

Uma Contribuição ao Ecodesign: Metodologia para Avaliação e Seleção de Células de Baterias de NiMH, Visando o seu Reuso

E.L. Schneider^a, W. Kindlein Jr.^a, S.S. Souza^a, C.F. Malfatti^b

^aedu.ufrgs@gmail.com

^a Laboratório de Design e Seleção de Materiais, Departamento de Engenharia,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

^b DEMET-PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil

Resumo

A popularização de aparelhos eletrônicos portáteis e a produção cada vez mais crescente dos mesmos têm aumentado o uso de baterias recarregáveis. Estas, muitas vezes são descartadas antes mesmo do término de sua vida útil, gerando com isso, um grande desperdício de material, de recursos naturais e uma contaminação do meio ambiente. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia de seleção e reuso de células de baterias de NiMH descartadas antes do final de seu ciclo de vida, ou seja, com potencial para utilização. Para isso, avaliou-se a capacidade e estimou-se o percentual dessas células que ainda estavam em boas condições operacionais quando as baterias eram descartadas. Os resultados mostraram que ao final do processo de seleção, uma considerável quantidade dessas células apresentou potencial de capacidade para reuso, sendo consideradas aprovadas para reuso aproximadamente 37% do total das células descartadas testadas. A metodologia apresentada neste trabalho mostrou que é possível estabelecer uma alternativa ambientalmente correta para diminuir a quantidade desse tipo de lixo eletrônico.

Palavras-chave: Reuso, Baterias de NiMH, Ecodesign.

An Ecodesign Contribution: Methodology for Evaluation and Selection of Cells of NiMH Batteries, Aiming at its Reuse

Abstract

The popularity of portable electronic devices and the ever-growing production of the same have led to an increase in the use of rechargeable batteries. These are often discarded even before the end of their useful life. This, in turn, leads to great waste in material and natural resources and to contamination of the environment. The objective of this study was thus to develop a methodology to assess and reuse NiMH battery cells that have been disposed of before the end of their life cycle, when they can still be used. For such, the capacity of these cells, which were still in good operating conditions when the batteries were discarded, was assessed, and the percentage was estimated. The results reveal that at the end of the assessment process, a considerable number of these cells still had reuse potential, with approximately 37% of all discarded and tested cells being approved for reuse. The methodology introduced in this study showed it is possible to establish an environmentally correct alternative to reduce the amount of this sort of electronic trash.

Keywords: Reuse, NiMH Batteries, Ecodesign

1. INTRODUÇÃO

Ações visando à sustentabilidade, tanto dos fabricantes quanto dos consumidores de produtos eletrônicos, são fundamentais para prevenir uma crise de lixo eletrônico. Os fabricantes de produtos eletrônicos deveriam considerar os passivos sócio-ambientais de sua produção e assumir a responsabilidade por seus produtos até o fim de sua vida útil. As pessoas podem fazer sua parte: pensando se realmente precisam de novo produto antes de comprar um; apoiando empresas que fazem produtos limpos; devolvendo os equipamentos aos fabricantes quando não precisarem mais deles.

Muitas empresas têm investido mais em propagandas sobre suas políticas de sustentabilidade através de um marketing “pseudoverde” do que em ações ambientalmente sustentáveis propriamente ditas. Além disso, estes fabricantes precisam projetar produtos limpos com uma vida útil mais extensa, fáceis de reciclar e que sejam seguros para

não expor trabalhadores e o meio-ambiente a elementos e substâncias perigosas.

Infelizmente, o que se observa é a falta de uma mentalidade verdadeiramente sustentável para lidar com esse entrave. No Brasil, é importante que a Lei de resíduos sólidos, que está em tramitação no congresso, exija que os fabricantes de produtos eletrônicos sejam responsáveis pelos seus produtos até a fase de descarte. Os consumidores também precisam fazer sua parte evitando o consumo desenfreado. Muitas pessoas compram novos produtos apenas para se sentirem felizes ou mostrarem para as outras que podem ostentar produtos de marcas caras.

De acordo com MANZINI [20], a intensificação da industrialização gerada pelo crescimento da demanda de bens e serviços aliados à explosão demográfica, a urbanização e modernização agrícola são alguns dos aspectos da evolução das sociedades humanas que resultaram em uma degradação ambiental desenfreada [18]. Esta maneira de inserção social deve-se ao apelo ao consumo que está em

toda parte, e representa uma “necessidade” das pessoas estarem no centro das atenções.

Segundo TONY FRY [11], a necessidade não pode ser vista como um objeto único. Ela pode dividir-se em outras categorias como: pobreza, fome, abrigo, segurança, desejos, vontades. As demandas humanas não se resumem apenas ao que o homem necessita para sobreviver, pois não há uma correspondência necessária entre as “necessidades” reais e as representações das “necessidades”. A “necessidade” é a realização do que é vital para que o sujeito humano possa “ser” [11].

As necessidades não podem mais se definir apenas como desejos inatos; elas são mais bem definidas como funções induzidas (no indivíduo) pela lógica interna do sistema, como uma força produtiva requerida para o funcionamento do sistema em si, pelo seu processo de reprodução e sobrevivência. Em outras palavras, só existem “necessidades” porque o sistema “necessita” delas. Este “sistema” é o desigual sistema sócio-cultural e econômico no qual todas as pessoas se encontram, independente de quem sejam ou tipo de vida levam.

O sistema de objetos requer que a “necessidade” seja desejada, e, assim, fabrica o desejo, o qual posteriormente irá satisfazer como sendo “necessidade” a ser preenchida pela entrega de commodities, que “necessitam” ser “preenchida”.

O fundamento para um questionamento moderno de “necessidade” deve ser encontrado na análise de época do capital. Segundo KARL MARX [20], a produção não apenas provê o material para a “necessidade”, mas também provê uma “necessidade” para o material. A “necessidade” que o consumo sente pelo objeto é criada pela sua percepção, a produção não apenas cria um objeto para o sujeito, como também um sujeito para o objeto [20].

O design, enquanto ação que transforma o artificial é sempre gerador de “necessidades”. Um dos pré-requisitos para evitar o aumento da crise ambiental, será uma reavaliação rigorosa das “necessidades” de consumo, e para que isto seja possível, a desconstrução das fundações aparentes das “necessidades” deverá tornar-se um fato largamente integrado ao pensamento do design.

A sociedade atual vive diante de um paradoxo que precisa ser resolvido em curto prazo. A produção crescente em um mercado que oferece equipamentos *high-tech* cada vez mais acessíveis (computadores mais velozes, telefones celulares com diversas utilidades, aparelhos de som, DVD's, televisores, entre outros) associada a um grande desperdício de recursos naturais e à contaminação do meio ambiente causada pelo próprio processo de produção destes equipamentos e pelo rápido descarte dos mesmos.

Seja devido a sua rápida obsolescência ou por estarem danificados, os aparelhos eletrônicos têm sido dispostos em aterros sanitários ou outros locais inadequados onde as formas de reaproveitamento dos mesmos são rudimentares e precárias. Associado a isso, uma não efetiva política de regularização destes resíduos faz com que as reais necessidades de preservação ambiental não sejam atendidas, causando danos à saúde humana, inclusive nos países considerados desenvolvidos [11].

Faz-se ao descrito anteriormente para que ocorra um futuro com melhor qualidade de vida, devemos considerar os preceitos do Ecodesign, como técnica para o projeto de produto. Segundo SANTOS, 2001, estes preceitos podem ser entendidos como: “Uma visão holística em que a partir do momento que conhecemos os problemas ambientais e suas causas, passamos a influir na concepção, escolha de

materiais, fabricação, uso, reuso, reciclagem e disposição final dos produtos industriais.” [23].

No ano de 2009, existiam mais de 2,5 bilhões de celulares no mundo – o equivalente a mais de 40% da população global. Estima-se que em 2010, serão 4 bilhões. De acordo com o relatório anual de 2008 da Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações) em 2008, no Brasil, foram habilitados 29,7 milhões de acessos e, ao final do exercício, dos 150,6 milhões de acessos habilitados, 81,5% eram de pré-pagos e 18,5% de pós-pagos. A teledensidade (número de acessos por grupo de 100 habitantes) correspondente ao número total de celulares habilitados avançou de 63,6%, em 2007, para 78,1%, no final de 2008. Com essa quantidade de aparelhos celulares em uso no Brasil, segundo a UIT (União Internacional de Telecomunicações), o país foi o terceiro entre os países que mais atraíram novos assinantes do serviço, ficando atrás apenas da China e da Índia [11].

No Brasil, segundo estimativa produzida pela consultoria Tendências, no ano de 2009 foram habilitados cerca de 170 milhões de celulares [11]. De acordo com uma pesquisa feita pelo Yankee Group, oito em cada dez pessoas trocam de celular ao menos uma vez por ano e, destes, 43% trocaram quatro vezes de aparelho no mesmo período. Esses aparelhos acabam, mais cedo ou mais tarde, saindo de uso e indo parar no lixo. A quantidade de aparelhos celulares que saem de circulação por dia nos Estados Unidos é de 426 mil e essa impressionante quantidade é representada visualmente pelo artista e fotógrafo Chris Jordan e é mostrada na Figura 1 [11]. O mercado mundial de celulares totalizou, em 2008, 1,222 bilhões de aparelhos comercializados, aproximadamente 7% a mais que em 2007, conforme a consultoria IDC [11].



Figura 1: Aparelhos celulares (426 mil) que saem de circulação nos Estados Unidos, por dia [7].

Os telefones celulares da figura 2 são alimentados por diversos tipos de baterias recarregáveis e, muitas dessas, contêm substâncias tóxicas tais como cádmio, níquel, zinco e cobre capazes de contaminar o meio ambiente quando incineradas ou dispostas em aterros.

O impacto das baterias no lixo comum depende da quantidade gerada e da toxicidade das mesmas. A quantidade de resíduos gerada é uma função da vida útil da bateria e de seu tamanho. Já a toxicidade dos resíduos depende da composição do material da bateria. Inúmeros estudos têm sido realizados com o objetivo de reduzir ou prevenir a geração de resíduos associados à produção, ao uso, e a disposição final de baterias [11, 20, 23, 7, 21, 3].

A evolução tecnológica trouxe a necessidade de que as baterias recarregáveis utilizadas em aparelhos eletroeletrônicos fossem mais leves, compactas e tivessem maior autonomia. As restrições ambientais de uso ou disposição do Cd em aterros e, as preocupações sobre os efeitos do cádmio

no meio ambiente e na saúde contribuiram para a utilização de outros tipos de baterias [18]. Dessa forma, baterias de NiCd têm sido substituídas por baterias Níquel Metal Hidreto (NiMH) e Íon Lítio (Li-Íon), as quais são mais aceitáveis em termos ambientais e tecnicamente podem substituir as baterias de NiCd em muitas de suas aplicações [21].

No entanto, mesmo as baterias NiMH, contém materiais tóxicos, o que exige que essas baterias sejam recicladas ao final da vida útil ao invés de serem enviados para aterros, ou ainda, de acordo com hierarquia da gestão de resíduos, reutilizadas, visando o máximo benefício prático dos produtos e a mínima geração de resíduos (Figura 3).




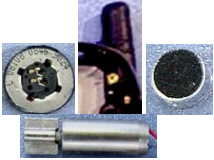





Equipamento	Componentes	Materiais diversos
 <p>Telefone Celular</p>	 <p>Placa de circuito impresso (PCI)</p>	Constituídas de resina reforçada e componentes eletrônicos (contém Pb e retardantes de chama)
	 <p>Display de Cristal Líquido (LCD)</p>	Sustâncias usadas possuem vários níveis de toxicidade
	 <p>Antena, alto-falante, microfone e vibra-call</p>	Também contém metais pesados e perigosos.
	 <p>Invólucro / Teclado</p>	PC + ABS + retardantes de chama bromados
	 <p>Carregador</p>	Fios cobre cobertos de plástico, ouro, cádmio, e retardantes de chama
	 <p>Parafusos</p>	Aço e bronze são os materiais mais utilizados
 <p>Bateria</p>	 <p>Células, PCI e Invólucro</p>	Cádmio, níquel, zinco, cobre, PC + ABS + retardantes de chama bromados

Figura 2: Telefone celular típico com seus componentes: baterias e acessórios diversos [desenvolvido pelo autor].

Dessa forma, de acordo com o emprego da gestão racional de resíduos, a opção ambientalmente mais favorecedora será aquela mais ao topo da pirâmide. Por exemplo, é preferível a reutilização à reciclagem, que por sua vez terá prioridade em relação à recuperação de energia a qual terá preferência em relação à disposição final.

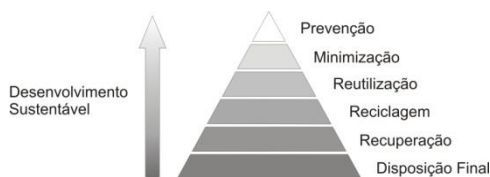


Figura 3: Hierarquia da gestão de resíduos. Adaptado de [21].

Considerando o caso das baterias recarregáveis de pequeno porte, a prevenção está relacionada com o uso

adequado das mesmas, procedendo corretamente ao carregamento, de modo a otimizar a quantidade de energia armazenada e aproveitada durante os ciclos de carga e descarga. A minimização é entendida como o uso racional das mesmas, por exemplo, desligando os aparelhos celulares durante a noite enquanto os mesmos não são utilizados, ou ainda reduzindo o volume de materiais empregados na fabricação de baterias.

Depois das opções de prevenção e minimização, a reutilização aparece em seguida como opção para a diminuição de resíduos e é o foco do presente trabalho. No caso dos telefones celulares o reuso de componentes como as baterias, permitiriam que as mesmas voltassem a ser utilizada mediante uma ação de melhoria ou recondição evitando o descarte de material que ainda tem potencial para utilização. Uma vez avaliadas diversas células de baterias de telefone celular, as mesmas

podem ser utilizadas em diferentes dispositivos eletroeletrônicos de pequeno porte tais como rádio relógio, fontes de alimentação, lanternas dentre outros.

A maioria das baterias de uso doméstico tem sido depositada em aterros sanitários. Nestes, os impactos ambientais ocasionados pelos metais oriundos dessas baterias dependem das condições das mesmas no momento do descarte, bem como, das condições do aterro. Fatores, como por exemplo: a natureza do invólucro; o nível de carga deixada na bateria; a extensão de exposição à lixiviação e o conteúdo de oxigênio do aterro, podem afetar o índice de degradação das baterias [21].

Além disso, as baterias se deterioram com o resultado da ação química durante o armazenamento. O design, o sistema eletroquímico, a temperatura e a duração do período de armazenagem são fatores que afetam a retenção de carga da bateria. Uma bateria aumenta, gradualmente, a auto-descarga com: o aumento da temperatura, a quantidade de ciclos, a idade e presença de um circuito de proteção [21, 3].

A reciclagem também vem sendo empregada na gestão dos resíduos de baterias. No entanto, esse processo tem sido empregado para a recuperação de metais com importante valor agregado [1-4, 6-8, 11, 14, 16, 20, 21-23, 25,].

Já a incineração de baterias ou processamento em fornos industriais possuem dois aspectos preocupantes. O primeiro é a liberação de metais no ar e o segundo é a concentração de metais nas cinzas que devem ser lixiviadas. A incineração só é preferível à disposição final (que deveria ser a última opção a ser considerada) [12].

Estudos têm sido realizados com o objetivo de reciclar baterias do tipo NiMH, pois essas baterias apresentam em sua constituição metais com valores importantes agregados, como por exemplo, o níquel, o cobalto e as terras raras. Dessa forma, diferentes técnicas têm sido propostas como novas rotas hidrometalúrgicas para a extração desses metais [2, 4, 25]. Contudo, a reciclagem não leva em consideração o fato de que esse material que é tratado como um novo tipo de minério, ainda pode apresentar potencial de aplicação na forma em que se encontra (reuso).

Considerando esse aspecto, o presente trabalho, teve como foco o desenvolvimento e a aplicação de uma metodologia para a seleção e reuso de células de baterias de NiMH descartadas.

As baterias são fontes que armazenam energia, e quando utilizadas corretamente transferem essa energia de forma segura. No entanto, certas condições podem ocasionar o aumento da temperatura e da pressão interna e, dessa forma, provocar um mau funcionamento ou até mesmo a explosão da bateria. É possível mencionar alguns dos motivos que poderiam ocasionar esse tipo de problema em baterias:

- Curto-circuito dos terminais da bateria;
- Taxa elevada de carga ou descarga;
- Tensão inversa;
- Carga imprópria de baterias secundárias;
- Danos provocados a uma das células de um conjunto;
- Danos em algum componente eletrônico do circuito de proteção.

Dos motivos citados, o quinto é um dos mais importantes no caso das baterias de NiMH, pois como a tensão nominal das células unitárias não ultrapassa 1,2V, para que atinjam valores de tensão mais elevados as mesmas são normalmente associadas em série constituindo dessa forma uma bateria. As baterias de celulares mais antigos chegavam a ser constituídas por seis células deste material, já nos

aparelhos mais modernos, a quantidade foi reduzida para três, conforme mostra a Figura 4.

A capacidade de uma célula é determinada pela quantidade de material ativo dentro da mesma e é expressa pela quantidade total de eletricidade envolvida na reação eletroquímica definida em Coulomb (C) ou ampéres-hora (Ah) [21].

O consumo de energia de um celular depende de como o mesmo é utilizado. Eles operam em três modos: fala (talk); estado de prontidão (standby); e desligado (off). Cada um destes modos requer diferentes quantidades de energia. A máxima quantidade de energia é consumida no modo talk, quando o telefone está recebendo ou transmitindo sinal de voz. No modo standby menos energia é utilizada e, mesmo quando o telefone está desligado, alguma energia ainda é consumida [21].

As baterias de NiMH são do tipo secundária, ou seja, quando a quantidade de material ativo é esgotada dentro da célula é possível a partir do processo de recarga, reverter a reação. O ciclo de vida dessas baterias, isto é, o número de vezes que elas podem ser recarregadas é de aproximadamente 500 vezes, sendo, que depois disso, sua eficiência em termos de capacidade de armazenamento de energia fica muito baixa e está associada com um aumento na impedância interna [21].

A impedância interna das baterias está relacionada com a capacidade de retenção de carga e é influenciada por uma série de fatores como temperatura, profundidade de descarga, estado de carga, tempo de armazenagem, fatores construtivos e, por isso, é difícil de ser medida. O modelo ideal é de uma resistência ligada em série com uma indutância e de uma capacitância em paralelo. A resistência pode ser medida indiretamente pela leitura da tensão sobre os terminais da bateria dividida pela corrente que por ela circula e, é usada muitas vezes, como parâmetro indicativo do estado de carga da bateria, pois os efeitos indutivos e capacitivos são quase sempre desprezados já que a bateria é um dispositivo de corrente contínua [21, 3].

Voltagem (V)	7,2	6,0
Nº Células / bateria	6	5
Exemplos		
Voltagem (V)	4,8	3,6
Nº Células / bateria	4	3
Exemplos		

Figura 4: Evolução das baterias de NiMH utilizadas em telefones celulares [desenvolvido pelo autor].

Contudo, o tempo necessário para que as baterias atinjam o final do ciclo de vida depende da frequência com elas são recarregadas. Para baterias de telefone celular, essa frequência depende da capacidade de carga da mesma, do consumo de energia do aparelho, e de como o usuário executa o carregamento. Quando o carregamento é realizado de forma adequada à quantidade de energia armazenada é

otimizada por ciclo de recarga.

No entanto, muitas pessoas trocam de telefone celular mais de uma vez por ano buscando um aparelho de melhor performance, com maior número de funções e com design moderno. Junto com a maioria desses aparelhos, suas baterias acabam saindo de uso antes do final do seu ciclo de vida. No entanto, considerando um ciclo de vida de 350 ciclos de carga e descarga (quando então a capacidade energética média se torna inferior a 80%) [10], conforme a frequência de recarga semanal, as baterias teriam um ciclo de vida médio superior a dois anos no caso de três recargas semanais, superior a três anos com duas recargas semanais e, superior a seis anos se forem recarregadas apenas uma vez por semana como se pode observar na Figura 5.

Considerando os aspectos mencionados, o presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia de seleção e reuso de células de baterias de NiMH descartadas. Para isso, avaliou-se a capacidade e estimou-se o percentual dessas células que ainda estavam em boas condições operacionais quando as baterias eram descartadas. De acordo, com o resultado obtido na avaliação, às células aprovadas com potencial para reuso possibilitou a criação de dois protótipos.

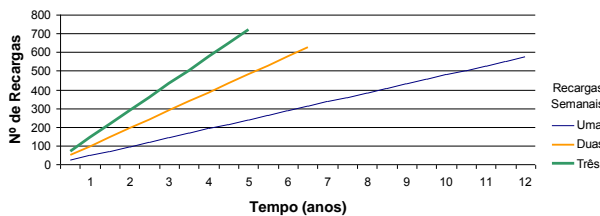


Figura 5: Tempo de uso X número de recargas semanais para baterias de NiMH.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de estudar baterias recarregáveis de pequeno porte que vem sendo descartadas antes do término da vida útil, foram recolhidas 237 baterias de NiMH modelo BMS-3 1000mAh – 3,6V (com três células cada) doadas tanto por particulares, como por empresas autorizadas de telefones celulares.

Foi desenvolvida uma metodologia para seleção de células (consideradas reutilizáveis) composta basicamente de quatro etapas ilustradas na Figura 6. A primeira etapa foi de desmontagem das baterias. Para isso, organizou-se uma estação de trabalho que consistiu numa bancada iluminada com ferramental para forçar as junções nas partes mais frágeis dos invólucros, para a remoção tanto das células como das placas de circuito impresso (PCI's) presentes nas baterias. Nesta etapa de desmontagem, tomou-se cuidado para evitar um acidental curto-circuito com a carcaça das células, bem como para não danificar as mesmas.

Após a etapa de desmontagem das baterias e retirada das células, as últimas passaram pela segunda etapa do processo de seleção. Nesta, foi realizada uma análise do aspecto superficial dos pólos positivos e negativos das células, identificando através de inspeção visual, terminais com presença de vazamento, camada oxidada ou deformação devido a uma pressão interna elevada. A detecção de qualquer um desses aspectos citados caracterizou a célula como degradada impossibilitando o estudo de reuso da mesma.

As células aprovadas pela inspeção visual passavam para a terceira etapa do processo de seleção, onde as tensões remanescentes das mesmas foram medidas empregando-se o multímetro e, assim, classificadas, identificadas e separadas em função do respectivo valor de tensão em: alta (1,25 a

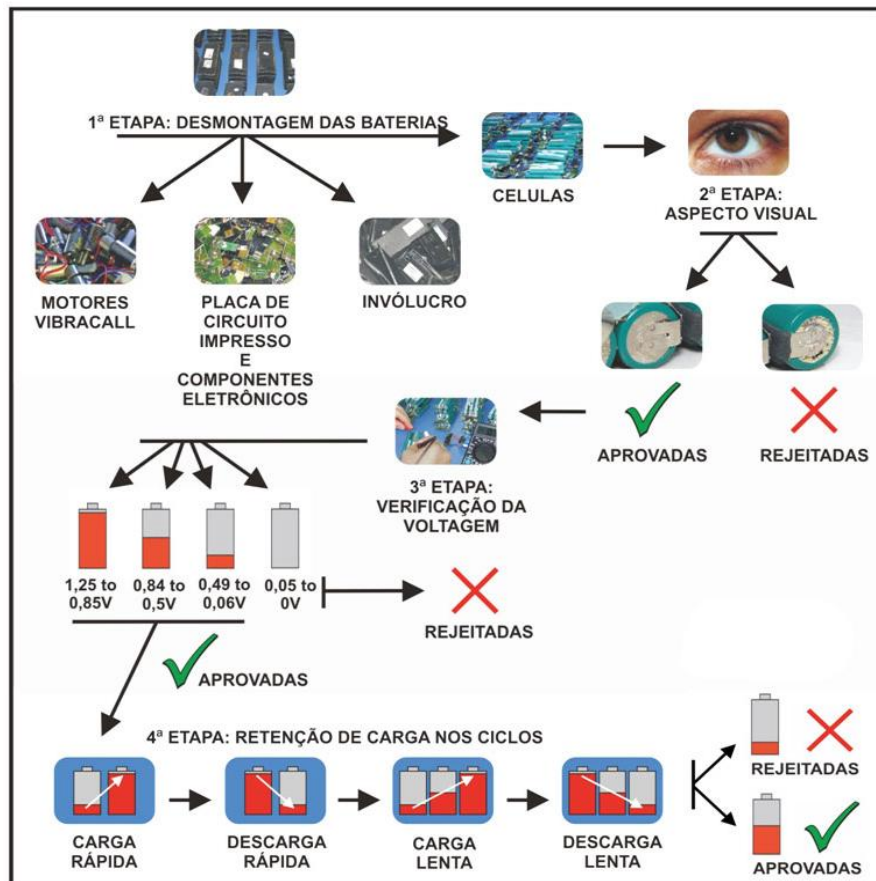


Figura 6: Etapas do processo de seleção de células consideradas reutilizáveis.

0,85V), média (0,84 a 0,5V), baixa (0,49 a 0,06V) e zerada (0,05 a 0V). As células que apresentam valores de tensão entre 0,05 a 0V, foram reprovadas. Nesta etapa também foi realizada a remoção da Placa de Circuito Interno “PCI” da bateria.

Considerando que após vários ciclos de carga e descarga, as baterias com baixa capacidade de retenção de carga apresentam uma resistência interna elevada, na seqüência do processo de seleção (quarta etapa), as células com carga remanescente média ou alta foram descarregadas para então serem testadas em dois ciclos de carga e descarga [13]. No primeiro ciclo, aplicou-se “carga e descarga rápidas”. Na carga, a corrente de carga (Ic) foi ajustada em 60% da capacidade da bateria durante o tempo de 1h, e verificou-se a tensão em cada célula, registrando-se as leituras numa planilha e, descartando-se aquelas com tensão inferior a 50% do valor da tensão nominal (1,2V). Na “descarga rápida”, a corrente de descarga (Id) foi ajustada em 50% da capacidade durante o tempo de ½h. Em seguida, verificou-se a tensão em cada célula, registrando-se as leituras na mesma planilha. Foram descartadas as células com tensão inferior a 20% do valor da tensão nominal. No segundo ciclo, aplicou-se “carga

e descarga lentas”. Na carga, a Ic foi ajustada em 40% da capacidade da bateria durante o tempo de 3h, depois disso, reduziu-se a Ic para 20% da capacidade por mais 20 minutos e mediou-se a tensão em cada célula. Os valores de tensão medidos foram registrados e as células com tensão inferior a 90% do valor da tensão nominal foram descartadas. Na “descarga lenta”, a Id foi ajustada em 30% da capacidade da bateria. Manteve-se a descarga durante o tempo de 1h30min. Em seguida, verificou-se novamente a tensão em cada célula, registrando-se as leituras na mesma planilha e, descartando-se aquelas com tensão inferior a 25% do valor da tensão nominal.

Depois de passarem pelos ciclos de carga e recarga as células testadas e caracterizadas para reuso foram etiquetadas com a qualificação que obtiveram nos testes e embaladas, dando atenção especial aos pólos negativo e positivo que foram protegidos com fita isolante, para serem reutilizadas ou estocadas.

A figura 7 mostra um fluxograma geral da desmontagem de telefones celulares e baterias e os respectivos componentes, destacando as células que foram o foco da pesquisa.

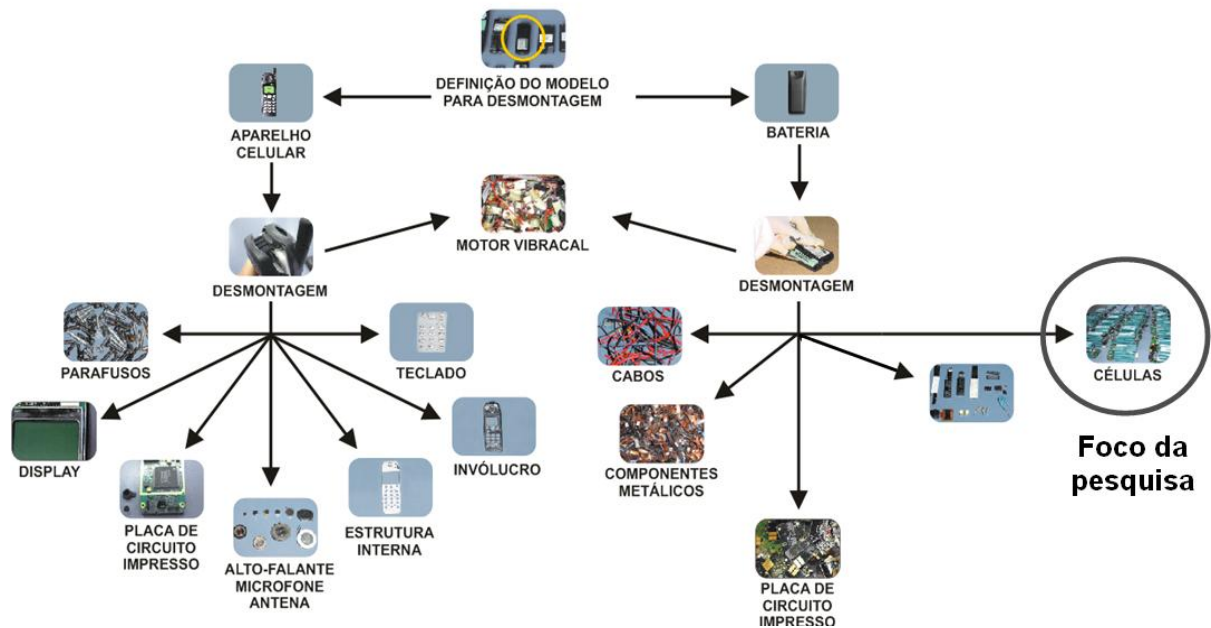


Figura 7: Fluxograma geral da desmontagem de telefones celulares e baterias com a respectiva diversidade de componentes.

3. RESULTADOS E DISCUSSOES

De acordo com os resultados apresentados na Figura 8, das 237 baterias desmontadas (711 células), na segunda etapa do processo de seleção, 11 baterias foram reprovadas por inspeção visual com suas 3 células apresentando oxidação ou vazamento; 136 baterias tinham pelo menos uma célula danificada (oxidação ou vazamento) e, 90 baterias foram aprovadas. Com isso, das 711 células, 442 foram aprovadas e 269 foram reprovadas, o que corresponde respectivamente a aproximadamente 62,2% e 37,8% do total analisado.

Foi possível observar que em termos de estimativa de aprovação, o número de células consideradas aprovadas na segunda etapa do processo de seleção foi superior ao número de baterias. Como uma bateria é composta por várias células associadas em série, desde que uma célula apresente um defeito o desempenho da bateria será insatisfatório e a

mesma será considerada reprovada. Esse resultado reforça ainda mais a proposta desse trabalho, ou seja, muitas das baterias que foram descartadas pelos usuários por apresentarem possivelmente problemas em operação eram constituídas por células em bom estado de funcionamento, isto é, material com potencial para utilização.

Na terceira etapa do processo de seleção, quando então se avaliou a tensão remanescente das células aprovadas na segunda etapa do processo de seleção, pôde-se verificar a partir da Figura 9 que, das 442 células aprovadas na primeira triagem, apenas 18 células (4% das 442 células) apresentaram valores de tensão remanescente na faixa de 0,05 a 0V e, portanto, foram reprovadas, enquanto a maior parte (64%) das células apresentaram valores de tensão remanescente na faixa de 0,84 a 0,5V.

Após a medida de tensão remanescente, as 424 células

aprovadas foram submetidas a ciclos de carga e descarga para verificar a capacidade de retenção de carga das mesmas (quarta etapa). Destas, 17 células foram consideradas reprovadas por não atingirem o valor mínimo de tensão estabelecido durante os ciclos.

	Baterias		Células	
	Qtd	Frequência Relativa (%)	Qtd	Frequência Relativa (%)
Aprovadas	90	38,0	442	62,2
Rejeitadas	147	62,0	269	37,8

Figura 8: Relação entre a quantidade e a frequência relativa de baterias e células aprovadas e reprovadas na segunda etapa do processo de seleção.

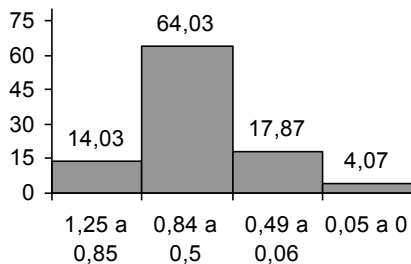


Figura 9: Proporção entre os valores das tensões remanescentes nas células (terceira etapa do processo de seleção).

Das 407 células restantes, conforme pode ser observado na Figura 10, aproximadamente 64,6% apresentaram tensão superior ou igual a 0,7V e foram consideradas aprovadas, enquanto aproximadamente 35,4% das células foram reprovadas por apresentarem valores de tensão inferiores a 0,7V. Nessa etapa do trabalho, as células aprovadas foram classificadas e identificadas de acordo com a faixa de tensão que apresentaram.

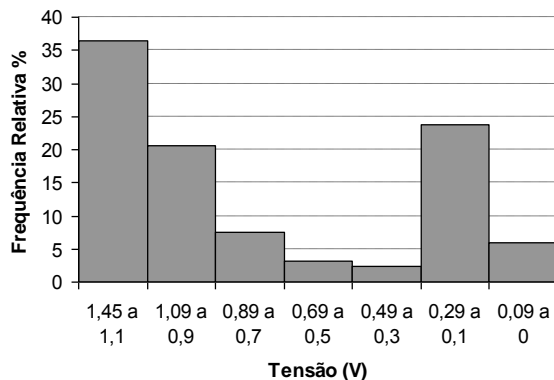


Figura 10: Frequências relativa da retenção de carga nos ciclos de carga e descarga (quarta etapa do processo).

É importante ressaltar que cada vez que uma bateria é descartada uma nova bateria precisa ser fabricada para a reposição. Considerando que uma grande quantidade de células com capacidade de ser reutilizada está sendo tratada como resíduo, a metodologia desenvolvida para seleção e reuso mostra-se viável, já que com seu emprego é possível minimizar os desperdícios econômicos devido às diversas etapas que envolvem o processo de produção das células (inserção dos eletrodos e separadores enrolados na forma espiral dentro de um tubo de aço niquelado, adição do

eletrólito, fechamento, conformação do topo e rotulagem) e os desperdícios ambientais devido à extração de matéria prima e à contaminação do meio ambiente provocada pelo descarte precoce das mesmas.

Embora algumas células estivessem ruins, conforme demonstrado na figura 8, estas baterias descartadas mostraram um grande potencial de terem suas células reutilizadas em dispositivos eletrônicos, bastando para tanto, passarem por um processo de Avaliação do potencial de reuso de suas células, como o apresentado neste trabalho o que demonstra uma alternativa ambientalmente amigável por diminuir a quantidade de volume de lixo tecnológico em lixões e aterros e por ser capaz de obter energia a um custo baixo fazendo uso de uma tecnologia limpa.

O trabalho de Avaliação do potencial de reuso de células aqui apresentado possibilitou aplicar estas em dois protótipos que tiveram incorporados as células de telefone celular como fonte e energia alternativa. Inicialmente aplicou-se numa fonte de armazenamento de energia: que foi projetada para alimentar com 9Vcc um par de caixas de som que foram fabricadas para serem alimentados na rede elétrica em 110/220V, conforme mostra a figura 11.

Para alimentar as caixas, considerou-se que para uma potência de 2 W, ela apresente um consumo de aproximadamente 240 mAh. Assim, a bateria foi projetada de modo a reutilizar sete células de NiMH marca Nokia modelo BMC-3 aprovadas com conceito A, ligadas em série. Para prover a carga das baterias, foi escolhido um transformador bi-volt com secundário de 6 Vca e 100 mA. Para controlar a corrente de carga da bateria, foi utilizado um dobrador de tensão que exerce duas funções: fornecer a Vcc necessária para a alimentação da bateria e regular a Icc das mesmas.

Foi incluído, ainda, um resistor de proteção para o transformador, para o caso em que a bateria fosse totalmente descarregada evitando, assim, sua sobrecarga quando ligada novamente. Também foi incorporado um led para indicação de "Fonte ligada", permitindo visualizar seu estado. Foi incluído ainda, um resistor de proteção para o transformador, para o caso em que a bateria fosse totalmente descarregada evitando, assim, suas sobrecarga quando ligada novamente.

Foi projetada uma luz de emergência compacta para ser ligada na rede elétrica em 110 / 220 V e acender um conjunto de dez LEDs automaticamente quando faltar energia elétrica. A bateria foi projetada de modo a utilizar 4 células de NiMH avaliadas e aprovadas para reuso de 1000 mAh modelo Nokia BMS-3. Para baixar o custo, reduzir o peso e o tamanho, foi utilizado um divisor de tensão resistivo de baixa potência capaz de recarregar a bateria em 24 h.

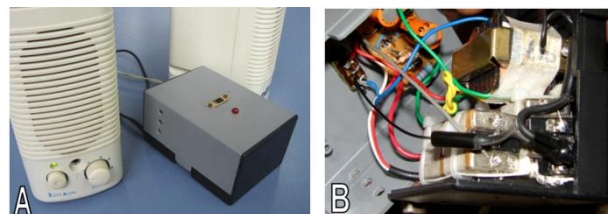


Figura 11: Fonte de armazenamento de energia, funcionando em A, e aberta mostrando sua bateria composta por 7 células de NiMH do modelo BMC-3 em B.

No projeto do protótipo foram incluídos ainda: uma chave de liga / desliga para permitir seu transporte e/ou armazenamento por períodos prolongados, e um pulsador de teste que permite visualizar o estado dos LEDs e da bateria.

A Figura 12 mostra o protótipo de luz de emergência desligado em A, ligado em B, e sua bateria projetada de modo a reutilizar 4 células de NiMH marca Nokia modelo BMS-3 avaliadas e aprovadas para reuso em C. A capacidade da bateria resultante ficou em aproximadamente 820 mAh, garantindo uma autonomia que permite alimentar a luz de emergência por um tempo superior a 15 horas.

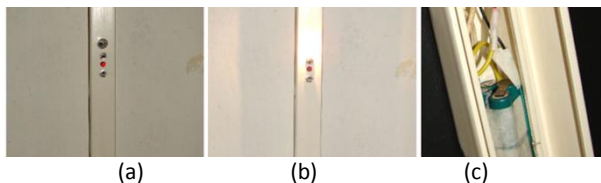


Figura 12: Protótipo de luz de emergência: desligado em a, ligada em b, e aberto mostrando suas 4 células de NiMH em c.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho, verificou-se que há um certo grau de incerteza quanto à qualidade das baterias descartadas. A condição das mesmas quando recebidas normalmente não é conhecida, contudo, ainda que muitas baterias possam ser consideradas danificadas, pôde-se observar que isso estava associado à presença de células com defeitos, o que evidenciou a necessidade do desenvolvimento de uma metodologia para seleção e reuso dessas células.

Embora as células de algumas baterias tenham sido reprovadas em diferentes etapas do processo de seleção pela qual passaram muitas dessas células mostraram um grande potencial de capacidade para reuso.

Considerando que em média 62%, das células foram aprovadas na segunda etapa do processo de seleção, e que dessas, em média 96% foram aprovadas na terceira etapa, e, que dessas restantes 67,3% foram reprovadas após os ciclos, ao final do processo de seleção foram consideradas aprovadas para reuso aproximadamente 37% do total das células testadas (que tinham sido descartadas).

A metodologia apresentada neste trabalho permitiu selecionar células de baterias descartadas que ainda estavam em condições de serem reutilizadas e mostrou que é possível estabelecer uma alternativa ambientalmente correta para diminuir a quantidade desse tipo de lixo eletrônico além de otimizar a utilização de matéria-prima, considerando-se que para cada bateria descartada uma nova bateria precisa ser fabricada para reposição.

É urgente que os consumidores e fabricantes de produtos eletrônicos pratiquem ações visando a sustentabilidade e observem que o planeta depende de suas consciências em relação ao seu papel de contribuição na preservação deste ecossistema - que é a terra - e que todos fazem parte dele. Assim, torna-se fundamental, necessária, atual e relevante a utilização de fontes geradoras de energia alternativa, para novos equipamentos portáteis. Além disso, este estudo promove a aplicabilidade das células de baterias descartadas, além de dar suporte às atividades que envolvem a coleta, reutilização e reciclagem de baterias de telefones celulares, provenientes do descarte, possibilitando com isso a abertura de um novo nicho de mercado para a reutilização destes materiais em novos produtos e para a geração de energia aos produtos concebidos com estes preceitos do ecodesign de modo a torná-los menos impactantes ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- [1]. AMBROSIO, R.C., TICIANELLI, E.A. Baterias de Níquel-Hidreto, uma Alternativa para as Baterias de Níquel-Cádmio. *Quím. Nova*, v24, 2001.
- [2]. BARANDAS A. P. M. G., AFONSO J. C., MANTOVANO J. L., CUNHA J. W. S. D. Recovery of metal values from spent nickel-metal hydride rechargeable batteries, *Journal of Power Sources*, 77 (1999) 116-122.
- [3]. BARBOZA, M. Relatório Tendências Setoriais - Telecom e TI, consultoria Tendências, 2008.
- [4]. BERNARDES, A.M., ESPINOSA, D.C.R., TENÓRIO, J.A.S. Recycling of batteries: a review of current processes and technologies. *Journal of Power Sources*, 130, 2004, pp. 291-298.
- [5]. BERNARDES, A.M., ESPINOSA, D.C.R., TÊNORIO, J.A.S., collection and recycling of portable batteries: a worldwide overview compared to the Brazilian situation; *Journal of Power Sources*, 124 (2003) 586-592.
- [6]. BERTUOL D. A., BERNARDES A. M., TENORIO J. A. S. Spent NiMH batteries: Characterization and metal recovery through mechanical processing. *Journal of Power Sources* 160 (2006) 1465-1470.
- [7]. BOKS, C., HUISMAN, J., STEVELS, A. Combining economical and environmental considerations in cellular phone design. In: *Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2000.
- [8]. DAHODWALLA, H., HEART, S. Cleaner production options for lead-acid battery manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production* 8 (2000) 133-142
- [9]. FENG, F. NORTHWOOD, D.O. Self-discharge Characteristics of a Metal Hydride Electrode for NiMh Rechargeable Batteries. *Int. J. Hydrogen Energy*, 30, 2005, 1367-1370.
- [10]. FISHBEIN, B. *Waste in the Wireless World: The Challenge of Cell Phones*. New York: INFORM, Inc. 2002.
- [11]. FRY, T. Contra uma teoria essencialista de necessidade: algumas considerações para a teoria do design *Revista Design em Foco* v. II nº1 Jan./Jun. 2005
- [12]. GLAVIC, P., LUKMAN, R. Review of sustainability terms and their definitions. *Journal of Cleaner Production* 15 (2007) 1875 - 1885.
- [13]. <http://www.cse.unsw.edu.au/~cs4411/Tools/Batteries/Chemistr.html>; acessado em 29/09/2008;
- [14]. IDC - International Data Group Subsidiary . Disponível em: <http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS21053908>. Acessado em 12 de fevereiro de 2008.
- [15]. IWAKURA, C., IKOMA, K., NOHARA, S., FURUKAWA, N., INOUE, H. Capacity Retention Characteristics of Nickel/Metal Hydride Batteries with Polymer Hydrogel Electrolyte. *Electrochemical and Solid-State Letters*, 8 (1) A45-A47 (2005).
- [16]. JORDAN, C. *Intolerable Beauty - Portraits of American Mass Consumption Artwork and locations exhibits*, Photo Series Gallery, Atlanta, 2005.

- [17]. LINDEN, D. e REDDY, T. B. *Handbook of Batteries* 3rd Edition - McGraw-Hill, 1995.
- [18]. MANZINI, E. e VEZZOLI, C. *O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais*. São Paulo: USP, 2005.
- [19]. MARQUES, F. F. *Sistema de monitoração e avaliação de bancos de baterias para UPS*. 2002, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) PPGEE, UFRGS, Porto Alegre, BR-RS, 2002.
- [20]. MARX K. *Grundrisse Harmondsworth*, Penguin Books, p92, 1973.
- [21]. Ministério Das Comunicações. Disponível em: <http://www.mc.gov.br/noticias/2008/cresce-venda-de-celulares-e-brasil-chega-a>. Acessado em 15 de julho de 2009.
- [22]. PUTOIS, F. Market for nickel-cadmium batteries. *Journal of Power Sources*, 57, 1995, pp. 67-70.
- [23]. SANTOS, P. A. *Inovação sustentável: o ecodesign aplicado ao design de novos produtos*. Porto Alegre: UCS, 2001.
- [24]. SHINYAMA, K., MAGARI, Y., AKITA, H. KUMAGAE., NAKAMURA, H. Investigation in Storage Characteristics of NiMH Batteries During Cycling. *Journal of Power Sources*, 143, 2005, 265-269.
- [25]. ZHANG, P., YOKOYAMA, T., ITABASHI, O., WAKUI, Y., SUZUKI, T. M., KATSUTOSHI, I. Recovery of metal values from spent nickel-metal hydride rechargeable batteries, *Journal of Power Sources*, 77 (1999) 116-122.