, tanto do “ponto de partida”, extração/aplicação, como no “ponto de chegada”, pós-uso/recuperação (Goedkoop et al, 2009 apud. Huysman, et al., 2015).

Na avaliação de eficiência da reciclagem dos resíduos eletroeletrônicos como recurso, indicadores de impactos ambientais também podem ser usados para quantificar tais benefícios. Entretanto, o conceito de resíduo como recurso é baseado em dois paradigmas: (a) a busca pela redução dos resíduos, que implica em uma redução do uso de recursos, e (b) a recuperação de resíduos e o reuso de materiais, a qual também implica a redução do uso de recursos naturais (Huysman, et al. 2015). Portanto, as eficiências obtidas se expressam, por fim, em uma comparação e quantificação do que é passível de ser evitado, no nível dos impactos ambientais advindos do sistema de produção. Essa perspectiva se baseia na evidência de que a redução do uso de recursos naturais consequentemente gera uma redução dos impactos ambientais (Allacker et al., 2014), sendo assim os benefícios "creditados" para os produtos como os impactos evitados, que são oriundos de outros sistemas de produção, passam a endossar uma métrica quantitativa e qualitativa no nível da redução dos impactos ambientais.

São levantadas possibilidades de práticas para empresas e também para a gestão do Estado, por meio da realização de compras públicas sustentáveis (12.7). Neste sentido, as iniciativas nos temas mineração urbana e resíduos sólidos urbanos são bastante pertinentes para o atingimento das metas propostas por este objetivo, ao colaborarem na construção de indicadores do ciclo de vida dos materiais, promovendo uma percepção sobre o sistema produtivo de ponta-a-ponta, incitando melhores práticas nas compras públicas (Biderman, 2008).

No entanto, o tema é diretamente transversal aos ODS 3, 8, 9, 10 e 17, que tratam de “Saúde e Bem estar”, do “Trabalho Decente e Crescimento Econômico”, da “Indústria, Inovação e Infraestrutura” e “Parcerias e Meios de Implementação” e, ainda indiretamente ligados aos demais ODS.

Utilizando-se como base os ODS e suas metas, disponibilizados pela ONU-Brasil em página própria, (ONU, 2015) e as ações realizadas no âmbito da mineração urbana de REEE, descritas em Xavier e Lins (2018). Para cada ODS e metas correspondentes, foram destacadas uma ou mais ações possíveis dentro da mineração urbana, a Tabela 1 a seguir foi elaborada com esta proposta.

**Tabela 1. ODS e metas aderentes aos estudos de Mineração Urbana de REEE.**

ODS	Meta	Ação dentro da Mineração Urbana
ODS 11. Cidades e Comunidades Sustentáveis	11.6 Até 2030, reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros;	Promoção da gestão de resíduos sólidos urbanos, no âmbito dos REEE, reduzindo o impacto ambiental causado por descartes inadequados e consolidando a mineração urbana destes resíduos.
ODS 12. Padrões de Produção e Consumo Responsável	12.4 Até 2020, alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionais acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente; 12.5 Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso;	Promoção da redução da geração de REEE, por meio do manejo adequado, cuidados ao longo do seu ciclo de vida, de forma a promover o sistema de logística reversa e a economia circular por meio da mineração urbana de REEE; Promoção da redução de emissões de gases poluentes (dioxinas e furanos) para a atmosfera, bem como de particulados atmosféricos emitidos com manuseio inadequado e quebra de REEE na mineração urbana; Promoção da redução da contaminação do solo e dos lençóis freáticos por metais tóxicos e cinzas metálicas, com o descarte e disposição adequada dos REEE.
ODS 3. Boa saúde e Bem estar	3.9 até 2030, reduzir substancialmente o número de mortes e doenças por produtos químicos perigosos, contaminação e poluição do ar e água do solo. 3.d reforçar a capacidade de todos os países, particularmente os países em desenvolvimento, para o alerta precoce, redução de riscos e gerenciamento de riscos nacionais e globais de saúde.	Promoção de melhores condições de saúde, por conta do descarte adequado dos REEE; Promoção de um melhor gerenciamento de riscos à saúde, por meio de programas de assistência e capacitação de pessoas e comunidades presentes nos locais de disposição e manuseio dos REEE.
ODS 8. Trabalho Decente e Crescimento Econômico	8.2 Atingir níveis mais elevados de produtividade das economias por meio da diversificação, modernização tecnológica e inovação, inclusive por meio de um foco em setores de alto valor agregado e dos setores intensivos em mão de obra; 8.3 Promover políticas orientadas para o desenvolvimento que apoiem as atividades produtivas, geração de emprego decente, empreendedorismo, criatividade e inovação, e incentivar a	Promoção do trabalho digno e decente àqueles que exercem atividades dentro do sistema de logística dos REEE, com ferramentas e equipamentos adequados ao desmonte seguro dos equipamentos eletroeletrônicos, bem como com o uso de tecnologias modernas, onde o contato entre os resíduos e o trabalhador ocorra em situações controladas, minimizando riscos de acidentes e priorizando a segurança e a saúde destes trabalhadores. Promoção de políticas de apoio à

---

		formalização e o crescimento das micro, pequenas e médias empresas, inclusive por meio do acesso a serviços financeiros	atividade produtiva da cadeia de logística reversa, desde o descarte até à disposição final, passando pela acomodação correta e desmonte seguro dos REEE, com incentivos à inovação, empreendedorismo e crescimento de empresas no setor.
		8.4 Melhorar progressivamente, até 2030, a eficiência dos recursos globais no consumo e na produção, e empenhar-se para dissociar o crescimento econômico da degradação ambiental, de acordo com o Plano Decenal de Programas sobre Produção e Consumo Sustentáveis, com os países desenvolvidos assumindo a liderança.	
ODS 9. Inovação e Infraestrutura	Indústria, e	9.2 Promover a industrialização inclusiva e sustentável e, até 2030, aumentar significativamente a participação da indústria no setor de emprego e no PIB, de acordo com as circunstâncias nacionais, e dobrar sua participação nos países menos desenvolvidos;  9.5 Fortalecer a pesquisa científica, melhorar as capacidades tecnológicas de setores industriais em todos os países, particularmente os países em desenvolvimento, inclusive, até 2030, incentivando a inovação e aumentando substancialmente o número de trabalhadores de pesquisa e desenvolvimento por milhão de pessoas e os gastos público e privado em pesquisa e desenvolvimento;  9.b Apoiar o desenvolvimento tecnológico, a pesquisa e a inovação nacionais nos países em desenvolvimento, inclusive garantindo um ambiente político propício para, entre outras coisas, a diversificação industrial e a agregação de valor às commodities.	Promoção da participação e inclusão de indústrias de logística, desmonte, recondicionamento e reciclagem de REEE no país, com capacitação adequada e aumento de empregos no setor;  Promoção de pesquisas científicas, com melhores tecnologias e capacidade de inovação, para conhecimento e adequação de técnicas sustentáveis de reutilização e reciclagem de REEE, bem como a promoção de estudos de viabilidade de rotas de separação e refino dos metais preciosos, terras raras e demais substâncias e materiais de valor, provenientes da mineração urbana de REEE.

---

Fonte: Elaboração própria

Note que, o potencial de execução dessas ações é sabido, porém é necessário para analisar mais profundamente essas correlações. Este é o próximo passo a ser realizado nesta pesquisa.

#### 4. CONCLUSÕES

Com a classificação da mineração urbana e a gestão de REEE atrelados aos ODS, abre-se um leque de possibilidades para desenvolvimento de pesquisas, estudos e

produtos, dentro da perspectiva mundial da Agenda 2030. O estabelecimento de metas e indicadores de desenvolvimento sustentáveis representa, inegavelmente, um avanço para a mensuração da sustentabilidade em vários campos relacionados ao padrão de consumo de nossa sociedade. Mensurar e avaliar o caminho que as sociedades estão trilhando rumo a uma relação mais equilibrada com a sustentabilidade do planeta passa, necessariamente, pela questão da quantidade de resíduos que se gera no nosso consumo diário. Neste sentido, repensar as práticas de utilização, descarte e obsolescência dos REEE se enquadra perfeitamente em uma estratégia ampliada da sustentabilidade econômica. Para atingimento dessas metas, são necessárias ações estratégicas para regulamentações e promoção de políticas públicas realmente coerentes com o tema da sustentabilidade. Necessárias também se fazem as parcerias, muitas já existentes, que, no entanto, precisam de consolidação e, também o estabelecimento de novas parcerias, como engajamento dos cidadãos, grupos organizados da sociedade civil, governo e outras associações, no sentido de repensar o padrão de consumo e a utilização de matérias-primas e seu descarte.

## 5. REFERÊNCIAS

- Allacker K, Mathieux F, Manfredi S, Pelletier N, Camillis C, Ardente F, Pant R. Allocation solutions for secondary material production and end of life recovery: proposals for product policy initiatives. *Resources Conservation Recycling*, v. 88, p. 1-12. 2014.
- Bernardi P, Dias J M. O mercado da Economia Circular. Fundação Getúlio Vargas. *GV Executivo*, v. 17, n. 5, p. 34-37. Set./out. 2018. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/gvexecutivo/article/download/77340/74189>>. Acesso em: jun. 2019.
- Biderman R, Macedo L S V, Monzoni M, Mazon R. (Orgs). Guia de compras públicas sustentáveis: uso do poder de compra do governo para a promoção do desenvolvimento sustentável. ICLEI/LACS/FGV, 2008. Disponível em: <[https://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/arquivos/guia\\_compras\\_sustentaveis.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/arquivos/guia_compras_sustentaveis.pdf)>. Acesso em: jul. 2019.
- Goedkoop M, Heijungs R, Huijbregts M, Schryver A, Struijs J, Zelm R. ReCiPe 2008 – A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level. *DMHSPE*. Nov. 2009. In: Huysman et al. Toward a systematized framework for resource efficiency indicators. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 95, p. 68-76. Fev. 2015.
- Huysman S, Sala S, Mancini L, Ardente F, Alvarenga R, Meester S, Mathieux F, Dewulf J. Toward a systematized framework for resource efficiency indicators. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 95, p. 68-76. Fev. 2015.
- Moraga G, Huysveld S, Mathieux F, Blengini G A, Alaerts L, Acker K Van, Meester S, Dewulf J. Circular Economy indicators: what do they measure? *Resources, Conservation & Recycling*, v. 146, p. 452-461. 2019.
- ONU - Organização das Nações Unidas. Estratégias dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. [Online]. 2015a. Disponível em: <<http://www.estrategiaods.org.br/o-que-sao-os-ods/>>. Acesso em: jun. 2019.
- ONU - Organização das Nações Unidas. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Brasil, 2015b. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/>>. Acesso em: jun. 2019.
- Ribeiro, Flavio de Miranda. Produção e consumo responsáveis: Um objetivo para o desenvolvimento sustentável na indústria. *Revista da Fiesp*. [Online]. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/artigo-flavio-ribeiro/>>. Acesso em: jun. 2019.
- UNIDO - United Nations Industrial Development Organization. *Industrial Development Report 2016 - The Role of Technology and Innovation in Inclusive and Sustainable Industrial Development*. Vienna. 2015.
- Xavier, L H, Lins, F A F. Mineração Urbana de resíduos eletroeletrônicos: uma nova fronteira a explorar no Brasil. *Brasil Mineral*, n.379. Março, 2018.