

DESENVOLVIMENTO DE PROTOCOLO PARA RECICLAGEM DE APARELHOS CELULARES E DE TELECOMUNICAÇÃO¹

Ingrid Elen Pinto e Souza²

Bruna Luíza dos Santos²

Laís Henriques Figueiredo Coura Ferreira²

Michelle Cristiane da Silva Duarte³

Sidney Nicodemos da Silva⁴

Resumo

No mundo 40 milhões de toneladas de rejeitos eletrônico são produzidos anualmente, dos quais 60% são oriundos de países subdesenvolvidos. Entretanto, não existe um protocolo em muitos países para reciclagem desses resíduos sólidos (principalmente de aparelhos telecomunicação) ou quaisquer regulamentações internacional sobre o assunto. O Brasil juntamente com BRICS tem uma das maiores produção per capita de rejeitos de aparelhos celulares — em média de 0,1 kg/ano/pessoa. No país, atualmente, estão em circulação cerca de 263 milhões de celulares, dos quais menos de 3% passam por algum processo de reciclagem (basicamente carcaças e baterias, quanto aos demais componentes são enviados para fora do país). Ou seja, são recicladas menos de 700 toneladas de um total de mais de 23,5 mil toneladas de aparelhos por ano. Neste trabalho foi identificado que em média os aparelhos celulares são compostos por cerca de 50% de plásticos, 30% de metais, 10 % de vidros e/ou materiais cerâmicos, 9% de eletrodos da bateria, 0,1% de materiais preciosos, 0,9% de outros não metais. Buscou-se ainda neste trabalho a criação de uma rota tecnológica para reciclagem adequada aos padrões brasileiros, com o uso de carvão/acetona e nitrogênio líquido, bem como a caracterização físico-química dos componentes das baterias dos aparelhos celulares (DRX, EDS e MEV).

Palavras-chave: Celular; Caracterização; Reciclagem.

DEVELOPMENT OF PROTOCOL FOR RECYCLING APPARATUS AND CELLULAR TELECOMMUNICATION

Abstract

In the world 40 million tons of electronic waste are produced annually, of which 60% are from developing countries. However, there is a protocol in many countries for recycling of such waste (mainly telecommunication equipment) or any international regulations on the subject. The Brazil has BRICS along with one of the highest per capita production of waste of handsets - an average of 0.1 kg/year/person. The country currently in circulation are about 263 million mobile, of which are less than 3% for a recycling process (basically casings and batteries, as the other components are shipped out of the country). It are recycled least 700 tons of a total of over 23,500 tons per year of devices. This work has been identified that on average the handsets are composed of approximately 50% plastic, 30% metal, 10% glass and / or ceramic materials, 9% of battery electrodes, 0.1% precious metals, 0.9% other non-metals. We sought to further this work to create a technological route for proper recycling to Brazilian standards, with the use of coal and liquid nitrogen, and the physicochemical characterization of the components of the batteries of mobile devices (XRD, EDS and SEM).

Keywords: Cell phone; Characterization; Recycling.

¹ *Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Discente de Engenharia de Materiais pelo CEFET-MG. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.*

³ *Doutoranda em Engenharia Metalúrgica pela UFMG. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.*

⁴ *Pós-doutor em Engenharia de Materiais-Biomateriais pelo CEFET-MG Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Os aparelhos celulares vêm se tornando um bem de consumo corriqueiro e de alcance a todas as classes sociais. No Brasil, por exemplo, em 2005, 35% da população possuía telefone celular, já 2008, mais da metade da população brasileira (54% ou 89 milhões de pessoas) possuíam telefones celulares, indicando que em 3 anos o número de pessoas que passaram a utiliza-se de celulares teve um crescimento de 55%, de acordo com dados do IBGE.⁽¹⁾ Em 2012, a Abinee⁽²⁾ reporta que o uso da telefonia móvel é de 133,3 acessos por 100 habitantes, com um turnover médio de 36 meses desses aparelhos, advertindo aos órgãos homologadores do enorme crescimento no número de linhas móveis e/ou aparelhos por habitante, e, por conseguinte seu impacto ao meio ambiente. Estes números confirmam que o setor de telecomunicação vem se tornando gerador de grandes volumes de resíduos sólidos e efluentes.

Mostrando que este problema é também mundial, em 2012 a *International Labour Office* (ILO)⁽³⁾ estima que o número de aparelhos celulares possa chegar hoje a 4,6 bilhões indicando que cerca de 2/3 da população mundial possui telefones móveis. A explosão no número de aparelhos vem ocorrendo principalmente no Brasil, Índia, China e Rússia. Cerca de um terço dos celulares em todo mundo estão nesses países. Juntas, essas nações devem somar 1,5 bilhão de usuários de celulares este ano, sendo que 650 milhões estão na Índia. Um dado preocupante é que há dez anos, o mundo contava com aproximadamente 500 milhões de celulares. A OLI⁽³⁾ destaca, entretanto, que o número é de linhas, e não de pessoas, e que por isso pode haver duplicidade, na medida em que alguns clientes possuem mais de um celular (ou chips por aparelho), enquanto outros podem dividir uma única linha com outro usuário, tal qual Matuano et al.⁽⁴⁾

Em 2011, assim como relata Ferreira, Silva e Galdino,⁽⁵⁾ a produção nacional foi estimada em 65 milhões de unidades de aparelhos, sendo vendidos no mercado interno aproximadamente 58 milhões de telefones móveis com a importação de outros 15,7 milhões, totalizando um consumo no país da ordem de 74 milhões de novos aparelhos. Já as exportações desses aparelhos foram de apenas 7,4 milhões, ressaltando um déficit comercial expressivo nesse setor.

E acrescenta que um dos fatores contribuinte para o aumento do número de telefones celulares são as inovações tecnológicas (internet wi-fi, câmaras frontal e traseira, aplicativos para inúmeras funções) que surgem com frequência incentivando o consumismo. Assim os mesmos serão dados por obsoletos um dia e substituídos, agravando a preocupação com o descarte inadequado do chamado e-lixo (correspondente a 5% do lixo mundialmente produzido), pois os eletrônicos detêm substâncias tóxicas e metais preciosos que podem ser recuperados e passados por reprocessamento ou reciclados.

Ferreira, Silva e Galdino⁽⁵⁾ enfatizam que neste cenário que foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010), estabelecendo que devam ser elaborados programas de tratamento ou condicionamentos dos resíduos pelos fabricantes, estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços que gere esses resíduos que pela natureza, composição ou volume. Pesquisas apontam que no Brasil 2,6 Kg de lixo eletrônico é produzido anualmente por habitante. Esse fenômeno está relacionado à falta de informação ou procedimentos para coleta e destinação corretas destes aparelhos, onde cerca de 2% é descartado de forma correta e passa por um processo manufaturado de separação dos componentes (carcaça polimérica, placa de circuito impresso, tela de cristal líquido e bateria) para ser exportado para onde

possam ser reciclados- Bélgica, Alemanha, Canadá e Japão-, enquanto o restante é estocado em países Africanos e outros países em desenvolvimento.

Logo, para Bocchi, Ferracin e Biaggio,⁽⁶⁾ com o crescente número de aparelhos celulares, aumenta também o número de baterias. As mais utilizadas para esses eletrônicos são as de íon-lítio, pois não possuem lítio metálico em sua composição, apenas íons de Li.

Baterias podem ser classificadas de duas formas distintas, sendo elas: baterias primárias: utilizadas uma vez, e baterias secundárias: passam por processo de recarga, como as de celulares.

Bocchi, Ferracin e Biaggio,⁽⁶⁾ esclarece que o anodo é geralmente composto de grafite, por ser lamelar e ser capaz de armazenar, de forma reversível, os íons de lítio entre suas camadas de carbono sem que a sua estrutura seja alterada. Enquanto o catodo é composto por óxidos como LiCoO_2 , LiNiO_2 ou LiMnO_2 .

Enquanto que o eletrólito é uma mistura composta em parte por solventes orgânicos apróticos (PC, EC, EMC, DMC, DEC) - ajudam na condução de íons e minimiza a formação de interface sólido-líquido - e em parte por sais de lítio (LiClO_4 , LiPF_6). Devido as boas condutividade e estabilidade térmica, o etileno carbonato (EC) e o propileno carbonato (PC) são os compostos mais utilizados no eletrólito. Porém são tóxicos e inflamáveis e os sais de lítio reagem facilmente com o ar formando gases poluentes, às palavras de Peres e Bertuol.⁽⁷⁾ O que justifica o problema do descarte inadequado das baterias.

A meta desta pesquisa é contribuir, primeiramente, com melhoria/criação de um protocolo na reciclagem das baterias dos aparelhos celulares a partir da revisão bibliográfica realizada. Isto é, melhor obtenção do eletrólito, de modo que não haja perdas para a atmosfera. Assim, ocorrerá a inertização do eletrólito para a abertura da bateria, a utilização de bomba de vácuo para extração do gás e a filtragem do gás por carvão (pó) de alto forno (outro resíduo que poderá ser reaproveitado).

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletados 223 celulares e 138 (cento e trinta e oito) baterias. Os celulares foram separados e classificados por marca e modelo- de acordo com seu designer e fabricante. Os 4 (quatro) componentes separados: carcaça, circuito impresso, display e baterias foram desmontados manualmente e pesados. As baterias foram separadas e classificadas dentro das especificações do fabricante (marca e modelo, tipo etc.) e pesadas com uma balança de precisão. Entretanto, para a caracterização físico-química e o diagnóstico dos resíduos foram utilizados apenas dois tipos de bateria.

2.1 Abertura de Baterias

Neste estudo foi conduzido um levantamento da composição química e dos componentes das baterias recarregáveis de íon lítio. Entre as baterias descartadas optou-se por utilizar duas das mais comuns (Nokia BL- 5C e Nokia BL-5B), como amostragem do peso ponderado e dos elementos químicos constituintes dos catodos, anodos, material eletrolítico, separadores e polímeros.

Verificou-se a ausência de carga das baterias com o auxílio de um voltímetro (modelo CE: DT- 830D), antes da abertura das baterias. Conforme recomendado por Peres e Bertuol⁽⁷⁾ e Chagas et al.,⁽⁸⁾ mergulhou-se as baterias, ainda fechadas, em nitrogênio líquido (-196°C) para que o eletrólito fosse congelado. A motivação foi evitar que gases tóxicos e muito voláteis fossem liberados no ambiente. Se abertas na

temperatura ambiente podem liberar grande quantidades de etileno ou propileno (que possui respectivamente temperatura de fusão da ordem de 36°C e $-49^{\circ}\text{C}^{(1)}$), assim com o congelamento do eletrólito é possível ter-se maior segurança no procedimento. Tão logo, cada bateria atinge-se o equilíbrio térmico no nitrogênio líquido, foi iniciado o processo de corte do invólucro metálico com uma guilhotina (Peck, Stow & Wilcox Co. Modelo: U-136-D), onde foram feitos três cortes, sendo: dois cortes transversais e outro corte longitudinal com o objetivo de expor os componentes e facilitar a abertura. Retirada do controle criogênico acelerou-se a evaporação do eletrólito (etileno e propileno). À temperatura de 37°C de cinco em cinco as baterias abertas foram colocadas em um recipiente hermético ligado a uma coifa acoplada à uma bomba de vácuo (Figura 1). Os gases do eletrólito foram arrastados passando através de um filtro de carvão e em seguida borbulhados em uma solução de acetona e fosfato de cálcio sendo adsorvidos (tanto pelo carvão quanto pela solução).

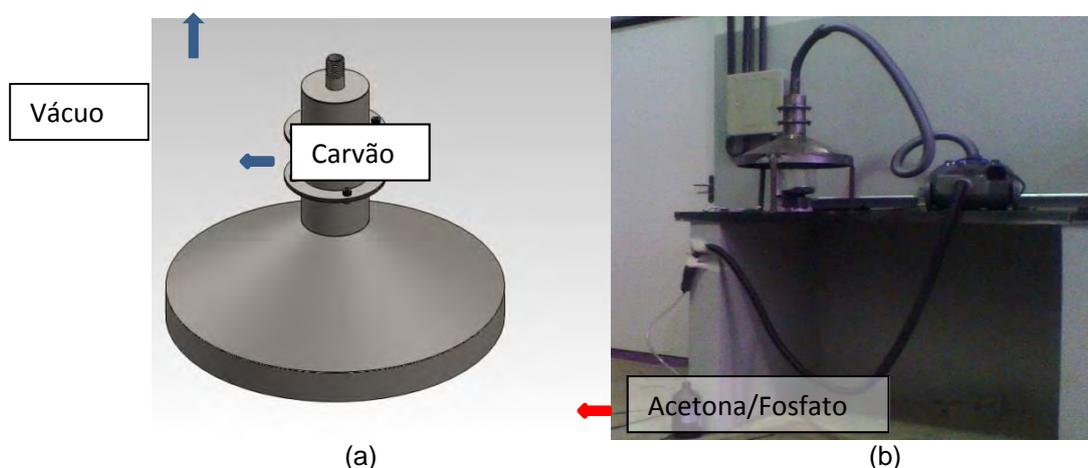


Figura 1: (a) Coifa com o carvão; (b) Sistema de vácuo com absorvedores dos eletrólitos.

Logo em seguida, os componentes das baterias foram separados e analisados buscando forma de recicla-los (Figura 2). Os componentes foram separados e classificados como: carcaça externa, separadores, blindagem metálica, conectores (placas de circuito impresso e reles de carga), polímeros, eletrodo positivo ou catodo (folha de alumínio), eletrodo negativo ou anodo (folha de cobre) e eletrólito em um meio ativo (pó de carvão).

Em seguida as baterias foram abertas em com o auxílio de uma guilhotina numa capela de fluxo ligada a filtros de carvão em pó com tamanho médio de $37\ \mu\text{m}$, e solução de acetona com fosfato de cálcio. Posteriormente, foram separadas suas partes internas (Figura 2-c).



Figura 2: (a) Baterias imersas em nitrogênio líquido; (b) Corte longitudinal de uma bateria. (c) papéis separadores (1^o e 3^o de acima para baixo), Ânodo (Cu) e Cátodo (Al).

2.2 Identificação do Catodo

Com as baterias já secas, os componentes das mesmas foram separados manualmente e classificados, resultando nas seguintes partes: invólucro metálico, eletrodos (positivo e negativo), eletrólito em solução e polímero separador. Para confirmar os elementos químicos dos catodos das baterias desmontadas foram realizadas medidas por MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura - Shimadzu modelo SSX-550 Superscan), EDS (Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raios X) e DRX (difração de raio - X - Shimadzu modelo XRD 7000).

3 RESULTADOS

3.1 Pesagens dos Celulares e das Baterias

Nos lotes de celulares estudados não possuía smartphone. Foram classificados em 4 lotes por suas características/modelo: os modelos mais simples, os com flip, os com câmera e os que denominamos de "Siemens e Motorola" por possuírem designer e funcionalidade muito semelhantes (Tabela 1).

Tabela 1: Classificação e pesagem, em gramas, do lote de celulares + baterias

Lotes de Celulares	Massa Total	Numero de Aparelhos	Massa média por Aparelhos
I) Modelo com flip	1495,2	15	99,68
II) Modelo simples	6997,3	84	83,3
III) Modelo com câmera	6817,5	70	97,4
IV) Modelos Siemens e Motorola	4591,0	54	85,0
TOTAL	19901,0	223	89,2

A seguir as baterias foram separadas por marca, modelo e tipo de celular encontradas e pesadas para a obtenção de peso em porcentagem no total. A Tabela 2 apresenta a classificação e contagem das baterias por tipo de celular, marca da bateria e o modelo da bateria.

Então, após a classificação as mesmas foram pesadas por modelos de celulares, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 2: Classificação e contagem das baterias por tipo de celular, marca da bateria e o modelo da bateria

Modelo do celular	Marca da bateria	Modelo da bateria	Número de baterias
De flip	Nokia	BL-4C	13
De flip	Motorola	-	1
De flip	LG	BSL-21G	1
Simples	Nokia/Sony Ericsson	BL-4C/ BST-30	81
Simples	Gradiente	BS-800	1
Simples	LG	LGTL-GBIP-830	1
Simples	Nokia	BMC-3	1
Com câmera (I)	Nokia	BL-5C	
Com câmera (II)	Nokia	BL-5B	(I)+(II) = 69
Siemens e Motorola	Siemens	V30145-K1310-X215	3
Siemens e Motorola	Motorola	SNN5749A	51
TOTAL	-	-	138

Tabela 3: Peso, em gramas, da baterias ainda fechada

Modelo Bateria	Massa Total	Massa Média/Bateria
Modelo com flip	269,3	19,2 (14)
Modelo simples	1901,6	22,6 (84)
Modelo com câmera	1412,9	20,5 (89)
Modelos Simens e Motorola	1325,2	24,5 (54)
TOTAL	4909,0	22,2 (221)

Segundo dados da Anatel⁽⁹⁾ o Brasil terminou Fev/13 com 263 milhões de celulares, o que indica em média 1,33 cel/hab. A grande preocupação é este dado representa um volume total reciclável superior a 23,5 mil toneladas em aparelhos e 5,9 mil toneladas de baterias. Em reunião da IOL⁽³⁾ em Genebra/Suíça (out/2011), o país se comprometeu incluir as seguintes questões na gestão nacional de resíduos:

- “se não há uma forma de gestão nacional de resíduos de equipamentos eletrônicos de telecomunicações em seu país, quais são os fatores (excetuando-se os políticos) que impedem a criação dessa gestão;
- haveria infra-estrutura disponível para o sucesso de uma gestão nacional de resíduos de equipamentos eletrônicos usados em telecomunicações em seu país. Exemplo: espaço físico, recursos humanos e financeiros, tecnologia, etc”.

No país, entretanto, acredita-se que menos de 3% dos resíduos de telecomunicação sofrem algum processo de reciclagem (basicamente carcaças ou baterias), o restante dos demais componentes (display e placas de circuitos impressos) que eventualmente foram recolhidos são enviados para o Canadá ou Bélgica. Neste trabalho identificou-se que em média os 4 modelos de aparelhos celulares são compostos por aproximadamente 50% de plásticos, 30% de metais, 10 % de vidros e/ou materiais cerâmicos, 9% de eletrodos da bateria, 0,1% de materiais preciosos, 0,9% de outros não metais.

3.2 Identificações dos Eletrodos e Materiais Ativos da Bateria

Após a abertura das baterias e secagem em câmara de vácuo por 10 (dez) minutos, seus componentes foram separados e levados para a caracterização no MEV (Figuras 3 e 4).

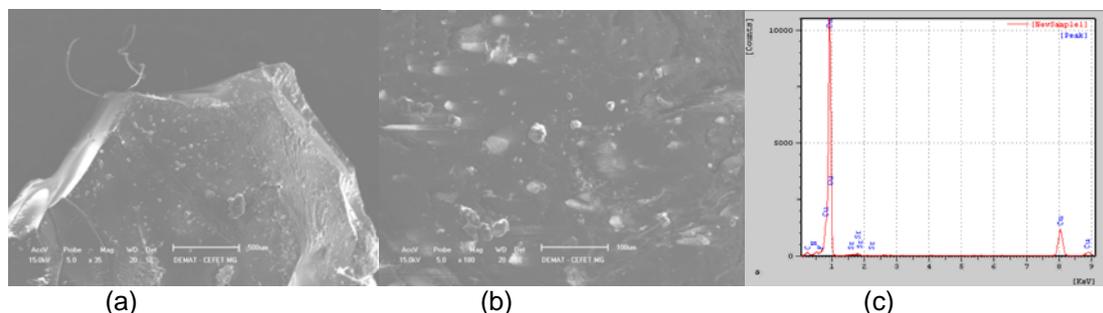


Figura 3: Foto micrografia da amostra do ânodo (a) Aspecto de uma fratura de uma das bordas do eletrodo negativo ou ânodo; (b) Detalhe da superfície do ânodo; (c) análise de EDS do ânodo (Cu).

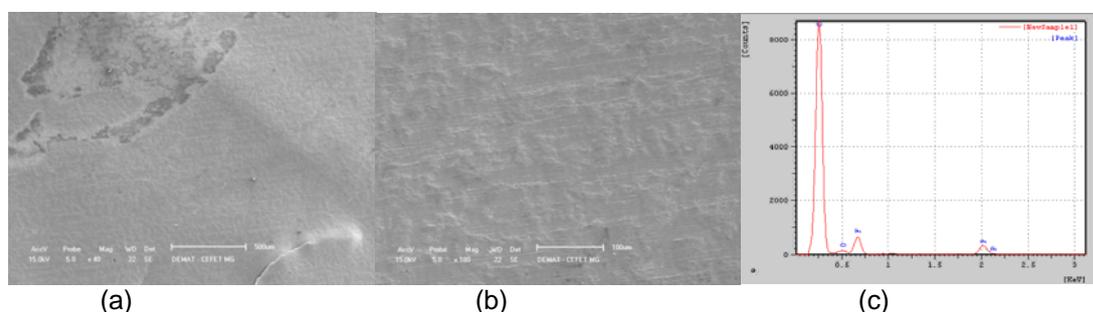


Figura 4: Foto micrografia da amostra do cátodo (a) Aspecto geral do eletrodo positivo; (b) Detalhe da superfície do cátodo; (c) análise de EDS do cátodo (Al).

Ao abrir a bateria, foi possível visualizar cada um dos seus constituintes. Ânodo (Cu) e cátodo (Al) encontram-se, enrolados e separados pelo separador de papéis adesivo, sob forma, de uma bobina, e submersos em um líquido viscoso (eletrólito de cor escura). Os eletrodos são compostos por uma folha de alumínio e cobre, respectivamente, nas quais são colados aos seus materiais ativos na forma de pó (Figura 5).

Os anodos e catodos são constituídos além de Cu e Al, respectivamente, também de níquel, ferro e pequenas frações de outros elementos.

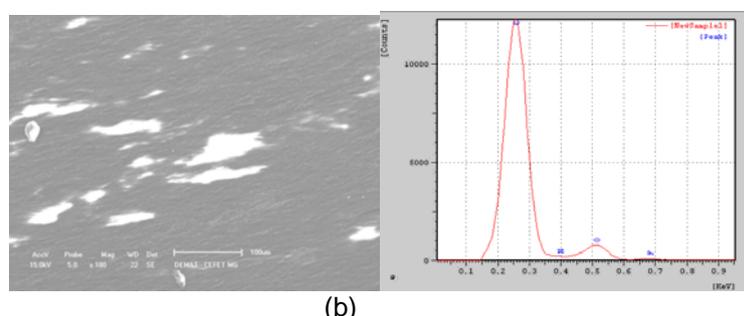


Figura 5: (a) Amostra do pó ativo do cátodo seco (LiCoO_2) obtida pelo MEV; (b) Análise de EDS (Li e Co).

A fração em peso dos materiais ativos das baterias (eletrólito, cátodo e ânodo) varia em torno de 70% do seu peso total (o restante é constituído por carcaça, circuitos impressos, conectores e separadores). Deste percentual da ordem de 12% em peso

são os eletrodos de Cu ou Al, a maior parte é material particulado ativo do cátodo cerca de 30% (lítio e cobalto) e do ânodo (lítio, flúor e fosforo) aproximadamente 18% e o restante (~10%) é eletrólito. A faixa de tamanho do material ativo particulado seco tanto dos catodos quanto dos anodos das baterias varia de 10 a 200 microm.

A DRX o material ativo catodo mostrou a presença majoritária de LiCoO_2 e no ânodo de majoritariamente grafita e LiF.

Com relação ao eletrólito estudos anteriores mostram que as baterias comerciais apresentam predominância de carbonatos orgânicos (e.g.; etileno, etil-metil, dimetil e dietil) usados como eletrólito, e definidos como etileno carbonato ou EC (ponto de fusão 36°C e ebulição 261°C) e propileno carbonato ou PC (ponto de fusão -49°C e ebulição 243°C).

3.3 Adsorção do Eletrólito no Carvão

3.3.1 Adsorção do solvente orgânico das baterias Li-Ion

Primeiramente foram realizados testes iniciais de adsorção com compostos com características semelhantes aos dois carbonatos presentes no solvente, utilizando a sequência de carvão e suspensão de acetona/fosfato de cálcio. Posteriormente foi feita uma tentativa de quantificar a adsorção do solvente das baterias Li-Ion. Os dois tipos de baterias, de cinco em cinco, em dois ciclos consecutivos, foram pesadas ainda fechadas e após abertas (Tabela 4).

Tabela 4: Pesagem das baterias utilizadas, em gramas

Número do processo	Fechadas	Abertas	Diferença
1º Ciclo	105,15	104,00	1,15
2º Ciclo	105,32	104,47	0,85

A quantidade de carvão pulverizado foi medida de forma que preenchesse o recipiente de filtração.

Tabela 5: Pesagem do carvão pulverizado, em gramas

Número do processo	Antes	Depois	Diferença
1º Ciclo	68,21	68,60	0,39
2º Ciclo	68,05	68,50	0,45

Em ambos os resultados (Tabelas 4 e 5) observa-se que houve adsorção do eletrólito no processo de passagem pelo carvão. No primeiro ciclo cerca de 1,1% do material volátil foi retirado, e apenas 0,6% ficou retido no carvão. Enquanto que no segundo ciclo do processo 0,8% do gás foi retirado e 0,7% ficaram retidos no carvão. Isto somado equivale que nos dois ciclos com a mesma massa de carvão utilizada foram adsorvidos $2,0 \times 10^{-3} \text{Kg}$.

Após aquecimento do material particulado ativo do cátodo e do ânodo até $270^\circ\text{C}/5$ minutos chegou a perda média de $(10 \pm 2)\%$ do eletrólito.

Chegou-se a conclusão de que o método com separação em fase gasosa apresenta um rendimento satisfatório e seguro, para a recuperação do solvente das baterias de Li-Ion. No entanto, seriam necessários mais estudos para otimização da cinética de adsorção e levantamento da saturação deste processo usando pós e colóides carvões, especialmente para comparação com uma coluna de adsorção com leito fixo de carvão ativado.

3.4 Solubilizações do Eletrólito em Acetona/fosfato de Cálcio

Assim este composto foi utilizado para solubilização do eletrólito em 10 minutos por ciclo. Para estes testes foi utilizada uma suspensão (890 ml de acetona, 100 ml de H₂O e 10 g de HA) em uma garrafa para fazer a solubilização dos EC e PC, na temperatura. Após a adsorção com carvão uma bomba de vácuo fazia os gases passar pela suspensão (borbulhamento) como pode ser observado na Figura 1b.

A acetona em uma suspensão de fosfato de cálcio em água destilada. A acetona por ser um composto orgânico muito utilizado como solvente (inflamável, e também por ter uma ligação dupla carbono-oxigênio bem como os carbonatos presentes no eletrólito, enquanto o fosfato de cálcio (hidroxiapatita ou HA) tem grande afinidade de composto orgânicos e atua com absorvedor seletivo para uma grande quantidade de macromoléculas e carbonatos.

Assim este vidro de acetona contendo hidroxiapatita dissolvida em água foi utilizado do processo de filtragem.

Tabela 5: Pesagem da acetona com hidroxiapatita, em gramas

Número do processo	Antes	Depois	Diferença
1° Ciclo	1189,84	1116,04	(73,80)
2° Ciclo	1114,84	1013,22	(101,62)

Os resultados demonstram que uma quantidade considerável de solvente orgânico presente nas baterias Li-Ion e, sobretudo, também na suspensão foram adsorvidos e/ou evaporados. Contudo, a reatividade do fosfato de cálcio relatada na literatura nos levam a crer que, mesma na temperatura ambiente, possa ter havido o craqueamento catalítico do etileno e/ou propileno, decompondo-os em composto orgânico de peso molecular menores do que dois carbonatos (eletrólito). Além da capacidade de adsorção ou trocas iônicas na superfície das partículas de HA.

Foi utilizada a acetona devida suas características estruturais de ligação dupla carbono-oxigênio, o que também ocorre nos carbonatos da mistura do solvente (mostrando afinidade por trocas iônicas). A partir dos resultados obtidos na secagem em forno (270°C/5 minutos) do solvente nas baterias Li-Ion, se espera que a adsorção do eletrólito fosse de aproximadamente 10% da massa total da bateria. No entanto (1° ciclo), foi de apenas 1,15 g no peso total de 5 baterias, ou seja, 0,39 g ficaram adsorvidos no carvão e restante na suspensão de acetona.

Na abertura das baterias, pode-se sentir o odor característico da formação de subprodutos a partir das reações do solvente com água, pois os carbonatos das baterias Li-Ion reage rapidamente com a umidade do ar.

Esses produtos da reação (solvente/umidade) são muito voláteis e reativos, a quantidade de carvão utilizado na adsorção e/ou a temperatura do sistema (37°C) podem ter sido insuficientes para promover a adsorção do solvente das baterias, explicando em parte o baixo rendimento da adsorção. Outra observação foi que o odor característico não foi identificado após a sequencia carvão/suspensão de acetona, ou seja, mesmo que tenha tido a saturação do carvão não ocorreu a liberação dos subprodutos do solvente ao serem evaporados da garrafa com a suspensão.

4 DISCUSSÃO

O Brasil deve terminar a década como o terceiro ou quarto país em número de celulares, o que aumenta a preocupação com a baixa reciclagem dos mesmos. A Europa hoje recicla 40%, e devera até a metade da década estar reciclando cerca 60% do volume total de aparelhos e baterias. Os compromissos e metas assumidos pelo país junto a *International Labour Office* (ILO)⁽³⁾ tornam a questão estratégica para a gestão de resíduos no país.

Como identificado neste trabalho um protocolo simples de coleta e destinação já permitiram o país reciclar uma parcela razoável dos aparelhos celulares (percentual em massa), pois são materiais de manipulação fácil e transformação simples em matéria-prima de 2^a geração, dentre eles: plásticos (~50% do peso total), vidros (display) e/ou materiais cerâmicos ativo seco catodos/anodos das baterias (~10%), metais (Cu e Al) dos eletrodos da bateria (~3%), quantos aos demais seriam necessários mais estudos para aprimoramento de rotas de beneficiamentos dos resíduos (transformação em co-produtos).

Em média as baterias representam 25% do peso do celular, sendo a fração dos materiais ativos das baterias responsável por cerca de 17,5% do peso total do aparelho, o restante carcaça, circuitos impressos, conectores e separadores não são tão impactantes ao meio ambiente. A maior preocupação ambiental deveria ser primeiramente quanto ao material particulado ativo do cátodo que representa cerca de 30% (lítio e cobalto), em seguida ao material particulado ativo do ânodo (lítio, flúor e fosforo) com aproximadamente 18%, e por fim eletrólito (~10%).

Pode-se verificar que a quantidade de solvente orgânico presente em média em uma bateria de Li-Ion é considerável já que corresponde de 8 a 12 % do peso total da bateria. Portanto, é imprescindível estudar alguma forma de diminuir a emissão deste solvente dado seu potencial de toxicidade e inflamabilidade.

Observou-se que houve uma redução média de 0,42% na adsorção no carvão o que corresponde à quantidade de eletrólito presente, e de 2,0 g em relação ao peso das baterias.

5 CONCLUSÃO

Buscou-se ainda neste trabalho a criação de uma rota tecnológica para reciclagem adequada aos padrões brasileiros. Foram quantificados em peso cada macrocomponente (carcaça, display, circuito impresso e baterias) dos aparelhos celulares convencionais atualmente em uso no país.

Foi investigada uma rota de reciclagem segura para as baterias, com o uso de carvão/acetona e nitrogênio líquido, bem como a caracterização físico-química dos seus componentes. Novos estudos deverão ser conduzidos com o carvão de re-uso (siderúrgico), bem como o aprofundamento do entendimento dos fenômenos de craqueamento do etileno, em associação ao processo de adsorção.

Como proposta futura, será padronizado o processo de desmonte das baterias e celulares de modo a se conceber uma máquina que se aplique o processo de modo automatizado, gerando menos gases poluentes na atmosfera, devido ao uso crescente, e descarte inadequado dos resíduos eletrônicos, sobretudo de celulares e baterias.

Agradecimentos

A empresa Ecológica, de Ipatinga, por nos fornecer o material necessário para a pesquisa.

Ao CNPq, por ter possibilitado e financiado esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 1 INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Acesso à Internet e Posse de Telefone Móvel Celular para Uso Pessoal: Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - 2008**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/acessoainternet2008/internet.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2013.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **Panorama Econômico e Desempenho Setorial – 2012**. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/panorama.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2013.
- 3 ILO (International Labour Office). **"The global impact of e-waste: Addressing the challenge"** Geneva: ILO, 2012, FOLDER.
- 4 MANTUANO, D. P. et al. Pilhas e baterias portáteis: legislação, processos de reciclagem e perspectivas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. N. 21, set. de 2011.
- 5 FERREIRA, D. C.; SILVA, J. B.; GALDINO, J. C. S. **Reciclagem de e-lixo (ou lixo eletrônico)**. Rio Grande do Norte: IFRN, [2010 ou 2011].
- 6 BOCCHI, N.; FERRACIN, L. C.; BIAGGIO, S. R. Pilhas e Baterias: Funcionamento e Impacto Ambiental. **Química Nova na Escola**, n. 11, maio, 2000.
- 7 PERES, Andrzejewski Bruno; Bertuol, Daniel Assumpção. **Reciclagem de baterias de íons de lítio de aparelhos celulares: recuperação do solvente orgânico do eletrólito através da adsorção em carvão ativado**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, Santa Maria, v. 5, n. 5, p. 850-856. 2012.
- 8 CHAGAS, Luciana Gomes; Scarminio, Jair; Marquer, Lucas; Urbano, Alexandre. **Desmonte individualizado de baterias recarregáveis de telefones celulares para fins de reaproveitamento e reciclagem**. In: XVIII EAIC 10., 2009, Londrina. Anais... Rio Grande do Sul: UEL, 2012.
- 9 TELECO. **Estatísticas de Celulares no Brasil**. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/ncel.asp>>. Acesso em 15 de mar. 2013.