

## BATERIA DE EDISON: PRODUÇÃO DE ELETRODOS POR METALURGIA DO PÓ<sup>1</sup>

Franciele Weschenfelder<sup>2</sup>  
Carla Adriana Theis Soares<sup>3</sup>  
Lírio Schaeffer<sup>4</sup>

### Resumo

Sistemas isolados de geração de energia não são conectados a rede elétrica e necessitam do sistema gerador (eólica, solar, etc.), de inversores, controladores de carga e baterias. Baterias de chumbo ácido, até então mais usadas, duram apenas uma fração de tempo de vida do sistema gerador, podendo tornar o sistema inviável economicamente. Com base nisso, este trabalho tem por objetivo reproduzir a bateria de Edison (Níquel-Ferro) produzida em 1911 por Thomas Edison, que tem uma vida útil maior que as demais baterias. Para isso, foi utilizada a metalurgia do pó que é um processo com baixo impacto ambiental por não ser poluente e exige uma baixa energia de transformação do material. Também, a metalurgia do pó permite o controle da porosidade das peças, permitindo desta forma otimizar as reações de oxidação-redução que ocorrem, pois quanto maior for o índice de porosidade maior será a área ativa do eletrodo para que a reação ocorra. Foram analisadas diferentes pressões de compactação e o efeito disto na porosidade das peças. Foi confeccionada, também, uma peça em que o processo de compactação foi ignorado, efetuando somente uma sinterização com auxílio de um cadinho cerâmico. Os resultados encontrados apontam o processo sem compactação como o mais promissor para aplicação de peças produzidas por metalurgia do pó em baterias.

**Palavras-chave:** Bateria de Edison; Metalurgia do pó; Superfície específica; Permeabilidade.

### EDISON BATTERY: PRODUCTION OF ELECTRODES BY POWDER METALLURGY

#### Abstract

Isolated systems of energy generation are not connected to the power grid and require the system generator (wind, solar, etc.), Inverters, charge controllers and batteries. Lead acid batteries, hitherto most used, last only a fraction of the lifetime of the generation system, making the system uneconomical. Based on this, this paper aims to reproduce the Edison battery (Nickel-Iron) produced in 1911 by Thomas Edison, which has a longer life than other batteries. For this, we used the powder metallurgy which is a process with low environmental impact since it is not polluting and requires a low energy transforming material. Also, the powder metallurgy enables control of the porosity of the pieces, thereby enabling to optimize the reduction-oxidation reactions which occur because the higher the index the greater the porosity of the electrode active area for the reaction to occur. We analyzed different compaction pressures and the effect of this on the porosity of the parts. Was made, also, a piece in which the compression process was ignored, making only a sintering aid of a ceramic crucible. The results show the process without compression as the most promising for application of parts produced by powder metallurgy in batteries.

**Key words:** Battery Edison; Powder metallurgy; Specific surface; Permeability.

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

<sup>2</sup> Engenheira de Energias Renováveis e Ambiente, mestranda do Grupo de Desenvolvimento em Energias Renováveis (GDER), LdTM, UFRGS, RS, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheira Mecânica, Mestre e doutoranda do Grupo de Engenharia de Superfície (GES), LdTM, UFRGS, RS, Brasil.

<sup>4</sup> Engenheiro Mecânico, Professor coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica, UFRGS, RS, Brasil..

## 1 INTRODUÇÃO

Pilhas e baterias são dispositivos nos quais uma reação espontânea de oxidação-redução produz corrente elétrica. A pilha é um sistema formado por dois eletrodos, mas constitui apenas uma unidade. Já a bateria é formada por um conjunto de pilhas ligadas em série.<sup>(1)</sup> As baterias eletroquímicas são uma importante forma de armazenamento de energia que pode ser utilizada em sistemas fotovoltaicos, pois elas são capazes de transformar diretamente energia elétrica em energia potencial química e posteriormente converter, diretamente, a energia potencial química em energia elétrica.<sup>(2)</sup>

Desde 1800, quando Alessandro Volta desenvolveu a primeira pilha, esses dispositivos vêm sofrendo constantes aperfeiçoamentos a fim de que possam satisfazer às necessidades de armazenamento de energia do mundo atual.<sup>(3)</sup> Os sistemas de geração de energia de forma isolada, ou seja, sem conexão a rede elétrica, utilizam baterias para estocagem de energia. Entre os inúmeros tipos de baterias secundárias as mais comuns para esta aplicação são as de chumbo-ácido e as de níquel-cádmio.<sup>(4)</sup>

As baterias de chumbo-ácido possuem uma durabilidade maior que as de níquel-cádmio, além de serem menos afetadas por sobrecargas, também podem ser totalmente descarregadas não estando sujeitas a sulfatação e não sofrem influência da temperatura no seu carregamento. No entanto, as baterias de níquel-cádmio não sofrem morte súbita como as de chumbo-ácido.<sup>(3)</sup> O fato que determina o uso das baterias de chumbo-ácido é que o custo destas baterias chega a ser três vezes inferior que o das baterias de níquel-cádmio, o que tem generalizado e dado continuidade de seu uso para estas aplicações.

Pesquisar uma nova topologia de baterias para este tipo de aplicação se faz necessário, visto as desvantagens apresentadas nos sistemas até aqui implementados. No Brasil há uma resistência a instalação de sistemas geradores de energia, devido ao alto custo de instalação e manutenção. Investir em baterias com uma vida útil maior seria também uma forma de incentivo, pois reduziria o custo de manutenção.

Analisando tais motivações o objetivo deste artigo é apresentar um estudo feito com a bateria de Edison, desenvolvida em 1911 por Thomas Edison. Edison criou a bateria de níquel-ferro como uma alternativa barata para a corrosiva bateria de chumbo-ácido. Seu projeto básico consiste em dois eletrodos - um cátodo feito de níquel e um ânodo feito de ferro - mergulhados em uma solução alcalina (hidróxido de potássio). É importante considerar que ambos, níquel e ferro, são elementos abundantes na Terra e relativamente não tóxicos.<sup>(5)</sup>

A bateria de Edison (Níquel-Ferro) é uma bateria muito forte, que é tolerante ao excesso de carga (sobrecarga, sobredescarga e curto-circuito) e pode ter vida muito longa, mesmo se assim tratada. Ela é frequentemente usada em situações de backup, onde possa ser continuamente carregada e pode durar mais de 40 anos.<sup>(6)</sup> Para confecção dos eletrodos foi utilizada a metalurgia do pó.

A metalurgia do pó é um processo de fabricação que é usado para produzir compostos metálicos ou cerâmicos através da produção do pó e de sua consolidação pela aplicação de pressão e calor sob temperaturas abaixo do ponto de fusão do constituinte majoritário. As etapas de processamento de um material metálico por esta técnica envolvem, entre outras, a obtenção e moagem do pó, bem como a conformação e sinterização de peças a partir do mesmo.<sup>(7)</sup>

Na sinterização são determinadas as microestruturas do material, é um processo de consolidação por queima (na presença ou não de oxigênio), na qual as partículas do pó são unidas formando agregados de alta resistência mecânica. Portanto, tem-se uma diminuição da porosidade da peça, pois a densificação aumenta. A sinterização ocorre a partir de 1/2 a 2/3 da temperatura de fusão, o suficiente para causar difusão atômica ou fluxo viscoso. A força motriz para a sinterização é a redução da área superficial (e da energia superficial) obtida pela substituição de um pó solto, cujas superfícies têm alta energia (sólido-vapor), por um sólido ligado, cujos contornos de grão apresentam energia mais baixa.<sup>(7)</sup>

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Pós Utilizados

Para confecção do eletrodo de ferro, foi utilizado um pó com distribuição granulométrica apresentada na Figura 1, com tamanho de grão entre 10 e 800  $\mu\text{m}$ , um valor médio dos diâmetros das partículas de 118.18  $\mu\text{m}$ ; 10% das partículas apresentaram diâmetro abaixo de 40.88  $\mu\text{m}$ ; 50% abaixo de 95.64  $\mu\text{m}$  e 90% abaixo de 216.11  $\mu\text{m}$ . A Figura 2 apresenta a análise granulométrica cumulativa do níquel, utilizado para confecção do eletrodo de níquel, a amostra usada apresentou granulometria entre 0.3 e 50  $\mu\text{m}$ , com um valor médio dos diâmetros das partículas de 14.14  $\mu\text{m}$ ; 10% das partículas apresentaram diâmetro abaixo de 4.01  $\mu\text{m}$ ; 50% abaixo de 12.39  $\mu\text{m}$  e 90% abaixo de 29.97  $\mu\text{m}$ .

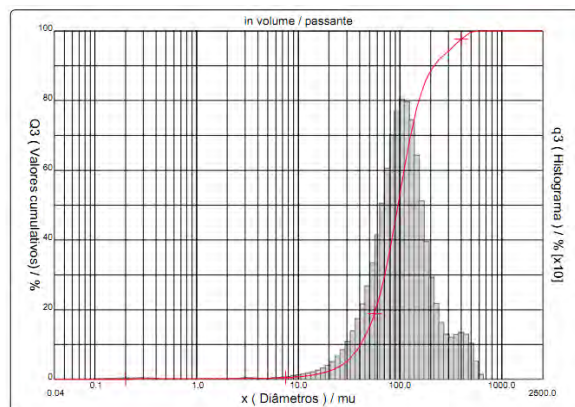


Figura 1. Distribuição granulométrica cumulativa do ferro.

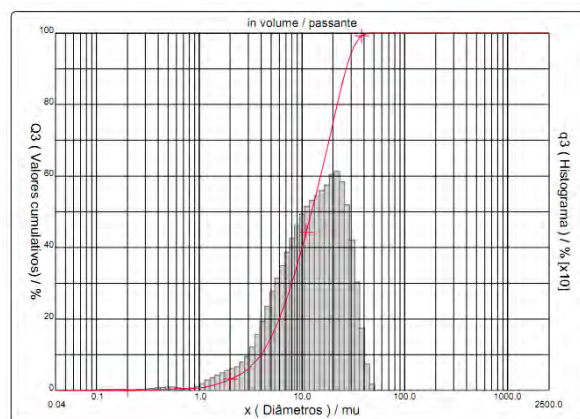


Figura 2. Distribuição granulométrica cumulativa do níquel.

## 2.2 Compactação das Amostras

As amostras foram confeccionadas utilizando-se de uma prensa hidráulica manual, mostrada na Figura 3. A Figura 4 mostra a matriz utilizada, a mesma foi escolhida devido a maior similaridade com o eletrodo convencional e apresenta 2.400 mm<sup>2</sup>. Para verificação da influência da pressão de compactação na porosidade da peça final foram compactadas peças com pressões de compactação distintas, os dados de compactação estão expostos na Tabela 1. Na Tabela também é possível verificar a altura da peça obtida, massa utilizada e a densidade a verde.



Figura 3. Prensa hidráulica manual. Fonte: <http://www.ufrgs.br/ldtm/>



Figura 4. Matriz utilizada.

Tabela 1. Dados de compactação

<b>Parâmetros de compactação do Ferro</b>						
	Pressão (MPa)	Força (ton)	Altura (mm)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Massa (g)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
Peça 1	81,463	19,95	2,45	5,88	24,93	4,240
Peça 2	105,023	25,72	2,3	5,52	24,56	4,449
<b>Parâmetros de compactação do Níquel</b>						
Peça 1	81,463	19,95	2,7	6,48	24,93	3,847
Peça 2	105,023	25,72	2,4	5,76	24,89	4,321

Para analisar o comportamento dos materiais, foi feita uma sinterização sem a etapa de compactação, para tal procedimento foi usado um cadinho cerâmico retangular (47,54 mm X 40,33 mm). Sendo o pó distribuído sobre o mesmo e posteriormente efetuada a sinterização.

### 2.3 Sinterização das Amostras

A sinterização dos corpos de prova foi realizada em forno tubular horizontal, com atmosfera de argônio de alta pureza (99,99%). A curva de sinterização utilizada para o Ferro está representada na Figura 5. A taxa de aquecimento utilizada foi de 10°C/min. Na sinterização dos materiais empregou-se dois patamares durante o processo térmico de sinterização. O primeiro patamar, a 550°C, para garantir a extração do estearato de zinco, lubrificante que auxilia na extração das peças da matriz, foi similar para os dois. E o segundo patamar a 1.150°C para o ferro e 1.090°C para o níquel, onde ocorre a sinterização, permanecendo nesta temperatura durante 60 minutos. Após, as peças foram mantidas no forno, para resfriamento lento, até a temperatura ambiente.<sup>(8)</sup>

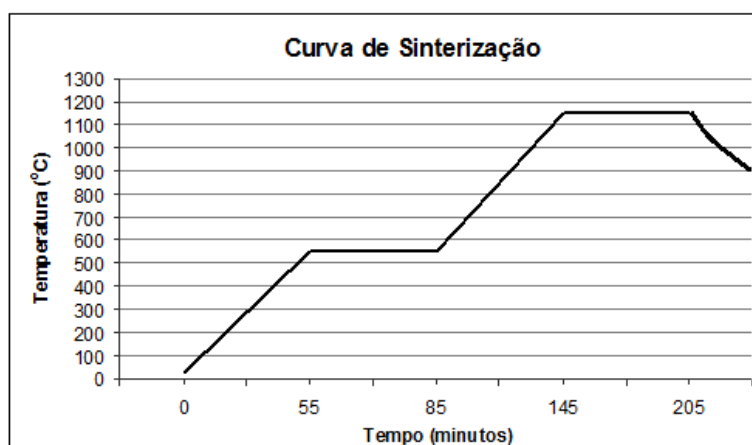


Figura 5. Curva de sinterização para o ferro.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Microscopia Eletrônica de Varredura

As peças obtidas foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura, as Figuras 6, 7 e 8 mostram os resultados para o níquel. O mesmo procedimento foi realizado com o Ferro, as Figuras 9, 10 e 11 mostram os resultados obtidos.

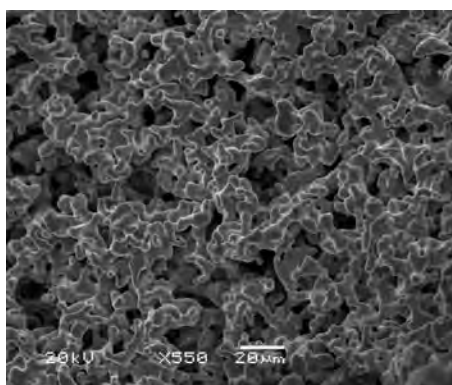
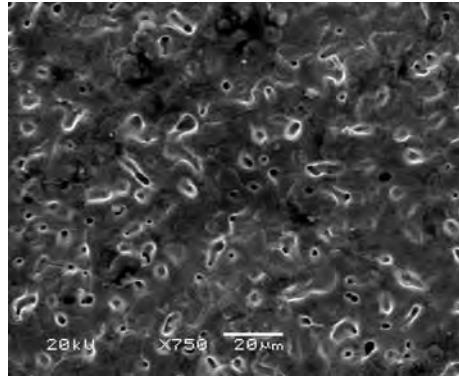
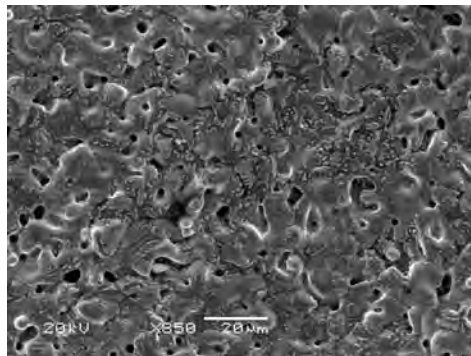


Figura 6. Níquel (sem compactação).

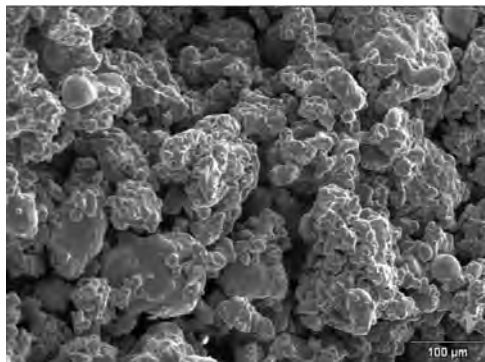




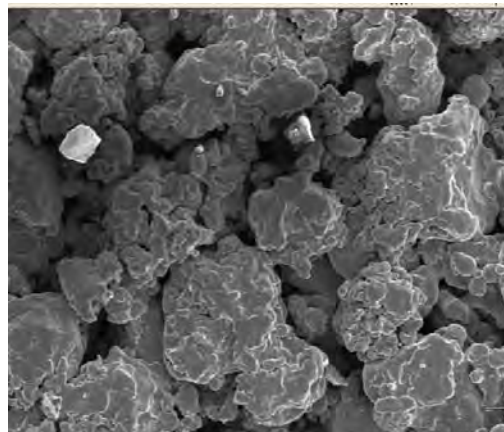
**Figura 7.** Níquel peça 1.



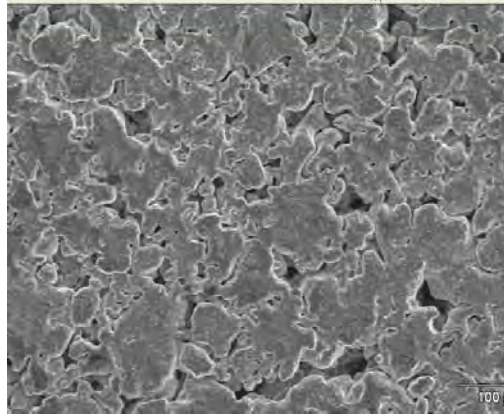
**Figura 8.** Níquel peça 2.



**Figura 9.** Ferro sem compactação.

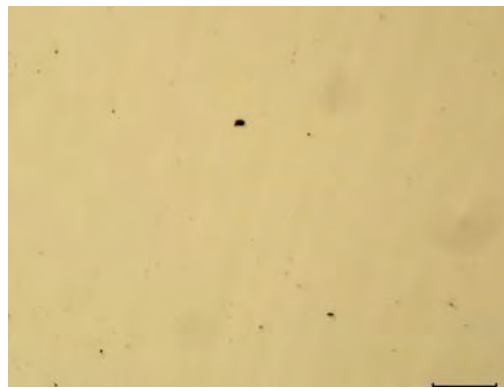


**Figura 10.** Ferro peça 1.



**Figura 11.** Ferro peça 2.

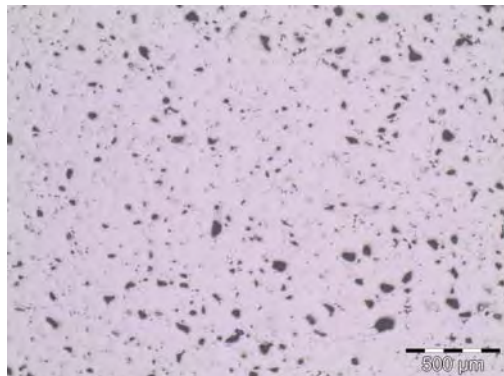
### 3.2 Microscopia Óptica



**Figura 12.** Níquel peça 1.



**Figura 13.** Níquel peça 2.



**Figura 14.** Ferro peça 1.

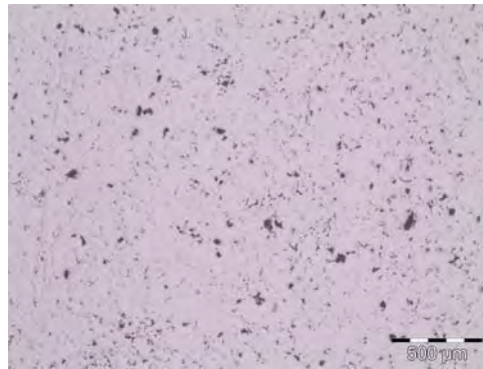


Figura 15. Ferro peça 2.

### 3.3 Microdureza

Tabela 2. Microdureza Vickers (HV)

Microdureza Vickers (HV)		
Níquel Amostra 1 (carga 25)	Níquel Amostra 2 (carga 25)	Níquel Amostra sem compactação (carga 10)
87,159	95,027	62,2841
Ferro Amostra 1 (carga 25)	Ferro Amostra 2 (carga 25)	Ferro Amostra sem compactação (carga 10)
86,0673	90,639	55,078

### 3.4 Curvas de Polarização

A Figura 16 mostra a curva de polarização para o níquel, realizado com um potenciostato, sendo usado como eletrodo de referência o calomelano saturado (ECS) e contra-eletrodo de platina. Sendo o NiS1 a amostra 1, NiS2 a 2 e NiSsc a amostra sem compactação. O eletrólito utilizado foi hidróxido de potássio 35%.

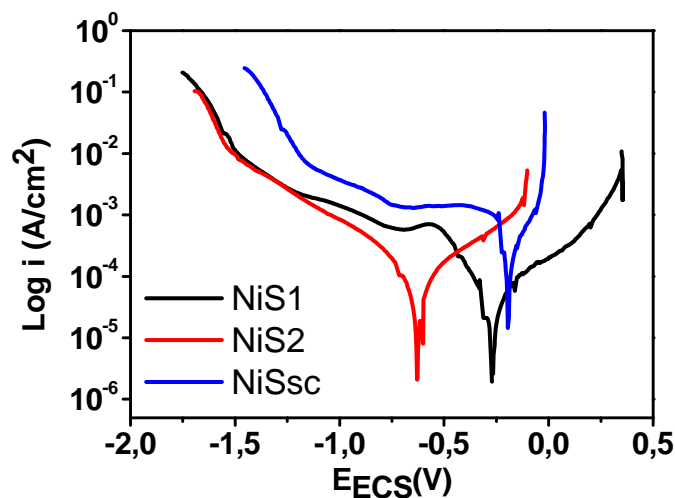


Figura 16. Curvas de polarização do Níquel.

A Figura 17 mostra os resultados obtidos para o Ferro. Os ensaios realizados com o Ferro sem compactação ainda não apresentaram resultados constantes, sendo



necessário repetir os experimentos com mais amostras. Os resultados encontrados podem não apresentar uma repetitividade devido a alta porosidade da peça.

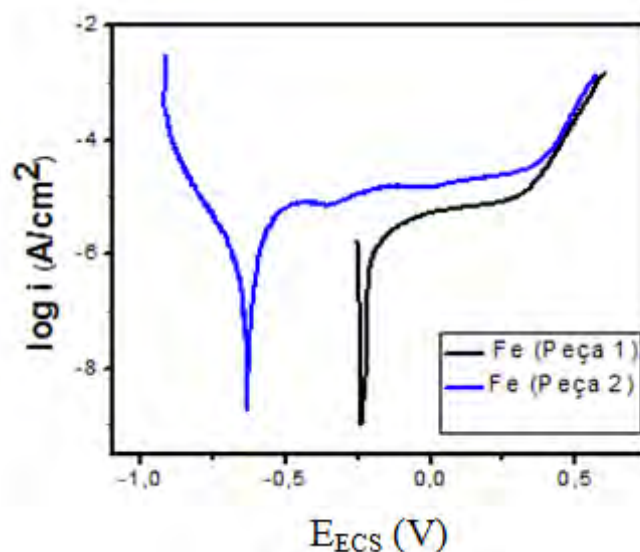


Figura 17. Curvas de polarização do Ferro.

#### 4 DISCUSSÃO

Observando os resultados de microscopia eletrônica de varredura é possível verificar que as amostras sem compactação apresentaram uma porosidade maior, porosidade está que vai diminuindo com o aumento da pressão de compactação do material. É possível observar também que o Ferro apresenta níveis de porosidade superiores aos do níquel mesmo nas mesmas condições de compactação.

A microscopia óptica permite reafirmar esta conclusão e também, a microdureza aponta para o mesmo resultado, visto que peças com dureza menor indicam a possibilidade de haver mais poros.

As curvas de polarização mostram que o níquel sem compactação é o que necessita menos potencial para iniciar a reação de oxidação-redução o que comprova que sua porosidade elevada comparada com as outras amostras, facilita a reação de oxidação-redução, aprimorando a bateria.

Os resultados das curvas para o Ferro indicam que a amostra 1 (feita com a pressão de compactação menor) é que necessita menor potencial, os resultados com o ferro sem compactação tiveram que ser ignorados, devido a não repetitividade dos mesmos.

#### 5 CONCLUSÃO

Os dados obtidos nos fazem concluir que a metalurgia do pó pode ser sim um processo de fabricação para baterias, com bons rendimentos. O procedimento que exclui a etapa de compactação dos pós pode ser eficiente para geração de eletrodos mais porosos.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a Capes pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- 1 Alves, Líria. *Diferença entre pilhas e baterias*. Equipe Brasil Escola, 2012.
- 2 Seguel, Julio Igor López. *Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital*. Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica. Belo Horizonte, agosto de 2009.
- 3 Varela, H., Huguenin, F.; Malta, M. Torresi, R. M. *Materiais para cátodos de baterias secundárias de lítio*. Química nova, vol. 25, n. 2, pág. 287-289, 2002.
- 4 A. P. C. Guimarães, C. M. Ribeiro, L. E. G. Bastos, L. C. G. Valente, P. C. D. Silva, and R.X.D. Oliveira. *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. CEPTEL – CRESESB, 2004.
- 5 Bateria de Thomas Edison volta a interessar os cientistas. Disponível em: [http://www.lqes.iqm.unicamp.br/canal\\_cientifico/lqes\\_news/lqes\\_news\\_cit/lqes\\_news\\_2012/lqes\\_news\\_novidades\\_1646.html](http://www.lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news/lqes_news_cit/lqes_news_2012/lqes_news_novidades_1646.html). Acesso em: 30/01/2013
- 6 Bateria de Níquel Ferro. HomePage Associação Armazenamento Permanente das Energias Renováveis. Disponível em: <http://www.nickel-iron-battery.com/>. Acesso em: 05/02/2013.
- 7 Braga, Neila de Almeida; Ferreira, Neidenêi Gomes; Cairo, Carlos Alberto Alves. Obtenção de titânio metálico com porosidade controlada por metalurgia do pó. Quím. Nova vol.30 no.2 São Paulo Mar./Apr. 2007.
- 8 Chiaverini, Vicente . *Metalurgia do pó: técnica e produtos*. 4<sup>a</sup> ed. São Paulo:ABM, 2001,300p.