



Resíduos eletrônicos cresceram exponencialmente

Mineração Urbana de resíduos eletroeletrônicos: uma nova fronteira a explorar no Brasil

Lúcia Helena Xavier (1) e Fernando A. Freitas Lins (2)

Introdução

Em 2012, um texto da revista americana de negócios Forbes chamava a atenção para uma nova área até então pouco conhecida. O título da matéria dizia: "Bem-vindo à era da Mineração Urbana". Intrigante, a matéria tinha como foco evidenciar os benefícios econômicos, ambientais e sociais que podem decorrer da gestão dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) ou "lixo" eletrônico, como também é popularmente referido. Na língua inglesa são denominados waste electrical and electronic equipment (WEEE), electronic waste (e-waste) ou e-scrap. Esses resíduos caracterizam-se por

uma ampla diversidade de produtos e materiais com alto valor agregado, mas ainda pouco aproveitados.

Naquele mesmo ano aconteceu o primeiro encontro sobre o tema, em Ghana, denominado E-WasteAcademy (EWA). Esse evento deu início a uma ampla pesquisa sobre o assunto e contou com a participação de diferentes tomadores de decisão e trouxe à luz outra questão ainda muito pouco discutida: os efeitos nocivos da exposição aos agentes tóxicos presentes nos resíduos eletroeletrônicos. Nesse sentido, Beolchini et al. (2013) realizaram uma interessante análise do balanço entre o potencial econômico e o risco

ambiental na reciclagem de REEE, sugerindo a possibilidade de equilíbrio entre os dois conjuntos de variáveis.

Para ilustrar o crescente interesse pelo tema por parte dos consumidores, desde 2010 circula na internet o vídeo A História dos Eletrônicos (The Story of Electronics), que aborda a questão da gestão de REEE, evidenciando os impactos, principalmente durante a produção e após a sua vida útil. Este vídeo conta hoje com mais de 1,4 milhão de visualizações e faz parte da série Estória das Coisas (Story of Stuff). O tema abordado é a obsolescência programada e a gestão de resíduos eletroeletrônicos, questões



Figura 1. Pirâmide de prioridade para a destinação de resíduos.

estritamente relacionadas e que despertam a curiosidade dos consumidores sobre os aspectos que caracterizam a economia tradicional linear do produzir-consumir-descartar, bem como inclui elementos da inovadora economia circular.

Esse artigo tem como foco a mineração urbana de REEE, uma nova fronteira que passou a ser explorada a partir da última década. Para tanto, aborda a mineração urbana em geral; a relação entre mineração urbana e a economia circular; os entraves para o desenvolvimento de negócios na mineração urbana de REEE e sua relação com a logística reversa; o potencial de aproveitamento de REEE no mundo e no Brasil; e faz as considerações finais com sugestões de iniciativas e uma agenda de pesquisas.

Mineração Urbana

A mineração tradicional consiste na extração de recursos do subsolo a partir da lavra de uma jazida mineral e o processamento dos minérios. A mineração urbana vem a ser o aproveitamento econômico de recursos do “sobressolo” resultantes da geração de resíduos, de características diversas, pelo descarte de produtos e materiais pós-consumo. À semelhança da mineração convencional, a mineração urbana pode recuperar materiais metálicos raros e comuns e materiais não metálicos, a exemplo, respectivamente, de REEE (foco deste artigo) e sucatas ferrosas e não ferrosas, e de resíduos de construção e demolição (RCD).

Conceitualmente, a mineração urbana é a recirculação ou reciclagem 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. A proposta deriva dos conceitos de Ecologia Industrial (ERKMAN, 1997) e de valorização (upcycling), conforme apresentado no celebrado livro de autoria de McDonough e Braungart (2013); ambos os conceitos baseados na premissa de gestão de ciclos

fechados, ou seja, a recirculação de materiais e energia de forma otimizada.

Com a crescente aglomeração de pessoas nas cidades, nestas se concentram potencialmente as oportunidades de recuperação de materiais secundários valiosos. Pelo motivo de depender das fontes de descarte, a “mina urbana” será, a princípio, tão mais valiosa quanto mais próspera (ou maior o padrão de consumo) a população residente em uma região ou cidade. São diversos os tipos de materiais que se acumulam e, cada um a seu tempo (ou seja, conforme o ciclo de vida dos produtos), se transformam em resíduos (LINS et al., 2016). Pode-se dizer também que uma mina urbana pode ser planejada, em sua formação, por meio de normas que disciplinem o encaminhamento adequado de produtos descartados (a logística reversa), possibilitando melhor recuperação e aproveitamento econômico dos materiais.

Mineração Urbana e Economia Circular

Duth e Lins (2017) fizeram uma revisão da literatura sobre a relação (ainda em desenvolvimento conceitual) entre a mineração tradicional e a economia circular. Com relação à mineração urbana, em 2014 a Comunidade Europeia, percebendo que o modelo atual da gestão de e-waste deixa escapar insumos de alto valor (ao permitir seu descarte em aterros, na maior parte das vezes), lançou um programa radical: acabar com os REEEs na Europa. A proposta se baseia na economia circular e na hierarquia dos resíduos (Figura 1).

Consiste, brevemente, em priorizar técnicas de prevenção em detrimento da destinação dos resíduos. A recirculação proposta pela economia circular pressupõe o reuso de um produto ou material na fase pós-consumo, da mesma forma 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 diversos mecanismos de recirculação, com seus vários Rs: reparo,

restauração, reuso, remanufatura, reciclagem, entre outros.

A Comunidade Europeia (CE) tem incentivado a realização de estudos para evidenciar a competitividade a partir de modelos que priorizam uma economia circular, o que tem impactado positivamente as empresas de reciclagem na busca por técnicas mais eficientes e mais sustentáveis. Por meio do programa Horizon 2020 (H2020), a CE está investindo, no estabelecimento de parcerias entre empresas públicas e privadas, mais de 70 bilhões de euros entre os anos de 2014 e 2020, em pesquisa e inovação em diferentes áreas, sendo prioritárias as áreas que tratam da eco-inovação, uso eficiente de recursos e matérias-primas e economia verde. Para tanto, a CE lançou a “Plataforma para a Economia Circular Europeia”, que tem promovido discussões e publicações para difundir a importância do reuso e da reciclagem em uma economia cíclica e a respeito do potencial benefício decorrente das práticas sustentáveis (COMUNIDADE EUROPEIA, 2017).

Um dos resultados desse esforço europeu é o RIMS (Raw Materials Information Systems), já na sua versão 2.0, disponibilizada no final do ano passado (JRC, 2017 a). Trata-se de um portal e banco de dados extraordinário (www.rmis.jr.ec.europa.eu), com informações sobre metais e materiais críticos para a indústria europeia, constituintes comuns dos REEE, mas também sobre os metais não críticos. Os dados abrangem as informações de reserva e produção mineral; cadeia de produção de cada material em diversas aplicações e produtos; indicadores

Tabela 1: Geração de REEE em alguns países em 2016

País	Mt	%	kg/hab
China	7,2	16,1	5,2
EUA	6,3	14,1	19,4
Japão	2,1	4,7	16,9
Índia	2,0	4,5	1,5
Alemanha	1,9	4,3	22,8
Reino Unido	1,6	3,6	24,9
Brasil	1,5	3,4	7,4
França	1,4	3,1	21,3
Rússia	1,4	3,1	9,7
Subtotal	25,4	56,8	10,7
Mundo	44,7	100	6,1

Elaboração dos autores. Fonte: Baldé et al., 2017

Tabela 2: Principais materiais nos REEE no mundo e valor potencial.

Material	Quantidade	€ Bilhões
Fe	16.283 kt	3,58
Cu	2.164 kt	9,52
Al	2.472kt	3,59
Au	500 t	18,8
Ag	1.600 t	0,88
Pd	200 t	3,37
Plásticos	12.230 kt	15,0

Fonte: Baldé et al., 2017

de reciclagem de metais; questões ambientais e tecnológicas, entre outras. O RIMS é alimentado também pelos inúmeros projetos patrocinados pela Comissão Europeia, entre esses o ProSUM (Prospecting Secondary raw materials in the Urban mine and Mining waste, www.prosum-project.eu) e sua correspondente plataforma (www.urbanmineplatform.eu); o projeto Screen (Solutions for Critical Raw materials – a European Expert Network); e o projeto MAS (Materials System Analysis) dedicado a prover informação sobre fluxo e estoque de cerca de três dezenas de materiais (JRC, 2017 b).

Segundo o conceito da gestão cíclica, que é incorporada pela estratégia da economia circular, estamos em fase de transição para uma economia que prioriza o uso e reuso de produtos e materiais e uma minimização dos impactos sobre a exploração dos recursos primários, bem como redução da escala de produção (EMF, 2012). Nesse mesmo sentido, a mineração urbana pressupõe uma proposta alternativa de obtenção dos recursos por meio do aproveitamento econômico de matéria-prima secundária.

De acordo com Meyer et al. (2011), o aumento da exploração e uso eficiente dos recursos pode reduzir em torno de 20% a necessidade de entrada de materiais virgens até 2030. Isso pode representar uma economia potencial de mais de 600 bilhões de euros na indústria europeia (Innova, 2012) no período 2012-2030, tanto pela substituição do uso de matérias-primas primárias por secundárias quanto pelo uso sustentável dos recursos.

Em síntese, a mineração urbana pode ser considerada um dos principais instrumentos da economia circular. Uma nova prática com a lógica de que é possível minerar insumos valiosos de forma eficiente e lucrativa a partir de resíduos descartados e, ao mesmo tempo,

mitigar impactos ambientais ocasionados ao longo de décadas por estes mesmos resíduos.

Mineração Urbana de REEE e o Ambiente Empresarial

Analisando-se a questão da mineração urbana sob a vertente dos negócios, percebe-se que o potencial de ganho é amplo, por considerar uma diversidade de segmentos produtivos e focado na sustentabilidade. Abrange desde o uso sustentável dos recursos, passa pela produção sustentável, por exigir o desenvolvimento de tecnologias a partir de insumos alternativos, e se completa na gestão eficiente dos resíduos como forma de torná-los matérias-primas secundárias. Minerar materiais de valor a partir de resíduos é uma solução que já tem sido alvo de negócios a partir de grandes empresas, tais como: Umicore (Bélgica), Sims (Estados Unidos), Solvay (França), Boliden (Suécia), Metallo-Chimique (Bélgica) e Aurubis (Alemanha).

O principal incentivo para a implantação de ações colaborativas para a mineração urbana na Europa se deu a partir da elaboração de instrumentos legais e normativos, especialmente as diretrizes europeias para a gestão de resíduos, a saber:

- Diretiva RoHS: Lançada inicialmente como Diretiva 2002/95/ec e revisada em 2011, foi publicada como Diretiva 2011/65/eu. Estabelece as substâncias perigosas restritas, entre outras diretrizes;

- Diretiva WEEE: Publicada em sua primeira versão em 2002/96/ec e a versão revisada em 2012 como Diretiva 2012/19/eu. Apresenta a listagem das 11 categorias de REEE para as quais os países da União Europeia devem elaborar suas regulamentações específicas.

O país que expandiu as fronteiras e mais contribuiu neste sentido foi a Alemanha, a partir da regulamentação pioneira da gestão de resíduos, especialmente os perigosos. O modelo da Europa se difundiu por diversos continentes e diferentes países adotaram medidas compatíveis com as respectivas realidades social e ambiental.

Percebe-se que toda esta recente mobilização, que culmina no que hoje conhecemos como mineração urbana, tem suas bases em discussões e ações implementadas na Europa há mais de duas décadas. No Brasil, o marco para a gestão cíclica das cadeias produtivas é a promulgação da Lei nº 12.305 de 2010 que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e os critérios para a implantação da Logística Reversa a partir das empresas produtoras.

A partir de 2010, foram estabelecidas regras, por meio de Acordos Setoriais e outros instrumentos, para a viabilização dos Sistemas

de Logística Reversa (SLR) sob a responsabilidade compartilhada e gerida pelos próprios produtores. Atualmente, apenas seis cadeias produtivas já possuem suas diretrizes definidas e sistemas implementados no Brasil, sendo estas: agrotóxicos, óleos lubrificantes, embalagens, lâmpadas, pilhas e baterias e pneus. No ano passado, porém, com a publicação do Decreto nº 9.117 de 2017, a mineração urbana ganhou importante incentivo. Este novo instrumento legal regulamenta o artigo nº 33 da PNRS e estabelece a obrigatoriedade de estabelecimento dos SLR por parte dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, independentemente de sua aderência a acordos setoriais ou termos de compromisso.

Além desses instrumentos legais, o País ainda conta com duas normas técnicas a respeito da gestão de resíduos eletroeletrônicos. A primeira, a ABNT NBR 15.833:2010, versa sobre a manufatura reversa de refrigeradores e a segunda, ABNT NBR 16.156:2013, trata da manufatura reversa de equipamentos eletroeletrônicos em geral. Assim, como a PNRS, tais normas são pioneiras na gestão de REEE na América Latina e nos principais países em desenvolvimento.

Como efeito imediato, verifica-se a isonomia na fiscalização, da mesma forma que ocorre no modelo em vigor na Europa e nos Estados Unidos, ou seja, a responsabilidade ampliada do produtor (do inglês Extended Producer Responsibility) (PARLAMENTO EUROPEU, 2016). Cabe lembrar que a PNRS faz explícita menção à Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605 de 1998), que estabelece penalidades e multas para os infratores, estando os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes diretamente e amplamente responsáveis por implementar os SLRs.

No entanto, ainda não se encontra estabelecido no Brasil o SLR para os resíduos elétricos e eletrônicos. Estabelecer as responsabilidades das partes envolvidas foi um dilema que se configurou a partir da grande diversidade de categorias de produtos que estão (ou poderão ser) definidos como REEE, bem como da necessidade de se definir o eco-valor ou custo visível (visible fee).

O conceito de custo visível deriva da prática europeia da transparência em relação ao repasse do custo da logística reversa aos consumidores por parte das empresas produtoras. Em outras palavras, ao adquirir um produto o cliente é informado a respeito do percentual ou o valor absoluto correspondente ao custeio da logística reversa no momento da aquisição. No Brasil, o único sistema de logística reversa que opera com o conceito de custo visível é o de lâmpadas pós-consumo. A

empresa gestora deste segmento informa que se paga o valor fixado de R\$ 0,40 por cada unidade de lâmpada no momento de sua aquisição para que seja realizada a logística reversa. Cabe ressaltar que o acordo setorial, segundo determinação legal, especifica que os grandes consumidores não estão isentos do custeio da logística reversa, como os consumidores domésticos. Ou seja, os grandes consumidores, como instituições públicas e privadas, devem custear o descarte dos montantes de lâmpadas consumidas.

A questão da diversidade de categorias de produtos é ainda sensível para muitos países em desenvolvimento. Enquanto os países norteamericanos e europeus dispõem de tecnologia de automação para a recuperação de metais e um sistema bem estabelecido para a gestão eficiente de recolha/recebimento, triagem e processamento do e-waste, os países em desenvolvimento contam com um significativo contingente de catadores que começam a despertar para o valor dos resíduos tecnológicos e ainda não perceberam os riscos envolvidos no manuseio destes produtos. Há um custo social embutido no processamento de resíduos eletroeletrônicos nesses países que ainda não foi quantificado e muito menos informado às partes interessadas.

Potencial de Aproveitamento de REEE

O levantamento mais recente sobre a geração de REEE tem 2016 como ano referência, após o realizado em 2014. Trata-se do estudo mais amplo disponível, realizado pelos pesquisadores Baldé et al. (2017) da Universidade das Nações Unidas (UNU). O crescimento de REEE resulta de várias tendências, entre elas: o número de usuários das tecnologias da informação cresce rapidamente; metade da população mundial em 2017 já faz uso da internet; muitas pessoas possuem mais do que um dispositivo tecnológico de informação e comunicação; ainda, o tempo de vida útil desses equipamentos está cada vez mais curto (um smartphone, por exemplo, apresenta um tempo médio de utilização de 22 meses).

Estima-se que, em 2016, houve a geração de 44,7 Mt de REEE no mundo, correspondendo a 6,1 kg/habitante. Calcula-se em 55 bilhões de euros o valor potencial da matéria-prima secundária contida nos REEE em 2016. A quantidade de REEE projetada para 2021 alcança 52,2 Mt e 6,8 kg per capita.

Do total de REEE de 2016, 435 mil t (1%) são originadas de celulares e smartphones, equivalendo a 9,4 bilhões de euros (17%), mostrando o alto conteúdo de materiais valiosos nesses dispositivos móveis. Baldé et

Tabela 3: Produção primária e valor potencial de REEE no Brasil em 2016

Metais	Mineração Tradicional	Mineração Urbana	
		Quantidade	Valor (€Milhões)
Cu	226 kt	74 kt (32%)	324
Al	793 kt	84 kt (11%)	122
Au	81 t	17 t (22%)	642
Ag	67 t	54 t (81%)	30

Elaboração dos autores.

Fontes: Sinopse/MME (2017) e Baldé et al., 2017

al. (2017) verificaram que o valor dos metais/materiais constituintes dos equipamentos é muito menor do que o próprio dispositivo eletrônico. Por exemplo, no caso de um smartphone típico: um novo, pesando 90 gramas, valia € 200 em 2017; um de segunda mão, € 118; e os materiais constituintes, apenas € 2. Isso mostra um dos princípios da economia circular: manter o produto em uso o maior tempo possível resulta em mais valor econômico.

Apenas cerca de 20% (8,9 Mt) da quantidade de REEE gerada mundialmente são coletados e reciclados. Mas com grandes variações, a exemplo dos países do Norte da Europa, com reciclagem entre 50 e 75%; os EUA, com 22%; e os países latinoamericanos, com menos de 5%, com a exceção do México, com 34%. A parte não reciclada apresenta destino oficialmente desconhecido; possivelmente disposta em aterros, comercializada clandestinamente ou reciclada imprópriamente, sem os devidos cuidados ambientais. Uma boa parte é exportada para a Ásia e África.

A Tabela 1 mostra a geração de REEE em 2016 em alguns países. O Brasil ocupa a 7ª posição em volume, correspondendo a 3,4% do total mundial. Em termos de geração per capita, o País apresenta-se cerca de duas a três vezes abaixo dos países considerados desenvolvidos. A China, a segunda colocada em geração de REEE no levantamento de 2014, superou os EUA em 2016.

Esse mesmo estudo da UNU apresenta uma estimativa da geração dos materiais mais valiosos, segundo mostra a Tabela 2. O grande destaque entre os metais, em valor, é o ouro, seguido pelo cobre.

Fazendo uma extrapolação para o Brasil, com 3,4% de participação na geração de REEE, e admitindo-se que as características médias dos REEE no País sejam iguais às mundiais,

apresenta-se na Tabela 3 a produção primária (mineração tradicional) e o potencial de produção secundária (mineração urbana) de alguns metais. Verifica-se que o potencial de produção secundária é muito expressivo, tanto em relação à produção primária brasileira, percentualmente, quanto em valor potencial, os quatro metais somando € 966 milhões, ou quase R\$ 4 bilhões.

A Tabela 4 mostra, para alguns metais, a vantagem da produção por reciclagem a partir de sucatas, a mineração urbana, em comparação com a produção a partir de minérios na mineração tradicional. Com efeito, verifica-se no estudo realizado pelo Conselho Científico das Academias Europeias (EASAC, 2016) que o consumo energético e o uso de recursos hídricos são significativamente menores na produção secundária. Percebe-se também a grande variação na produção primária, possivelmente refletindo as diferentes características dos minérios, como teor, tipo de lavra, método de processamento, entre outras. O uso de água apresentado não deve ser confundido com consumo, uma vez que grande parte da água de processo utilizada (mais de 80%) geralmente é recirculada. Vê-se também uma larga variação na produção secundária, provavelmente em função das diferentes origens ou produtos de onde se faz a reciclagem.

Considerações Finais

O tema da mineração urbana de resíduos tecnológicos requer maior atenção no Brasil. Os volumes de metais e materiais e os valores envolvidos são expressivos e evidenciam o significativo potencial para a recuperação de matérias-primas secundárias a partir do descarte de REEE no País.

Conforme ressaltado por Calaes (2017), deve-se investir intensamente na geração e difusão de conhecimento e informação no setor mineiro-industrial tendo-se como foco a sustentabilidade e a competitividade. À luz da análise apresentada neste artigo, emergem alguns temas relacionados a diretrizes e normas para a gestão de REEE no País e outros de pesquisas tecnológicas que merecem atenção e mesmo prioridade, em face dos bilhões de reais envolvidos.

No que tange à gestão dos REEE e à aplicação da mineração urbana no Brasil, entende-se que é de grande relevância que sejam: a) definidas as classificações das categorias dos resíduos tecnológicos; b) estabelecidas a gestão adequada de recolha/recebimento, triagem e encaminhamento dos REEE para

Tabela 4. Consumo de energia e uso de água na mineração tradicional e na mineração urbana.

Metais	Mineração Tradicional		Mineração Urbana	
	Energia (MJ/kg)	Água (m3/t)	Energia (MJ/kg)	Água (m3/t)
Cu	31-2.040	40-200	14	15
Al	238-925	11-320	10	2
Au	13.300-52.300	120.000-420.000	140-230	30
Ag	480-4.280	60-200	80-180	20-40
Terras-raras	5.500 - 7.200	1.275 - 1.800	1.000 - 5.000	250 -1.250

Fonte: elaboração dos autores a partir de EASAC (2016).

processamento e consolidadas as informações em banco de dados sobre as inúmeras iniciativas de recolha/recebimento no País; c) identificados os impactos potenciais e analisadas as alternativas mais viáveis; d) realizados estudos que permitam evidenciar os ônus e bônus da mineração urbana, em razão do seu potencial impacto na sustentabilidade; e) idem com relação ao seu custo logístico e social; e f) analisadas as possibilidades de incentivar os negócios sustentáveis aderentes às premissas legais e normativas e às boas práticas de produção de matérias-primas secundárias.

Com relação a uma agenda de pesquisa, ressalta-se a importância de definir e implantar política pública de investimento em P&D em mineração urbana de REEE, em seus vários tópicos e desafios, a exemplo de desenvolvimento de tecnologias específicas para a reciclagem de produtos descartados diferentes (placas de circuito impresso, telas de computador e tablets, celulares, HDs etc.), uma tendência que se verifica na Comunidade Europeia. E também incentivar e apoiar as instituições de pesquisa a atuarem no tema, pois já existem grupos investigando o assunto.

O CETEM tem realizado pesquisas há alguns anos, especialmente adaptando as tecnologias minerais clássicas à recuperação de metais de diversos tipos de REEE, inclusive atuando na biomineração urbana, bem como estudando a logística reversa de e-waste. Alguns pesquisadores de universidades brasileiras (UFES, UFMG, UFRJ, UnB, UNESP e USP) também se dedicam ao tema. O CTI/MCTIC (Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer), localizado em Campinas, também tem atuado (SILVA et al., 2015) e mais recentemente anunciou o desenvolvimento de processo para recuperação de metais de REEE em parceria com a empresa GRI – Gerencia-

mento de Resíduos Industriais, financiado pelo programa Funtec, Fundo Tecnológico do BNDES, um investimento de R\$ 8 milhões.

De toda forma, a mineração urbana é um caminho que, tudo indica, parece ser sem volta; uma solução alinhada com a economia circular que vem ao encontro das principais demandas sociais, ambientais, econômicas e tecnológicas. Sua implantação em larga escala no País depende tanto de tecnologia quanto de uma logística reversa eficaz. Para tal, teremos de percorrer algumas curvas e pontes para que se ultrapasse a fronteira do conhecimento e a prática corresponda à teoria, bem como às expectativas. □

Referências Bibliográficas

BALDÉ, C.P. et al. (2017): *The Global E-waste Monitor 2017*.

BEOLCHINI, F. et al. (2013): *Chemical and biological strategies for the mobilisation of metals/semi-metals in contaminated dredged sediments: experimental analysis and environmental impact assessment*. *Chem. Ecol.* 29 (5), 415-426.

DUTH, A. C. R. e LINS, F.F. (2017): *A economia circular e sua relação com a mineração*. *Brasil Mineral*, n. 374, 2017, p.66-70.

CALAES, G. (2017): *Estímulos à mineração na era da economia circular*. *Brasil Mineral*, n.374, p.76-77.

COMUNIDADE EUROPEIA (2017): *Plataforma Européia de Economia Circular*. Disponível em: http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.ht. Acesso em dezembro de 2017.

DUTH, A. C. R. e LINS, F.F. (2017): *A economia circular e sua relação com a mineração*. *Brasil Mineral*, n. 374, 2017, p.66-70.

EASAC (2016): *Priorities for critical materials for a circular economy*. *German National Academy*

of Sciences Leopoldina. *European Academies Science Advisory Council*, 34 p.

EMF (2012): *Towards the Circular Economy*. Vol. 1. Disponível em: [Err! A referência de hiperlink não é válida. downloads/publications/ Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the- Circular-Economy-vol.1.pdf](https://www.ellen-macarthurfoundation.org/publications/ellen-macarthurfoundation-towards-the-circular-economy-vol.1.pdf). Acesso: dezembro de 2017.

ERKMAN, S.(1997): *Industrial ecology: an historical view*. *Journal of Cleaner Production*, v.5, n. 1/2, p. 1-10.

FORBES (2012): Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/trevorbutterworth/2012/07/17/welcome-to-the-age-of-urban-mining/#1913db9533d5>. Acesso: dezembro de 2017.

INNOVA (2012): *Guide to resource efficiency in manufacturing: Experiences from improving resource efficiency in manufacturing companies*.

JRC (2017 a): *Raw Materials Information Systems (RMIS): towards v 2.0*. JRC Technical Reports, European Commission, 104 p.

JRC (2017 b): *Critical raw materials and the circular economy. Background report, December, JRC Science for Policy Report*. European Commission, 102 p.

LINS, F.F. et al. (2016): *Tecnologias para a sustentabilidade ambiental*. In: Melfi A. et al. (Orgs) *Recursos Minerais no Brasil: Problemas e Desafios*. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, p.282-287.

MCDONOUGH, W e BRAUNGART, M (2013): *The Upcycle: Beyond Sustainability - Designing for Abundance*.

MEYER, B. et al. (2011): *Macroeconomic modelling of sustainable development and the links between the economy and the environment*. *Final report*, 89, p.

ONGONDO F.O., WILLIAMS I.D., CHERRETT T.J. (2011): *How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes*. *Waste Management*, 31, 714-730.

PARLAMENTO EUROPEU (2016): *Circular Economy Package*.

Disponível em: <http://www.europarl.europa.eu/EPRS/EPRS-Briefing-573936-Circular-economy-package-FINAL.pdf>. Acesso em dezembro de 2017.

SILVA, J.R.A., PIMENTEL, M., ELEUTÉRIO, S., AUGUSTO, J., BRAGA, M., ARAÚJO, M., BEZANA, T., BARRETO, T., PRESSIONOTTO, V. (2015): *Rematronic: project to recovery precious metals from electronic waste*. Association for Computing Machinery, ACM. Available at: https://www.researchgate.net/publication/303803426_Rematronicproject_to_recovery_precious_metals_from_electronic_waste. Access February 2015.

- (1) Pesquisadora Titular CETEM/MCTIC
- (2) Pesquisador Titular CETEM/MCTIC