

PANORAMA DA RECICLAGEM DE PILHAS E BATERIAS NO BRASIL E NO MUNDO

Débora Cristina de Freitas Romão (Mestranda do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Tocantins) E-mail: deboraromao.eng@gmail.com
Juan Carlos Valdés Serra (Professor na Universidade Federal do Tocantins) E-mail: juanacs@uft.edu.br

Resumo: O grande descarte de resíduos eletrônicos é um problema que vem crescendo nas últimas décadas, especialmente porque muitos países, como o Brasil, ainda não o fazem de maneira ambientalmente adequada, gerando prejuízos ambientais pela contaminação dos compartimentos ambientais, como o solo, o ar e os recursos hídricos. Além dos prejuízos ambientais gerados pela má disposição de resíduos eletrônicos, a exposição humana às substâncias presentes nesses resíduos ocasiona graves patologias. As pilhas e baterias fazem parte desses resíduos e há a possibilidade de se dar novas utilidades a elas por meio da reciclagem. O objetivo desse estudo é realizar um levantamento bibliográfico das principais tecnologias utilizadas atualmente para a reciclagem de pilhas e baterias e apontar as que se mostrarem com maior viabilidade ambiental e econômica. As tecnologias mais utilizadas mundialmente para a reciclagem envolvem basicamente três etapas, que consistem em uma triagem, no tratamento físico e no tratamento metalúrgico. A triagem consiste na segregação das pilhas e baterias por tipo; o tratamento físico envolve técnicas de britagem, moagem, entre outras; o tratamento metalúrgico compreende o uso de processos químicos e térmicos, como a pirometalurgia e a hidrometalurgia. Para que se obtenha uma reciclagem mais eficiente, recomenda-se a combinação de várias tecnologias, além de se considerar a minimização de impactos ambientais, os cuidados com a exposição das pessoas que atuarão no processamento e a rentabilidade financeira.

Palavras-chave: pilhas; baterias; reciclagem; tecnologias.

BATTERY RECYCLING OVERVIEW IN BRAZIL AND THE WORLD

Abstract: The large disposal of electronic waste is a problem that has been growing in recent decades, especially because many countries, such as Brazil, do not yet do it in an environmentally sound manner, generating environmental damage by contamination of environmental compartments such as soil, air and water resources. In addition to the environmental damage generated by the poor disposal of electronic waste, human exposure to the substances present in electronic waste causes serious pathologies. Batteries are part of this waste and there is a possibility of giving them new uses through recycling. The aim of this study is to conduct a bibliographic survey of the main technologies currently used for the recycling of batteries and to point out the ones that prove to be the most environmentally and economically viable. The most widely used recycling technologies in the world involve basically three stages, which consist of screening, physical treatment and metallurgical treatment. Screening consists of segregating batteries by type; physical treatment involves crushing, grinding, among others; Metallurgical treatment comprises the use of chemical and thermal processes such as pyrometallurgy and hydrometallurgy. In order to achieve more efficient recycling, a combination of various technologies is recommended, as well as minimizing environmental impacts, taking care of the exposure of processing personnel and financial profitability.

Keywords: battery, recycling, technologies.

1. INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos resultantes de equipamentos eletrônicos tem crescido vertiginosamente a cada ano devido ao avanço no desenvolvimento e uso de recursos tecnológicos das mais variadas fontes. Entre esses resíduos, encontram-se as pilhas e baterias, que são utilizadas em equipamentos como computadores, celulares, relógios,

câmeras fotográficas, lanternas, aparelhos de tratamento de saúde, automóveis, brinquedos, entre outros.

De acordo com o Monitor Global de Lixo Eletrônico, a geração de lixo eletrônico mundial em 2016 foi de 44,7 milhões de toneladas, que é equivalente a 6,1 kg por habitante, em comparação com os 5,8 kg por habitante gerados em 2014. Estima-se que a quantidade de lixo eletrônico aumente para 52,2 milhões de toneladas, ou 6,8 kg por habitante, até 2021. No tocante à todo esse lixo eletrônico produzido há um forte componente econômico, pois o valor das matérias-primas que estão presentes nessas 44,7 milhões de toneladas de lixo eletrônico correspondem a um montante de aproximadamente 55 bilhões de euros, o que significa 250 bilhões de reais sendo desperdiçados, especialmente, pela carência de investimentos em tecnologias de reciclagem (BALDÉ *et al.*, 2017).

Segundo Feltre (2004), as pilhas são dispositivos que produzem energia elétrica a partir de reações de oxirredução, ou seja, sua função precípua é converter energia química em energia elétrica. Esse processo se dá graças à presença de um eletrodo negativo, ânodo, que libera elétrons por oxidação para o eletrodo positivo, cátodo, que recebe os elétrons por meio da redução. O meio no qual ocorrem essas reações é o eletrólito, que pode ser líquido, sólido ou pastoso, que se comporta como um condutor de eletricidade, no qual as cargas são transportadas por meio de íons. As baterias, por sua vez, constituem-se de um conjunto de pilhas que desempenham a mesma função destas. De acordo com Mantuano *et al.* (2011), a quantidade estimada de pilhas consumidas no Brasil anualmente é de 1,2 bilhão de unidades.

Muitas vezes, especialmente no Brasil, as pilhas e baterias que supostamente não apresentam mais utilidade para seus usuários acabam virando rejeitos e sendo dispostos em aterros sanitários, lixões e em locais inadequados, que ficam expostos à contaminação do solo, da água e do ar pelos componentes químicos presentes neles como zinco, manganês, mercúrio, níquel, cádmio, lítio, etc.

Assim, considerando os riscos à saúde humana e aos recursos ambientais decorrentes da disposição inadequada desses resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, bem como o potencial econômico e os benefícios ambientais decorrentes de sua reciclagem, este trabalho objetiva realizar um levantamento bibliográfico das principais tecnologias utilizadas atualmente para a reciclagem de pilhas e baterias, assim como apontar as que se mostrarem com maior viabilidade ambiental e econômica.

2. LEGISLAÇÃO E CONTEXTO BRASILEIRO

Existem alguns dispositivos legais no contexto brasileiro, como pode ser observado no quadro 1, que tratam direta e indiretamente a respeito do manejo com os resíduos sólidos e, assim, com as pilhas e baterias usadas.

Quadro 1 - Resumo da legislação pertinente aos resíduos sólidos em âmbito nacional.

LEGISLAÇÃO	EMENTA
Constituição Federal Art. 225	Capítulo VI - Do Meio Ambiente
Lei Federal nº 6.938/1981	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

Lei Federal nº 9.605/1998	Lei de crimes ambientais. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.
Lei Federal nº 11.445/2007	Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.
Lei Federal nº 12.305/2010	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.
Resolução CONAMA nº 401/2008	Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado, e dá outras providências.

Fonte: elaborado pela autora.

A legislação brasileira preconiza que as pilhas e baterias devem receber o tratamento e a destinação final adequados, visando a conservação dos recursos ambientais. Segundo o art. 22 da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 401/2008:

Não serão permitidas formas inadequadas de disposição ou destinação final de pilhas e baterias usadas, de quaisquer tipos ou características, tais como: I - lançamento a céu aberto, tanto em áreas urbanas como rurais, ou em aterro não licenciado; II - queima a céu aberto ou incineração em instalações e equipamentos não licenciados; III - lançamento em corpos d'água, praias, manguezais, pântanos, terrenos baldios, poços ou cacimbas, cavidades subterrâneas, redes de drenagem de águas pluviais, esgotos, ou redes de eletricidade ou telefone, mesmo que abandonadas, ou em áreas sujeitas à inundação.

Ainda conforme a Resolução do CONAMA nº 401/2008, as pilhas podem ser classificadas essencialmente como primárias (não recarregáveis) e secundárias (recarregáveis). De acordo com Mota (2012), as pilhas mais consumidas no Brasil do tipo primária incluem as de zinco carvão, alcalina, lítio, óxido de mercúrio, óxido de prata e zinco ar. Já entre as mais utilizadas do tipo secundária estão a de níquel cádmio e a de chumbo ácido. Atualmente, as baterias do tipo níquel cádmio vem sendo substituídas pelas do tipo hidreto metálico de níquel (NiMH), ou de íon-lítio.

3. CONTEXTO MUNDIAL

A capacidade de reciclagem de pilhas e baterias varia de região para região. Fatores como rentabilidade financeira e políticas públicas associadas à legislação são preponderantes nessa variação. Steward *et al.* (2019) mostram que os Estados Unidos, por exemplo, possuem uma menor capacidade de reciclagem de baterias sem chumbo-ácido do que a Europa e a Ásia. Já na China, os esforços de reciclagem são suportados pelo valor econômico dos materiais recuperados, tornando-a o principal país em termos de capacidade de reciclagem. Na Europa, pelo rigor da legislação, a reciclagem de pilhas e baterias alcança altos índices. Já na Austrália, as baterias de íon-lítio não são recicladas e 98,3% das baterias portáteis acabam indo para os aterros sanitários. Apenas uma pequena porção de baterias é enviada para a Europa, onde empresas especializadas realizam a reciclagem, o que gera altos custos pelo transporte (BOYDEN *et al.*, 2016).

4. CONSEQUÊNCIAS PARA A SAÚDE E PARA O MEIO AMBIENTE

Existem graves consequências para a saúde humana resultantes do contato com os componentes químicos presentes nas pilhas e baterias, algumas delas estão descritas no quadro a seguir:

Quadro 2 – Efeitos de substâncias químicas no organismo humano.

SUBSTÂNCIA QUÍMICA	EFEITOS NA SAÚDE DO SER HUMANO
Mercúrio (Hg)	Problemas de estômago, distúrbios renais e neurológicos, alterações genéticas e no metabolismo
Cádmio (Cd)	Agente cancerígeno, afetação ao sistema nervoso, dores reumáticas, distúrbios metabólicos e problemas pulmonares
Zinco (Zn)	Vômitos, diarreias e problemas pulmonares
Manganês (Mn)	Anemia, dores abdominais, vômito, seborreia, impotência, tremor nas mãos e perturbações emocionais
Chumbo (Pb)	Irritabilidade, tremores musculares, lentidão de raciocínio, alucinação, insônia e hiperatividade

Fonte: Romão (2016) apud São Paulo (2010).

Deve haver especial atenção aos trabalhadores que lidam diretamente com a reciclagem desses resíduos. Uma pesquisa realizada na Suécia por Julander *et al.* (2014) em empresas de reciclagem de resíduos eletrônicos detectou níveis de exposição pelo ar de metais nos trabalhadores que lidavam diretamente com a parte do processamento. As tarefas consistiam basicamente em desmantelamento (desmontagem manual), trabalho interno (classificação de mercadorias recebidas e enviadas, condução de caminhões, limpeza, supervisão do trabalho, etc), trabalho ao ar livre (principalmente tarefas de inspeção e transporte de mercadorias nas diferentes localidades que utilizam caminhões) e trabalho de escritório. Usando biomarcadores de exposição, foram detectadas doses internas elevadas de Cd, Cr, Hg, In e Pb nos trabalhadores de reciclagem em comparação aos trabalhadores de escritório. Assim, medidas de proteção e controle devem ser rigidamente seguidas nessa área da reciclagem.

Em se tratando de impactos ambientais, nota-se que poucos países no mundo são responsáveis por grandes quantidades de extração de recursos minerais utilizados para abastecer o setor industrial que demanda esses tipos de materiais, como é o caso do ramo de produção de eletrônicos. Segundo Steward *et al.* (2019), dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos apontaram que em 2017, apenas 32 países responderam por toda a produção global de alumínio, manganês, níquel, grafite natural, cobalto e lítio. A China, por exemplo, produziu 54% dos 60 milhões de toneladas de Alumínio e 67% dos 1,2 milhões de toneladas de grafite natural. Da mesma forma, das 110 mil toneladas de cobalto produzidas globalmente, 60% veio apenas da República Democrática do Congo. A extração das 43 mil toneladas de lítio estava concentrada na Austrália (44%) e no Chile (34%). Extrações vultuosas de matérias-primas em poucos locais fazem com que as pressões sobre os recursos naturais sejam ainda maiores, gerando graves consequências a médio e longo prazo. Por isso, é extremamente pertinente que os resíduos das pilhas e baterias voltem ao ciclo produtivo como

matérias-primas para a produção de novos materiais. A quantidade de alguns materiais extraídos mundialmente, por país, pode ser vista na tabela 1.

Tabela 1 – Produção mundial da indústria de mineração em 2017.

MATERIAL	PRODUÇÃO TOTAL (toneladas)	PAÍS	QUANTIDADE POR PAÍS
Alumínio	60 milhões	China	54%
		Rússia	6%
		Canadá	5%
Manganês	16 milhões	África do Sul	33%
		China	16%
		Austrália	14%
Níquel	2,1 milhões	Filipinas	11%
		Canadá	10%
		Rússia	9%
		Austrália	5%
Grafite Natural	1,2 milhões	China	67%
		Índia	13%
		Brasil	8%
Cobalto	110 mil	República Democrática do Congo	59%
		Rússia	5%
		Austrália	5%
Lítio	43 mil	Austrália	44%
		Chile	34%
		Argentina	13%

Fonte: USGS 2017 apud Steward *et al.* (2019).

Como é esperado que a reciclagem das pilhas e baterias gere a diminuição dos impactos adversos nos compartimentos ambientais, é imprescindível que as técnicas utilizadas sejam minuciosamente estudadas, testadas e dominadas. Em um estudo realizado no Vietnã, nos anos de 2012 a 2014, foram constatados níveis de contaminação no ar, no solo e na água por metais pesados justamente pela utilização de processos de reciclagem de lixo eletrônico sem o devido controle. Exemplos desses processos incluíam a desmontagem manual e a queima a céu aberto (UCHIDA *et al.*, 2018).

Mesmo não sendo possível reciclar as pilhas e as baterias ou qualquer outro tipo de resíduo eletrônico sem causar impactos ambientais, estes podem ser minimizados com o uso de técnicas modernas e aperfeiçoadas. Assim, a reciclagem de pilhas e baterias ainda proporciona mais benefícios que malefícios para o meio ambiente. Boyden *et al.* (2016) demonstraram que a reciclagem de baterias de íon-lítio reduz o consumo de energia, reduz as emissões de gases de efeito estufa e resulta em 51,3% de economia de recursos naturais quando comparada à disposição em aterro sanitário.

5. TECNOLOGIAS DE RECICLAGEM DE PILHAS E BATERIAS

De acordo com Boyden *et al.* (2016) as baterias de íon-lítio são o tipo de bateria mais comum usada em dispositivos eletrônicos portáteis. Geralmente, elas são recicladas com o emprego de três tecnologias, que podem ser empregadas em conjunto ou isoladamente: pirometalurgia, *cryo-milling* ou outros processos mecânicos e hidrometalurgia. (STEWART *et al.* 2019). Pode-se observar que, em linhas gerais, a reciclagem de pilhas e baterias envolve as três etapas básicas mencionadas: a triagem; o tratamento físico e o

tratamento metalúrgico. A figura 1 a seguir mostra mais detalhadamente quais são essas etapas.

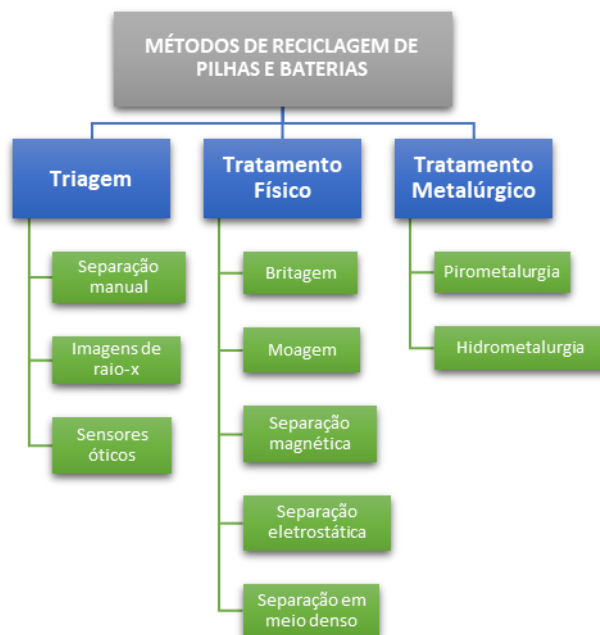


Figura 1 – Métodos mais utilizados para a reciclagem de pilhas e baterias.

5.1. Triagem

A triagem reside na segregação das pilhas e baterias por tipo. Essa segregação é muito importante, pois elas podem ter composições químicas distintas que podem atrapalhar nos processos subsequentes, especialmente no que tange ao nível de pureza na recuperação de certos metais. Mantuano *et al.* (2011) citam que podem ser utilizados vários processos para aumentar a eficiência da separação na etapa de triagem, que vão desde a separação manual até a utilização de equipamentos e técnicas de separação, como separação mecânica por tamanho, campo magnético, imagens de raios-X e sensores óticos.

5.2. Tratamento Físico

O tratamento físico geralmente é realizado com técnicas de britagem, moagem ou cominuição, separação magnética, separação eletrostática, separação em meio denso. A britagem consegue realizar a separação das carcaças das pilhas, como as metálicas e plásticas, por meio da desfragmentação da sucata (MANTUANO *et al.*, 2011). A moagem ou cominuição consiste na diminuição do tamanho das partículas por meio da ação mecânica. Esse processo pode ser realizado com equipamentos como moinhos de martelos, de facas ou de bolas a depender do tamanho do material a ser cominuído e da granulometria que se deseja alcançar. A separação magnética se dá pelas diferentes respostas dos materiais ao campo magnético, podendo ser atraídos pelo campo magnético ou repelidos por ele. Já a separação eletrostática baseia-se na condutividade elétrica, que separa materiais de condutividades elétricas diferentes, gerando frações condutoras e não-condutoras (ROMÃO, 2016). A separação em meio denso separa os materiais de acordo com suas densidades, onde os materiais mais densos ficam separados dos materiais menos densos.

5.3. Tratamento Metalúrgico

As tecnologias mais utilizadas para a reciclagem de pilhas e baterias incluem processos químicos e térmicos, conhecidos também como a pirometalurgia e a hidrometalurgia. Segundo Mathur *et al.* (2019), a diferença entre os dois processos é que os processos pirometalúrgicos usam altas temperaturas para recuperar materiais, enquanto os processos hidrometalúrgicos usam lixiviação e purificação de soluções para recuperar materiais valiosos. Para que esses dois processos sejam utilizados e cheguem ao objetivo desejado é imprescindível que anteriormente se faça o uso do processamento mecânico ou tratamento físico como forma de pré-tratamento do material a ser processado.

5.3.1. Pirometalurgia

Os processos pirometalúrgicos estão entre os mais utilizados no mundo em países como Estados Unidos, França e Japão. Basicamente, eles usam altas temperaturas para recuperar materiais (BOYDEN *et al.*, 2016). De acordo com Moraes (2011) apud Romão (2016), esses processos podem ocorrer por meio de incineração, fusão, pirólise, sinterização, reações da fase gasosa em alta temperatura, entre outros. Como resultado desse processamento obtém-se os metais concentrados em uma fase metálica e outros tipos de materiais em uma fase de escória.

Alguns materiais presentes nos resíduos das pilhas e baterias se degradam termicamente gerando emissões gasosas com características tóxicas como as dioxinas e furanos, pode haver também perdas de metais por volatilização de cloretos e o aumento da quantidade de escória nos fornos. Dessa forma, o uso de equipamentos de filtragem e/ou lavagem de gases é fundamental para que não haja contaminação do ar (ROMÃO, 2016).

5.3.2. Hidrometalurgia

Os processos hidrometalúrgicos recuperam metais usando ácidos ou bases para lixiviar metais em uma solução, que é posteriormente purificada para extrair os materiais (BOYDEN *et al.*, 2016).

A lixiviação consiste na dissolução seletiva de minerais contendo o metal ou metais de interesse através do contato do sólido (minério ou concentrado) com uma fase aquosa contendo ácidos (frequentemente o ácido sulfúrico), bases (como hidróxidos de amônio e sódio) ou agentes complexantes (como o cianeto de sódio e o hidróxido de amônio), em condições variadas de pressão e temperatura – usualmente de 25 a 250°C (CIMINELLI, 2007 apud ROMÃO, 2016).

Boyden *et al.* (2016) constataram que a hidrometalurgia consegue recuperar uma maior quantidade de materiais que a pirometalurgia, sendo assim, mais eficiente nos processos de reciclagem de pilhas e baterias. Ainda segundo esse estudo, os processos mecânicos demonstraram recuperar o maior número de materiais, que posteriormente são enviados para instalações de reciclagem especializadas para refinamento.

5.4. Impactos Ambientais dos métodos selecionados

Os maiores impactos ambientais adversos oriundos desses métodos de reciclagem envolvem os gastos energéticos dos equipamentos, o descarte de componentes das pilhas e baterias que não servem para serem submetidos à reciclagem, a emissão de

gases poluentes pela submissão dos resíduos a altas temperaturas e aos efluentes líquidos provenientes das soluções químicas. Tais fatores, entre outros, podem ser observados no quadro 3, a seguir:

Quadro 3 – Matriz de impactos ambientais da reciclagem de pilhas e baterias.

ATIVIDADE	PROCESSO	IMPACTO	PREVENÇÃO E MINIMIZAÇÃO
Operação de equipamentos com energia elétrica	Alto gasto energético	Desperdício de recursos naturais	Investimento em equipamentos com alta eficiência energética
Submissão dos resíduos a altas temperaturas	Emissão de gases poluentes	Contaminação do ar	Uso de filtros e lavadores de gases
Submissão dos resíduos em soluções químicas	Geração de efluentes líquidos	Contaminação do solo e/ou da água pela má disposição final	Tratamento e disposição final ambientalmente adequada
Descarte manual de componentes não utilizáveis	Geração de resíduos sólidos	Contaminação do solo e/ou da água pela má disposição final	Tratamento e disposição final ambientalmente adequada
Contato dos trabalhadores com os resíduos	Aparecimento de doenças ocupacionais	Deterioração da saúde do trabalhador	Uso de EPI's e manutenção das máquinas e equipamentos

Fonte: elaborado pela autora.

Tendo em vista os impactos adversos acima citados, é fundamental a aplicação de ações que possam evitá-los, quando possível, e atenuá-los. Mesmo com a presença desses fatores negativos na parte ambiental, o uso dos cuidados necessários permite que esse tipo de reciclagem traga muito mais pontos positivos do que negativos, sendo assim, considerada como uma atividade vantajosa.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de haver uma boa base de leis no Brasil regulamentando as formas adequadas de destinação e disposição final das pilhas e baterias, as iniciativas de reciclagem desses resíduos ainda são muito incipientes, especialmente ao se comparar as situações de países desenvolvidos, como alguns europeus e asiáticos, que estão bem à frente nesse sentido.

Por meio do levantamento realizado foi possível depreender que o uso de uma tecnologia isolada para reciclar pilhas e baterias não é suficientemente satisfatório. Portanto, a combinação de tecnologias diferentes é indispensável para se alcançar bons resultados nesse tipo de reciclagem, que envolve basicamente a separação e recuperação dos diferentes componentes que compõem a estrutura desses resíduos.

Assim, as técnicas escolhidas na reciclagem de pilhas e baterias devem ser eficientes e também ambientalmente benéficas, de forma que os materiais recuperados possam ser rentáveis financeiramente sem gerar malefícios aos recursos naturais e à saúde das pessoas que trabalham no processamento.

7. REFERÊNCIAS

- BALDÉ, C.P.; FORTI V.; GRAY, V.; KUEHR, R.; STEGMANN, P. **The Global E-waste Monitor – 2017**, United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna.
- BOYDEN, A.; SOO, V. K.; DOOLAN, M. **The Environmental Impacts of Recycling Portable Lithium-Ion Batteries**. 23rd CIRP Conference on Life Cycle Engineering. Research School of Engineering, College of Engineering and Computer Science, The Australian National University, Canberra, ACT 2601, Australia. *Procedia CIRP* 48 (2016) 188 – 193.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 401, de 4 de novembro de 2008**. Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado, e dá outras providências.
- FELTRE, R. **Química** – v.2. Físico-química. 6. Ed. – São Paulo: Moderna, 2004.
- JULANDER, A.; LUNDGREN, L.; SKARE, L.; GRANDÉR, M.; PALM, B. **Formal recycling of e-waste leads to increased exposure to toxic metals: An occupational exposure study from Sweden**. *Environment International* 73 (2014) 243–251, Sweden.
- MANTUANO, D. P.; ESPINOSA, D. C. R.; WOLFF, E.; MANSUR, M. B.; SCHWABE, W. K. **Pilhas e baterias portáteis: legislação, processos de reciclagem e perspectivas**. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* – Número 21 – Setembro de 2011.
- MATHUR, N.; DENG, S.; SINGH, S.; YIH, Y.; SUTHERLAND, J. W. **Evaluating the environmental benefits of implementing Industrial Symbiosis to used electric vehicle batteries**. *Environmental and Ecological Engineering*, Purdue University, West Lafayette, IN 47906, USA. *Procedia CIRP* 80 (2019) 661- 666.
- MOTA, H. A. F. **Reciclagem de Pilhas**. Monografia (Graduação em Química Industrial) - Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis. Assis, SP, 2012.
- ROMÃO, D. C. F. **Proposta de recuperador de metais de placas de circuito impresso provenientes de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins. Palmas, TO, 2016.
- STEWART, D.; MAYYAS, A.; MANN, M. **Economics and Challenges of Li-Ion Battery Recycling from End-of-Life Vehicles**. 16th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Sustainable Manufacturing for Global Circular Economy. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, 80401. *Procedia Manufacturing* 33 (2019) 272–279.
- UCHIDA, N.; MATSUKAMI, H.; SOMEYA, M.; TUE, N. M.; TUYEN, L. H.; VIET, P. H.; TAKAHASHI, S.; TANABE, S.; SUZUKI, G. **Hazardous metals emissions from e-waste-processing sites in a village in northern Vietnam**. Center for Material Cycles and Waste Management Research, National Institute for Environmental Studies (NIES), Japan. *Emerging Contaminants* 4 (2018) 11-21.