

GESTÃO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS E SEUS IMPACTOS NA POLUIÇÃO AMBIENTAL

Anna Flávia de Oliveira Lima¹

Rodolfo José Sabiá²

Raimundo Nonato Pereira Teixeira³

Francisco de Assis Vilar Sobreira Júnior⁴

Resumo

A quantidade de resíduo eletroeletrônico produzida no mundo cresce rapidamente devido ao constante avanço tecnológico e à prática consumista imposta à sociedade. A preocupação, por parte de muitos órgãos governamentais e não governamentais, com o gerenciamento desses resíduos vem aumentando em muitos países. O governo brasileiro, por sua vez, instituiu a Resolução CONAMA 401 para limitar as concentrações dos metais pesados na composição das baterias portáteis recarregáveis, e a PNRS que determina a implantação da Logística Reversa para resíduos como as pilhas e baterias. À medida que os aparelhos celulares são descartados no lixo comum, substâncias tóxicas presentes nesses resíduos contaminam o ecossistema e os seres humanos através da bioacumulação. Assim, a Logística Reversa surge como estratégia para o desenvolvimento sustentável

Recebimento: 15/3/2015 - Aceite: 14/5/2015

¹ Graduada em Engenharia de Produção Mecânica pela Universidade da Regional do Cariri - URCA. Email: annaflavia.lima@gmail.com.

² Doutor em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Ceará e Pós Doutor em Engenharia de Produção pela UNESP. Atualmente é professor associado do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Regional do Cariri. Email: rodolfo.sabia@urca.br.

³ Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (2015). Atualmente é professor Adjunto K da Universidade Regional do Cariri - URCA no Departamento de Química Biológica. Email: rnpt@bol.com.br.

⁴ Mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Email: jr2_vilar@hotmail.com.

das indústrias, diminuindo o descarte inadequado de produtos que apresentem problemas ambientais, em que se destacam os metais pesados presentes nas baterias de telefones celulares. Foram desenvolvidos, no presente trabalho, coleta e caracterização de amostras de baterias de telefone celular; leitura da presença de metais através da extração em meio ácido e da espectrometria de absorção atômica. Destaca-se a importância da implantação do método de Logística Reversa, discutido neste trabalho, como ferramenta para a redução da poluição ambiental, causada pelo descarte incorreto de baterias de telefones celulares na Região Metropolitana do Cariri. Contudo, para o correto funcionamento dessa ferramenta, é necessária, obrigatoriamente, a conscientização ambiental da população.

Palavras-chave: Logística Reversa; Resíduos Eletroeletrônicos; Metais Pesados

ELECTRONIC WASTE MANAGEMENT AND ITS IMPACTS ON ENVIRONMENTAL POLLUTION

Abstract

The amount of electronics waste produced in the world is growing rapidly due to constant technological advancement and consumer practice imposed on society. The concern on the part of many governmental and non-governmental agencies, with the management of this waste is increasing in many countries. The Brazilian government, in turn, established the CONAMA Resolution 401 to limit the concentrations of heavy metals in the composition of portable rechargeable batteries and PNRs that determines the implementation of Reverse Logistics for waste such as batteries. As cell phones are discarded in the trash, toxic substances present in these wastes contaminate the ecosystem and humans through bioaccumulation. Thus Reverse Logistics emerges as a strategy for the sustainable development of industries decreasing the inappropriate disposal of products with environmental problems, which highlights the heavy metals in the batteries of mobile phones. It was developed in the present work, collection and characterization of cell phone batteries samples; reading the presence of metals by acidic extraction and atomic absorption spectrometry. Highlighting the importance of the implementation of Reverse Logistics

method discussed in this work, as a tool to reduce environmental pollution causes for incorrect disposal of mobile phone batteries in the Metropolitan Region of Cariri. However, for proper operation of this tool is required, necessarily, environmental awareness of the population.

Keywords: Reverse Logistics; Electronics waste; Heavy Metals

Introdução

Atualmente o meio ambiente sofre inúmeros impactos ambientais, dentre os quais, são aqueles causados pelo descarte incorreto de resíduos eletroeletrônicos, popularmente conhecidos como lixo eletrônico. Esse tipo de lixo é composto por equipamentos que utilizam corrente elétrica e são formados por circuitos eletrônicos, como os eletrodomésticos, equipamentos e componentes eletrônicos obsoletos. Esses resíduos são classificados em quatro grupos: Linha Branca - grandes eletrodomésticos; Linha Azul - pequenos eletrodomésticos; Linha Verde - produtos de telecomunicações e informática; Linha Marrom - produtos de áudio, televisores e câmeras (SARAIVA, 2012).

O descarte inadequado gera problemas ambientais sérios, não só pela quantidade excedente desses resíduos nos lixões e aterros sanitários, como também pelo fato de esses produtos conterem em sua composição materiais como vidro, plástico e metal que permanecem por muito tempo na natureza, e, sobretudo, pela presença de metais tóxicos como níquel, cobre, cádmio, chumbo e mercúrio que contaminam o meio ambiente e quando em elevadas concentrações podem prejudicar os seres vivos, através da bioacumulação nos organismos.

Devido ao aumento significativo na quantidade de equipamentos eletroeletrônicos produzidos e comercializados constantemente em decorrência da revolução tecnológica, os consumidores são incentivados a trocar de aparelhos continuamente. Assim, os equipamentos têm o seu ciclo de vida reduzido e rapidamente caem em desuso, causando um aumento na quantidade de resíduos descartados.

Neste cenário, pode-se constatar a relevância que a Logística Reversa assume, caracterizada como uma visão de logística empresarial que descreve o retorno de produtos, substituição de materiais, reciclagem, disposição de resíduos, reforma e remanufatura de produtos. Dessa forma, surge a Logística Reversa de pós-consumo para o gerenciamento dos resíduos eletroeletrônicos, possibilitando recuperar os produtos em desuso para a reutilização de seus componentes como matéria-prima, diminuindo, assim, o volume de lixo eletrônico nos lixões e aterros sanitários, através do tratamento e da correta disposição final dos resíduos em locais seguros que não contaminem o ambiente (LEITE, 2009).

Assim, através da análise experimental dos compostos químicos das baterias de telefones celulares, o presente trabalho propõe demonstrar um sistema de Logística Reversa mais adequado para a realidade da Região Metropolitana do Cariri Cearense para o correto gerenciamento, buscando reduzir os efeitos da poluição e do impacto ambiental causados pelo

descarte incorreto dos resíduos eletroeletrônicos. Pois, além de ser uma imposição legal estabelecida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), também é um processo viável, eficaz e necessário em todo território brasileiro e dependente da conscientização e participação de todos os setores envolvidos no processo reverso (empresários, governantes e sociedade) para promoverem a sustentabilidade na gestão dos resíduos eletroeletrônicos.

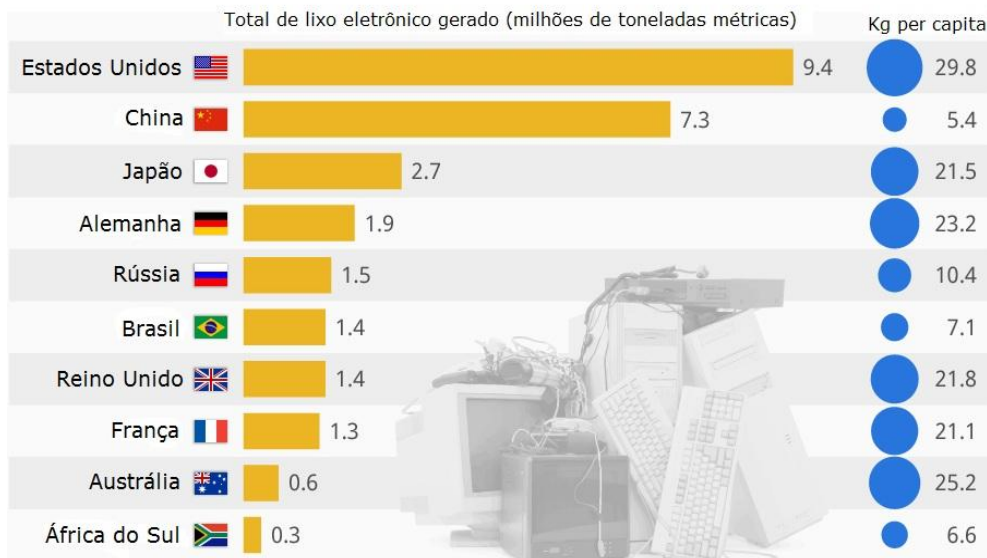
Resíduos Eletroeletrônicos

O constante crescimento do processo de inovação tecnológica mantido pelas empresas, em especial de produtos dos setores de informática e comunicação, vem criando a necessidade de se implantar uma política que vise uma melhoria na gestão dos resíduos produzidos, utilizados e descartados pelas indústrias, nesse caso, os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (GARCÉS e SILVA, 2010).

Conforme Rodrigues (2003), são exemplos de aparelhos classificados como resíduos eletroeletrônicos: rádios, televisores, telefones celulares, pilhas e baterias, todos os equipamentos de informática, filmadoras, eletrodomésticos portáteis, brinquedos eletrônicos e lâmpadas fluorescentes.

De acordo com a Revista Opcions (2003), a geração de resíduos eletroeletrônicos é três vezes maior do que a de lixo urbano. O Greenpeace apresentou, no ano de 2011, dados que demonstraram o aumento na produção de resíduos eletroeletrônicos. Em média, foram produzidos anualmente 50 milhões de toneladas de lixo eletrônico no mundo. Segundo estudos da Organização das Nações Unidas (ONU), a quantidade de produtos eletrônicos descartados crescerá de forma exagerada nos países em desenvolvimento nos próximos dez anos (CEMPRE, 2011; ECOTUBI, 2012).

O primeiro mapa global do lixo eletrônico desenvolvido pela iniciativa StEP, um acordo entre a ONU, Organizações Não Governamentais (ONG's), governos e empresas, demonstra o volume que cada país gerou de resíduos eletrônicos. Os dados são referentes à quantidade de resíduos descartados em 2012, e podem ser observados na Figura 1 (AOQUADRADO, 2014).

Figura 1: Quantidade de resíduo eletrônico gerado em cada país

Fonte: Iniciativa StEP.

Em primeiro lugar, está a grande potência mundial, os Estados Unidos, com um total de 9,4 milhões de toneladas de lixo eletrônico. Seguido da China, país que possui a maior população mundial, contudo, gerou 2,1 milhões de toneladas de lixo eletrônico a menos que os Estados Unidos. Em terceiro lugar, está o Japão, país com extensão territorial bem reduzida, se comparada com o território brasileiro, porém, produziu 1,3 milhões de toneladas a mais que o Brasil, este na sexta posição, com produção *per capita* de 7,1 kg.

O mercado de aparelhos de telefones celulares está em constante crescimento. No período entre 2005 e 2010, o número de aparelhos celulares nos países desenvolvidos cresceu 42%, enquanto isso, o crescimento nos países em desenvolvimento foi de 226%. No ano de 2009, dados da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) mostram que no Brasil existia cerca 170 milhões de linhas ativas de telefones móveis. Já em 2012, a telefonia móvel atingiu a marca de 261,78 milhões de linhas ativas (ANATEL, 2009 e 2013; ITU, 2011).

Atualmente, dados da ANATEL para o primeiro quadrimestre de 2014, o Brasil encerrou o mês de abril com 273,60 milhões de telefones celulares ativos. Vale ressaltar que desse total, 11,1 milhões de linhas ativas estão no Estado do Ceará (CEARÁ NEWS 7, 2014).

De acordo com as definições da Norma Brasileira (NBR) 10.004, que classifica os resíduos sólidos em duas categorias, Resíduos Classe I - Perigosos, e Resíduos Classe II - Não perigosos. Os resíduos eletroeletrônicos são classificados como Resíduos Perigosos - Classe I, devido à periculosidade quanto à reatividade, inflamabilidade, corrosividade e toxicidade de alguns compostos desses resíduos (ABNT, 2004; SOUZA *et al.*, 2007).

Contudo, algumas indústrias buscam minimizar os impactos ambientais negativos do crescimento produtivo de equipamentos eletrônicos. Influenciadas pela visão socioambiental de ecologia industrial, as empresas são [gradativamente](#) responsabilizadas pelo lixo produzido, desde o processo produtivo, até a destinação final de seus produtos ao fim da vida útil. Assim, junto aos poderes públicos e à sociedade, as empresas adotaram estratégias para evitar o descarte inadequado dos resíduos eletroeletrônicos no Brasil (FLORESTANET, 2012; RODRIGUES *et al.*, 2011).

A Logística Reversa para o Desenvolvimento Sustentável

A princípio, a logística empresarial resumia-se ao transporte e à armazenagem de produtos. Entretanto, com o atual crescimento da preocupação com o meio ambiente, o processo logístico é bem mais amplo. Em contrapartida, ao fluxo direto da cadeia de suprimentos, que administra informações do planejamento, controle do fluxo, execução e armazenagem de produtos, tem-se a Logística Reversa, que gerencia o ciclo inverso dos materiais, que parte do consumidor e retorna ao fornecedor, com o propósito de recuperar o valor e/ou destinar à apropriada disposição para coleta e tratamento do resíduo (DYCKHOOF *et al.*, 2004; NOVAES, 2004; OLIVEIRA e SILVA, [2005]).

Para Leite (2003), a Logística Reversa planeja, controla e opera o fluxo logístico do retorno ao ciclo produtivo dos bens de pós-venda e pós-consumo, através dos canais de distribuição reversos, incorporando-lhes valores de diversas naturezas: ecológico, econômico, logístico, de imagem corporativa, legal, entre outros.

Segundo Silva Filho *et al.* (2011), a questão dos resíduos no ciclo reverso tornou-se importante, devido à atual preocupação da sociedade com a preservação ambiental, considerando os valores e custos econômicos, sociais e ambientais, exigindo, assim, uma logística mais eficaz, sendo essa a Logística Reversa de pós-consumo.

Assim, é importante identificar como o resíduo irá retornar a sua indústria original, ou seja, como o consumidor irá devolvê-lo, qual caminho irá percorrer e quais serão os setores envolvidos nesse retorno. Para Leite

(2009), os fatores tecnológicos, econômicos e logísticos são fundamentais para a administração de um canal de distribuição reverso de pós-consumo.

Contudo, a realização de projetos de Logística Reversa enfrenta vários desafios, como a necessidade de efetuar atividades que envolvem indústrias, distribuidores, consumidores e governo. Algumas dificuldades para a implantação de programas de Logística Reversa são: a dificuldade das empresas em quantificar o retorno dos produtos, o fluxo reverso ser considerado como uma atividade de alto custo, e a falta de campanhas de conscientização que incentivem e informem as pessoas a destinarem os resíduos eletroeletrônicos em desuso nos pontos de coleta específicos (BRAGA JÚNIOR *et al.*, 2006; ESPINOSA e TENÓRIO, 2005).

Dessa forma, Guanabara (2010) destaca a importância das responsabilidades específicas de cada um dos setores envolvidos na gestão dos resíduos sólidos. Pois, mesmo que as empresas estruturem um sistema de Logística Reversa de pós-consumo, isso não surtirá resultado se os consumidores não colaborarem, entregando os resíduos eletroeletrônicos nos pontos de coleta autorizados.

As Legislações para os Resíduos Eletroeletrônicos

A crescente preocupação com a preservação dos recursos naturais e os impactos à saúde pública, associada ao descarte dos resíduos sólidos, indica que políticas públicas para tratar desses problemas tendem a ser cada vez mais solicitadas pela sociedade.

Assim, no ano de 2010, foi promulgada a Lei 12.305, que determina a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelos poderes públicos, com vista à prevenção e redução dos resíduos sólidos gerados no Brasil através da prática de atividades de consumo sustentável e um conjunto de princípios que incentivam a reciclagem e reutilização dos resíduos sólidos e/ou sua destinação correta (BRASIL, 2010).

O ponto fundamental da PNRS é a obrigatoriedade de implantação de programas de Logística Reversa para o gerenciamento dos seguintes resíduos: pneus, resíduos e embalagens de agrotóxicos, medicamentos, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes, equipamentos eletroeletrônicos e óleos lubrificantes. Através da responsabilidade, compartilha, pelo ciclo de vida dos produtos, entre governo, empresas e consumidores, impulsionar o retorno dos resíduos às indústrias após o consumo dos produtos, obrigando o poder público a realizar planos para o gerenciamento do lixo, possibilitando, assim, o tratamento, reaproveitamento e descarte ambientalmente correto (BRASIL, 2010; WOLFF e CONCEIÇÃO, [2003]).

Considerando os impactos negativos causados pelo descarte incorreto de pilhas e baterias, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) aprovou, em 2008, a Resolução n° 401, determinando que o descarte ambientalmente correto de pilhas e baterias é aquele que reduz os impactos ambientais e prioriza os processos de coleta, reutilização, tratamento, reciclagem ou disposição final, conforme a legislação ambiental vigente, compreendendo todos os pontos da Logística Reversa, ou seja, fabricantes, comerciantes, governos e consumidores (CONAMA, 2008).

O item fundamentalmente importante dessa Resolução é a diminuição significativa na quantidade dos metais chumbo, mercúrio e cádmio, para até respectivamente, 0,1%, 0,0005% e 0,002% em peso, presentes nas pilhas e baterias produzidas e comercializadas em território nacional. Essa legislação ainda determina que o descarte ambientalmente correto seja de responsabilidade dos fabricantes ou importadores. Entretanto, é necessária a conscientização do consumidor final para colaborar com a coleta seletiva desses resíduos (CONAMA, 2008).

Já a União Europeia, desde 1991, através da Diretiva 157/EC, proíbe a venda de pilhas e baterias que contenham teor de mercúrio e cádmio superiores, respectivamente, a 0,0005% e 0,002% em peso e estabelece a implantação de programas de coleta seletiva, obrigando os fabricantes e distribuidores de pilhas e baterias portáteis a receberem os produtos obsoletos. Neste sentido, a Diretiva 2002/95/EC regulamenta a reciclagem e o tratamento dos resíduos de produtos eletroeletrônicos (CRETATEC, 2010; ECOTERRA, 2000). A Tabela 1 representa um comparativo entre as legislações brasileira e europeia.

Tabela 1: Limites dos metais em percentual peso

Elementos	Diretiva 157/EC (1991)	Resolução CONAMA 401 (2008)
Cádmio	0,002%	0,002%
Mercúrio	0,0005%	0,0005%
Chumbo	Não determina	0,1%

É notável a influência da Diretiva europeia para a elaboração da legislação brasileira quanto aos limites dos metais tóxicos na composição de pilhas e baterias, contudo, um diferencial na legislação brasileira é a regulamentação do limite do metal chumbo a ser utilizado nas pilhas e baterias. Percebe-se uma diferença de 17 anos quanto à aprovação dessas leis, isso demonstra que as legislações no Brasil foram aprovadas

tardamente com relação à poluição ambiental causada pelo descarte incorreto dos resíduos eletroeletrônicos.

Poluição Causada pelo Descarte Incorreto dos Resíduos Eletroeletrônicos

Com o mercado consumidor dos equipamentos eletrônicos cada vez mais exigente, é evidente que as indústrias produzam diversos produtos para atender a tais necessidades e, como consequência desse constante crescimento, os consumidores são estimulados a substituir seus aparelhos, sem que os mesmos atinjam o fim da vida útil. Contudo, o uso excessivo desses produtos acarreta diversos problemas, como a poluição eletrônica, visto que anualmente são descartados milhões de produtos eletrônicos e o descarte incorreto desses resíduos nos aterros sanitários e lixões prejudica o meio ambiente (FERREIRA E FERREIRA, 2008; SINGH *et al.*, 2007).

À medida que os aparelhos eletrônicos são descartados no lixo comum, substâncias tóxicas presentes nesses resíduos infiltram-se no solo e nos lençóis freáticos, contaminando o ecossistema e os seres humanos através da bioacumulação (G1, 2007). Dentre essas substâncias tóxicas, destacam-se os metais pesados, que são elementos químicos metálicos e, quando em elevadas concentrações, são prejudiciais à saúde, pois não são sintetizados pelo organismo humano. O Quadro 1 relaciona os principais metais presentes nos equipamentos eletroeletrônicos com os efeitos destes à saúde humana.

Quadro 1: Principais metais presentes nos equipamentos eletroeletrônicos

Metal	Efeitos na saúde
Mercúrio (Hg)	Afeta o sistema nervoso e o sistema cardiovascular. Alterações no metabolismo. Acumula-se no organismo causando deficiências nos órgãos sensoriais, além de atrofia e lesões renais, urogenital e endócrino.
Chumbo (Pb)	É um agente cancerígeno, causador de danos ao sistema nervoso e sistema reprodutor. Acumula-se, principalmente, nos rins, fígado e ossos provocando alterações gastrintestinais, neuromusculares e anemia.
Cobre (Cu)	Intoxicações como lesões no fígado
Níquel (Ni)	Cancerígeno, pois atua diretamente na mutação genética.
Cádmio (Cd)	Cancerígeno. Provoca alterações no sistema nervoso e no sistema respiratório. Compromete ossos e rins. Ocasionalmente redução na produção de glóbulos vermelhos.

Fonte: Adaptado de Ambiental Sustentável (2012) e Greenpeace (2007).

Nesse sentido, Araújo *et al.* (2012) destacam a necessidade de políticas para o planejamento e gerenciamento específico dos resíduos eletrônicos produzidos para minimizar os impactos negativos causados ao meio ambiente e à saúde pública. Pois uma pesquisa realizada pelo [Compromisso Empresarial para Reciclagem](#) (CEMPRE) revela que o setor eletrônico foi responsável por cerca de 4% do impacto ambiental mundial em 2011.

Outro problema que merece destaque é a grande quantidade de baterias de celular falsificadas comercializadas no Brasil. Segundo o Comitê de Eletroeletrônicos do CEMPRE (2012), cerca de 30% do mercado eletroeletrônico no Brasil é informal e esse tipo de comércio paralelo não segue as normas técnicas e os padrões brasileiros dos limites de substâncias tóxicas estabelecidos pela Resolução CONAMA para metais como mercúrio, chumbo e cádmio. Assim, as baterias falsificadas têm maior potencial de poluição, pois não possuem fiscalização sobre a quantidade de elementos químicos pesados utilizados na composição.

Metodologia

Para fundamentar este estudo, realizou-se uma pesquisa bibliográfica dos conceitos, modelos e experiências de Logística Reversa de resíduos eletroeletrônicos. Para a análise experimental, foram utilizadas baterias de telefones celulares dos tipos Níquel-Cádmio (Ni-Cd), modelo BL-30, e Lítio-Íon (Li-íon), modelo BL-5CT. As amostras foram abertas manualmente e, posteriormente, submetidas à extração por meio de ácido nítrico. Utilizou-se o Espectrofotômetro de Absorção Atômica de Chamas, marca GBC, modelo SENS AA, do Laboratório de Águas, Efluentes e Metais Pesados da Universidade Regional do Cariri para a análise química, observando-se as concentrações dos metais Ni, Cd, Cu e Pb. Em seguida, os dados obtidos foram avaliados, observando se há existência dos metais e posteriormente comparados com a Resolução CONAMA 401.

Resultados

Os resultados obtidos nas análises para a identificação dos metais pesados presentes nas amostras de baterias de celulares dos tipos Ni-Cd e Li-íon foram comparados com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 401, presentes na tabela a seguir.

Tabela 2: Limites de concentrações permitidas em percentual peso

Elementos	Bateria Ni-Cd	Bateria Li-íon	Resolução CONAMA 401
Cádmio	0,05%	0	0,002%
Cobre	0	0,53%	Não determina
Níquel	14,05%	7,93%	Não determina
Chumbo	0	0	0,100%

Fonte: Adaptado da parte experimental do trabalho com a Resolução 401.

Analisando a tabela, observa-se uma grande quantidade de níquel presente nos dois tipos de bateria, mas a Resolução CONAMA não restringe o uso desse metal na composição de pilhas e baterias recarregáveis. Contudo, torna-se necessário impor um limite na concentração de níquel para esses produtos, pois esta é uma substância comprovadamente tóxica e cancerígena.

Nota-se que a quantidade de cádmio na bateria Ni-Cd está acima do limite permitido pela Resolução. Já para a bateria Li-ion não foi detectada a presença deste metal em sua composição.

Nos dois tipos de bateria analisados não foi detectada a presença de chumbo, pois a análise foi feita apenas da parte fluída da bateria, estando, desta forma, dentro dos limites permitidos pela Resolução.

A exemplo do níquel, a concentração de cobre não é limitada pela Resolução. Porém, a quantidade utilizada desse metal deve ser regulamentada, pois quando em elevadas concentrações no organismo humano, causa diversas intoxicações.

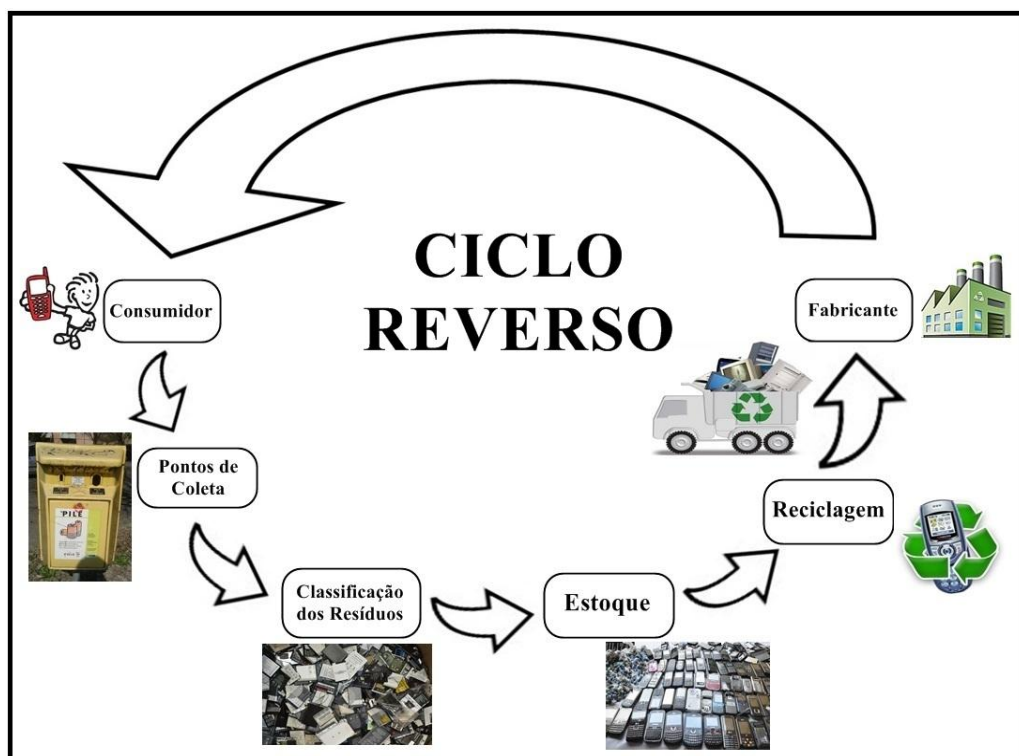
Para solucionar o problema do descarte do lixo eletroeletrônico na Região Metropolitana do Cariri, está sendo discutida uma ferramenta baseada no sistema de Logística Reversa para coleta e armazenamento das baterias de telefones celulares descartadas que posteriormente serão repassadas às empresas especializadas pela reciclagem e destinação final.

Em resumo, o processo de Logística Reversa de baterias de celulares após o fim da vida útil inicia-se com a instalação de urnas coletoras em locais estratégicos, tais como *shoppings* e supermercados, para o descarte das baterias de diferentes marcas e modelos pelos consumidores. As urnas serão colocadas em áreas que possibilitem uma fácil visualização e acesso pelos usuários. Nos pontos de coleta, serão distribuídas cartilhas com informações sobre os riscos dos descartes incorretos dos resíduos eletrônicos para a conscientização dos consumidores, incentivando o descarte nos

pontos específicos, e indicações de outros pontos de coleta distribuídos nas cidades.

O material será recolhido e armazenado até atingir a quantidade necessária para o repasse às empresas responsáveis pelo desmonte e reciclagem dos resíduos que, posteriormente, serão reincorporados ao processo produtivo. A Figura 2 representa de modo geral o método proposto.

Figura 2: Resumo do método proposto (estrutura do sistema de logística reversa a ser implantada)



Vale a pena salientar que as baterias experimentalmente analisadas revelaram níveis superiores aos limites permitidos pela Legislação brasileira. E, de acordo com os dados da ANATEL para o primeiro quadrimestre de 2014, o Estado do Ceará possui 11,1 milhões de linhas móveis ativas, sendo substancialmente importante esse dado para justificar a implantação da ferramenta de Logística Reversa.

Considerações Finais

As baterias de telefone celular, ao fim da vida útil, são classificadas como resíduos perigosos devido à quantidade de metais pesados presentes em sua composição. Portanto, quando descartadas incorretamente como resíduo sólido comum, podem ocasionar a contaminação do meio ambiente.

O presente trabalho mostrou que as concentrações dos metais cádmio, cobre e níquel foram elevadas, e que a eficiência dos processos de reciclagem no Brasil não progrediu juntamente com o crescimento do consumo de equipamentos eletrônicos. Contudo, torna-se necessária a orientação e conscientização da sociedade quanto à destinação correta dos produtos obsoletos, pois os consumidores não conhecem ou ignoram os impactos negativos causados ao meio ambiente quando descartados como lixo comum.

A correta gestão ambiental dos resíduos eletroeletrônicos necessita, obrigatoriamente, de ações conjuntas das empresas, governos e sociedade, por meio da distribuição de urnas coletoras de fácil acesso, fiscalização e obrigação quanto à reciclagem e tratamento dos resíduos coletados, e conscientização ambiental da população. É importante destacar a implantação de sistemas de Logística Reversa como método eficaz no gerenciamento dos resíduos eletroeletrônicos, com o objetivo de minimizar a poluição e a contaminação do meio ambiente pelos metais pesados presentes nestes equipamentos.

Recomenda-se que o método discutido como ferramenta do sistema de Logística Reversa para as baterias de telefone celular obsoletas na Região Metropolitana do Cariri seja a estratégia adotada executando as devidas adaptações necessárias para sua implantação. Para garantir a qualidade ambiental necessária à nossa sociedade, deve-se efetuar o processo de Logística Reversa deste resíduo que será reincorporado ao processo produtivo, retornando ao mercado com sustentabilidade.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio e contribuição da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Universidade Regional do Cariri (URCA), pelo fomento do projeto FUNCAP - PPP e PIBIC/FUNCAP, PIBIC/CNPq e PIBIC/URCA.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**. Resíduos sólidos. Classificação. Rio de Janeiro-Brasil, 2004.

AMBIENTAL SUSTENTAVEL. [Poluição Ambiental por metais](http://ambientalsustentavel.org/2012/poluicao-ambiental-por-metais/). 2012. Portal Ambiental Sustentável. Disponível em: <<http://ambientalsustentavel.org/2012/poluicao-ambiental-por-metais/>>. Acesso em: 18 maio 2014.

ARAÚJO, M. G.; MAGRINI, A.; MAHLER, C. F.; BILITEWSKI, B. A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil. **Waste Management**, v. 32. p.335-342, 2012.

BRAGA JÚNIOR, S. S.; COSTA, P. REZENDE da; MERLO, E. M. Logística reversa como alternativa de ganho para o varejo: um estudo de caso em um supermercado de médio porte. In: IX Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais. São Paulo, 2006.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010.

CEMPRE - COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Reciclagem e Reinserção**. 2011. Portal da CEMPRE. Disponível em: <<http://cempre.org.br/descarte.php>>. Acesso em: 06 maio 2014.

CEMPRE. **Comitê de Eletroeletrônicos**. 2012. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br/ComiteEletronicos.php>>. Acesso em: 21 maio 2014.

CRETATEC. **Resíduos Elétricos e Eletrônicos**. 2010. Portal CRETA Tec. Disponível em: <http://www.cretatec.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=68:reee&catid=29:wiki-residuos&Itemid=78>. Acesso em: 13 maio 2014.

DYCKHOOF, H.; LACKES, R.; REESE, J. **Supply chain management and reverse logistics**. Berlin: Springer, 2004.

ECOTERRA. **Guia para coleta seletiva de pilhas e baterias**. 2000. Portal EcoTerra. Disponível em: <<http://www.ecoterrabrasil.com.br/home/index.php?pg=temas&tipo=temas&cd=159>>. Acesso em: 18 maio 2014.

ECOTUBI. **Resíduo eletrônico**. Disponível em: <<http://ecotubi.blogspot.com.br/2012/10/residuo-eletronico.html>>. Acesso em: 12 maio 2014.

ESPINOSA, D. C. R; TENÓRIO, J. A. S. **Reciclagem de baterias: análise da situação atual no Brasil.** Revista Brasileira de Ciências Ambientais. nº 2, 2005. Disponível em: <http://www.ictr.org.br/ictr/images/online/02_artigo_2.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2014.

FERREIRA, J. M. de B.; FERREIRA, A. C. A Sociedade da informação e o desafio da sucata eletrônica. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. VI, n. 3. P. 157-170, 2008.

FLORESTANET. **Consumo de eletroeletrônicos cresce 14% em 2011.** 2012. Disponível em: <http://www.florestanet.com.br/economia/id5358/consumo_de_eletroeletronicos_cresce_14_em_2011>. Acesso em: 6 abr. 2014.

G1. **'Dez mandamentos' reduzem lixo eletrônico.** 2007. Portal da Globo. Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/Tecnologia/0,,MUL87082174,00DEZ+MANDAMENTOS+REDUZEM+LIXO+ELETRONICO.html>>. Acesso em: 03 jun. 2014.

GARCÉS, D.; SILA, U. **Guía de contenidos legales para la gestión de los residuos electrónicos.** Centro de Derecho Ambiental. Universidad de Chile. 2010. Disponível em: <http://www.lixoelectronico.org/system/files/guia_legal_raee.pdf>. Acesso em: 10 maio 2014.

GREENPEACE. **Metais pesados: contaminando a vida.** 2007. Disponível em: <http://www.greenpeace.org.br/toxicos/?conteudo_id=818&sub_campanha=0&img=15>. Acesso em: 18 maio 2014.

GUANABARA, D. **Um breve olhar jurídico sobre responsabilidade compartilhada e logística reversa dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos.** 2010. Disponível em: <<http://lixoelectronico.org/blog/um-breve-olhar-juridico-sobre-responsabilidade-compartilhada-e-logistica-reversa-dos-residuos-d>>. Acesso em: 29 maio 2014.

LEITE, P. R. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade.** São Paulo: Editora Prentice Hall, 2003.

_____. _____. 2. ed. São Paulo: Editora Pearson Prentice Hall, 2009.

NOVAES, Antonio Galvão. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição.** Rio de Janeiro: Campus. 2004.

OLIVEIRA, A. A. de; SILVA, J. T. M. **A Logística Reversa no Processo de Revalorização dos Bens Manufaturados.** [2005]. Disponível em: <<http://periodicos.unifacef.com.br/index.php/rea/article/view/191/43>>. Acesso em: 4 maio 2014.

REVISTA OPCIONS. **Els ordinadors.** p. 5-21, 2003. Disponível em: <<http://cric.pangea.org/pdf/op62.pdf>>. Acesso em 03 mai. 2014.

RODRIGUES, A. C. **Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos: Alternativas de Política e Gestão.** 2003. Dissertação Apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção. Piracicaba: UNIMEP, 2003.

RODRIGUES, S. C.; PEIXOTO, J. A. A.; XAVIER, L. de S. **Gestão sustentável de resíduos industriais: um exemplo de cadeia verde de suprimentos no setor de reciclagem.** In: VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Rio de Janeiro, agosto, 2011.

SARAIVA, A. L. **Construindo a sustentabilidade a partir da logística reversa dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos - REEE's e o impacto socioambiental desta ação.** In: II Seminário Internacional Sobre Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos. Recife. 2012.

SILVA FILHO, J. C. L.; CANTALICE, F. L. B. de M.; BARBOSA JUNIOR, C. D. S. C.; ABREU, M. C. S. de. **Proposta de categorização dos estudos de logística reversa através de uma análise longitudinal da produção científica entre 2003 e 2009.** Rev. Ciênc. Administração. Fortaleza, v. 17, n. 3, p. 856-882, set./dez. 2011.

SINGH, A.; LOU, H. H.; YAWS, C. L.; HOPPER, J. R.; PIKE, R. W. **Environmental impact assessment of different design schemes of an industrial ecosystem.** *Resources, Conservation and Recycling.* v. 51, 2, p. 294-313, 2007.

SOUZA, M. T. S. de; SANTOS, C. C. dos; LIMA, M. do C. F. **Um estudo sobre o impacto ambiental da inovação tecnológica no setor de telecomunicações.** *Universidade Positivo,* 2007. Disponível em: <<http://pgamb.up.edu.br/arquivos/engema/pdf/PAP0232.pdf>>. Acesso em: 03 maio 2014.

WOLFF, E.; CONCEIÇÃO, S. V. **Resíduos sólidos: a reciclagem de pilhas e baterias no brasil.** [2003]. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2001/TR104_0146.pdf>. Acesso em: 03 maio 2014.