

# RECARREGADOR INTELIGENTE DE BATERIAS

Paulo R. Possa, Fernando Passold  
Curso de Engenharia Elétrica, UPF. Passo Fundo - RS - Brasil  
Emails: paulopossa@yahoo.com, fpassold@upf.br

**Abstract**—Este trabalho descreve um protótipo de carregador inteligente de baterias que visa executar ciclos de carga e descarga específicos para cinco principais tipos de baterias encontradas no mercado (NiCd, NiMH, SLA, Li-Ion e Li-Po), juntamente com o diagnóstico da real capacidade de carga destas. Outro ponto relevante foi a revisão bibliográfica que levantou temas como métodos de carga, efeito memória, vantagens, desvantagens e aplicações de cada tipo de bateria.

**IndexTerms** - aeromodelismo, carregador de bateria, efeito memória, métodos de carga, robótica, sistemas eletrônicos portáteis.

## I. INTRODUÇÃO

A grande dificuldade na aplicação de baterias recarregáveis em projetos eletrônicos portáteis é a necessidade de carregadores específicos para cada tipo e modelo de bateria. Outra dificuldade é a execução correta dos ciclos de carga e descarga que garantem uma vida útil para a bateria, igual ou maior do que a especificada pelo fabricante. Também, a maioria dos carregadores comerciais não consegue diagnosticar a real capacidade da bateria. Isto é muito importante para a prevenção de acidentes e falhas em sistemas que dependam de baterias recarregáveis como no caso de aeromodelos.

Este trabalho trata do desenvolvimento de um protótipo resultante de um projeto de final de graduação em Engenharia Elétrica. Ele visa minimizar as dificuldades relacionadas com os ciclos de carga e descarga de diferentes tipos de baterias recarregáveis, realizar diagnósticos da real capacidade de carga e, com os dados levantados na revisão bibliográfica, auxiliar os alunos de Engenharia Elétrica em aplicações que exijam carregadores específicos e de baixo custo, como por exemplo, no projeto de robôs móveis ou de aeromodelos.

Foi prevista a aplicação deste protótipo para um grupo de cinco diferentes tipos de baterias recarregáveis mais comumente utilizadas em sistemas eletrônicos portáteis. Sendo estas: Níquel Cádmio (NiCd), Níquel-Metal Hidreto (NiMH), Chumbo-Ácido Selado (SLA), Íon de Lítio (Li-Ion) e Polímero de Lítio (Li-Po).

## II. BATERIAS RECARREGÁVEIS

A revisão bibliográfica levantou dados técnicos dos cinco principais tipos de baterias recarregáveis utilizadas em siste-

mas portáteis já citadas no item anterior (NiCd, NiMH, SLA, Li-Ion e Li-Po). Foram consideradas questões como: métodos de carga, efeito memória, vantagens e desvantagens de cada tipo de bateria.

Cada tipo difere basicamente em sua constituição química, possuindo características próprias no que diz respeito aos métodos de carga, capacidades de descarga e manutenção da sua carga ([1] [3] [4]). Segue uma breve descrição sobre cada um dos cinco tipos:

- Níquel Cádmio (NiCd) – Entre as baterias recarregáveis, as de NiCd são a escolha mais popular para aplicação em equipamentos portáteis. Mais de 50% de todas as baterias recarregáveis utilizadas para este fim são de NiCd. Esta popularidade se deve ao grande número de ciclos de carga que é capaz de suportar durante sua vida útil (mais de 1000 ciclos) e também por possuir o menor custo por ciclo entre as baterias. Porém ela é suscetível ao efeito memória e possui Cádmio que é um elemento altamente tóxico ([1] [4]).
- Níquel-Metal Hidreto (NiMH) – As baterias de NiMH são as mais prováveis substitutas das baterias de NiCd. Seu sucesso está baseado na alta densidade de energia e em sua composição de materiais de baixa toxicidade. Células modernas de NiMH oferecem 40% a mais de densidade de energia em comparação às de NiCd. Porém também são suscetíveis ao efeito memória e suportam um número limitado de ciclos de carga (entre 300 e 500 ciclos) ([1] [3]).
- Chumbo-Ácido Selado (SLA) – É a mais antiga fonte recarregável comercializada e, por este motivo, possui uma tecnologia bem desenvolvida. Requer pouca manutenção e não é suscetível ao efeito memória. Por outro lado, contém chumbo que é tóxico e possui baixa densidade de energia que limita sua aplicação a sistemas portáteis leves ([1] [5]).
- Íon de Lítio (Li-Ion) – O Lítio é o metal mais leve existente, possui um grande potencial eletro-químico que proporciona uma grande densidade de energia. Baterias recarregáveis que utilizam lítio no eletrodo negativo são capazes de fornecer tanto uma tensão alta quanto uma excelente capacidade de carga, resultando em uma alta

densidade de energia. Em contra partida possui um alto custo de fabricação, em torno de 40% mais caro que as de NiCd. Sua tecnologia é nova e ainda está em desenvolvimento ([1] [6]).

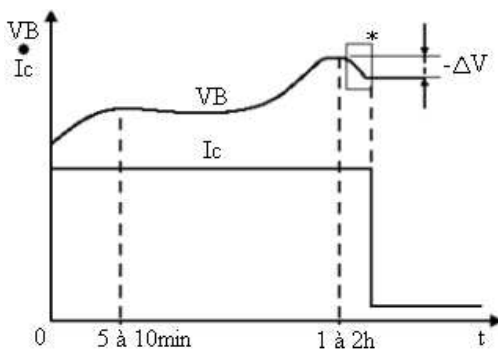
- Polímero de Lítio (Li-Po) – O polímero seco de Lítio oferece simplificações com respeito a fabricação e segurança, aceitando formatos geométricos finos. Não existe o risco explosões porque não utiliza líquido ou gel como eletrólito. Permite a fabricação de baterias tão finas quanto um cartão de crédito. Porém, tal como as baterias de Li-Ion, possuem alto custo de fabricação e sua tecnologia ainda está em desenvolvimento [1].

### III. MÉTODOS DE CARGA

Foram adotados dois métodos de carga no protótipo: A) Carga por Detecção de  $-\Delta V$  e B) Carga por Controle de Tensão e Corrente Constante. Estes dois métodos abrangem os cinco tipos de baterias estudadas com grande precisão e segurança, sendo que o de Carga por Detecção de  $-\Delta V$  é aplicado às baterias de NiCd e NiMH e o de Carga por Controle de Tensão e Corrente Constante é aplicado às baterias de SLA, Li-Ion e Li-Po [1].

#### A. Carga por Detecção de $-\Delta V$

Este processo de carga baseia-se na detecção de uma pequena queda na tensão da bateria durante a carga. Esta ocorre quando a carga da bateria chegou ao máximo. A Fig. 1 ilustra melhor este padrão de carregamento, onde  $VB$  se refere a tensão detectada na bateria,  $Ic$  se refere à corrente de carga da bateria,  $t$  se refere ao tempo da carga e  $-\Delta V$  corresponde a variação negativa de tensão [1].



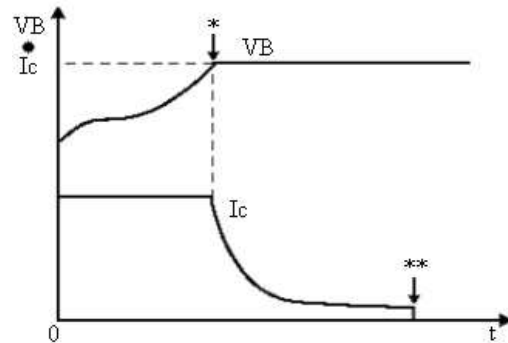
Obs: \* se refere ao ponto a ser detectado.

Fig. 1. Processo de Detecção de  $-\Delta V$ .

#### B. Carga por Controle de Tensão e Corrente Constante

Este é o método de carga indicado para baterias de Li-Ion, Li-Po e SLA. Consiste em aplicar uma corrente constante na bateria até que ela atinja um determinado nível máximo de tensão. Quando isto acontece, o sistema de controle passa a

manter esta última tensão constante enquanto a corrente cai até um valor mínimo que indica que a bateria está carregada [1]. A Fig. 2 demonstra o padrão de carga esperado para este caso.



Obs: \* indica o nível máximo de tensão, e; \*\* indica o nível mínimo de tensão.

Fig. 2. Processo de Carga por Controle de Tensão e Corrente Constante.

### IV. EFEITO MEMÓRIA

O termo “Efeito Memória” surgiu para tentar explicar porque as baterias baseadas em níquel (NiCd e NiMH) “lembravam” o quanto elas haviam sido descarregadas durante os últimos ciclos. Ou seja, se ocorrer repetidamente uma descarga parcial da bateria e logo em seguida uma recarga completa, a capacidade desta bateria ficará limitada a fração que foi consumida anteriormente. A Fig. 3 ilustra este efeito.

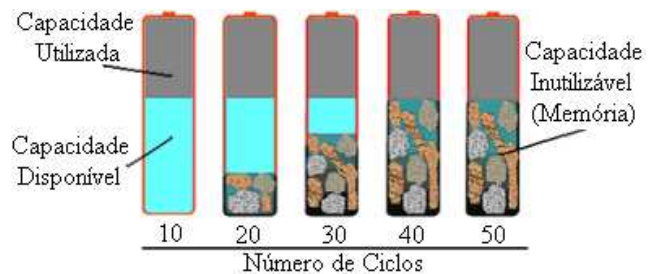


Fig. 3. Efeito Memória nas baterias de NiCd e NiMH.

Este efeito se deve a cristalização do hidróxido de níquel que compõe o eletrodo positivo. Em uma célula em boas condições, os cristais de hidróxido de níquel são extremamente pequenos, resultando numa máxima área superficial. O fenômeno do efeito memória surge quando estes cristais se unem aumentando seu tamanho e, com isso, diminuindo a superfície em contato com o eletrólito. Em estágios avançados, os cristais podem crescer através do separador causando uma alta auto-descarga ou até um curto-circuito interno ([1] [4]).

Segundo a fabricante Duracell [3], o ciclo completo de carga restaura os materiais ativos da bateria. Se o ciclo for parcial, parte deste material não retornará ao seu estado

original.

## V. PROTÓTIPO DESENVOLVIDO

A Fig. 4 mostra um diagrama de blocos do protótipo desenvolvido para o Recarregador Inteligente de Baterias.

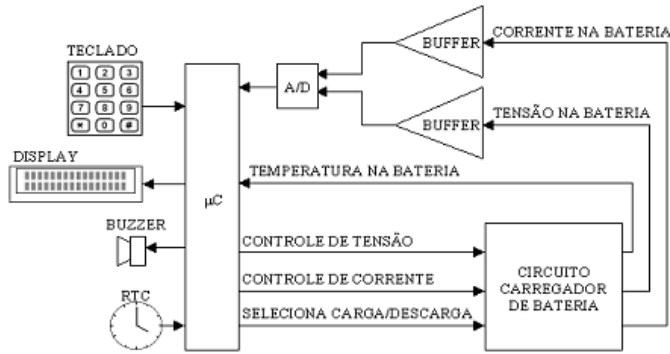


Fig. 4. Diagrama de Blocos do Carregador.

O bloco denominado “ $\mu C$ ” representa o microcontrolador AT89S8252 (fabricante Atmel). Ele foi selecionado por questões de disponibilidade no mercado local, familiaridade prévia com este tipo de componente e pela facilidade de programação no próprio circuito (*in-circuit programming*), isto é, ele não exige hardware adicional para gravação, pois permite sua programação mesmo já estando incorporado ao hardware (diferente, por exemplo, do AT89S8253). Este microcontrolador incorpora 4 portas E/S de 8 bits, 8K Bytes de memória de programa, 3 contadores/temporizadores de 16 bits além do *watchdog*.

Através do bloco “A/D” (conversor analógico/digital), mostrado na Fig. 4, o  $\mu C$  recebe informação de corrente e tensão circulando na bateria. O A/D adotado foi o ADC0832 fabricado pela National. Trata-se de um A/D serial de 2 canais com resolução de 8 bits e período de conversão de 32ms. Sua comunicação com  $\mu C$  se dá emulando barramento serial MICROWIRE [7].

O bloco “RTC” representa um relógio de tempo real adotado para determinar com exatidão o tempo de cada processo de carga e descarga. Foi utilizado o RTC DS1307 do fabricante Maxim. Este CI se conecta ao  $\mu C$  através de emulação de barramento serial I2C [8].

O conjunto Teclado, Display e Buzzer formam a interface homem-máquina. O Teclado de 4 linhas por 3 colunas serve para entrada dos parâmetros relacionados com a bateria a ser carregada, à saber: tipo de bateria, número de células, carga nominal e número de ciclos desejados. Um Display paralelo de 2 linhas por 16 colunas mostra os dados digitados, os valores monitorados durante a carga e a descarga (corrente, tensão e temperatura na bateria e o tempo do processo) e o diagnóstico da real capacidade da bateria. Um Buzzer do tipo

piezo-elétrico, emite sinais sonoros para avisar ao usuário se os dados digitados estão corretos (um bip curto) ou não (três bips curtos) e o término do processo de carga (quatro bips longos).

O bloco “Circuito Carregador de Bateria” aparece melhor detalhado na Fig. 5.

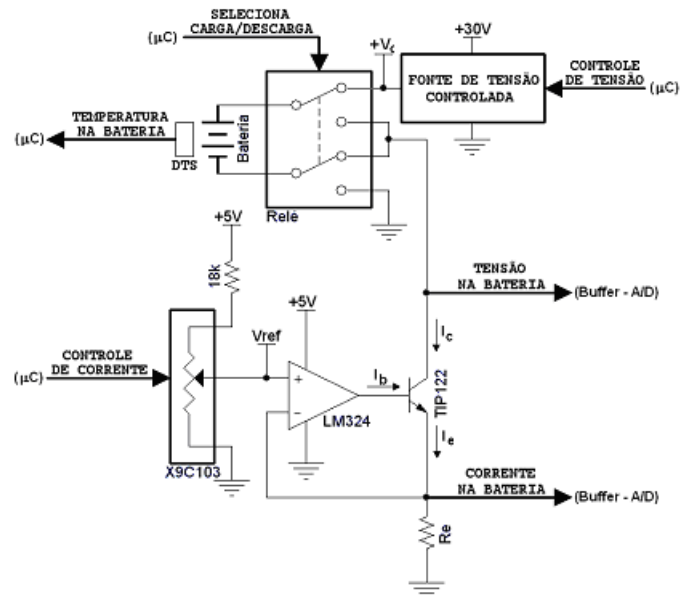


Fig. 5. Circuito Carregador de Baterias.

O controle da corrente de carga e descarga é feito através de dois componentes: o X9C103 e o LM324. O LM324 é um amplificador operacional quádruplo de baixa potência fabricado pela National. Está configurado como seguidor de tensão [2]. Como sua realimentação vem do emissor do TIP122 (transistor darlington NPN de potência fabricado pela Texas Instruments), a tensão no emissor do TIP122 será a mesma da entrada não-inversora do LM324. Sendo que a corrente do emissor pode ser determinada através de:

$$I_e = \frac{V_{Ref}}{R_e} = I_b \times \beta \quad (1)$$

onde:  $I_e$  = corrente de emissor;  $V_{Ref}$  se refere à tensão na entrada não-inversora do LM324;  $R_e$  refere-se ao resistor no emissor;  $I_b$  seria a corrente na base do transistor e  $\beta$  se refere ao ganho do transistor (hfe).

A corrente no coletor ( $I_c$ ) do TIP122, que coincide com a corrente que circula pela bateria, é dada por:

$$I_c = I_e - I_b \quad (2)$$

Como o  $\beta$  do TIP122 é elevado (tipicamente igual a 1000), então pode-se assumir que  $I_c$  é praticamente igual a  $I_e$ . Sendo assim, a corrente sobre  $R_e$  coincide com a própria corrente que circula pela bateria. Como o  $R_e$  adotado é de  $1\Omega$  por 5W,

pode-se determinar a tensão sobre este resistor ( $V_{Re}$ ) como sendo:

$$V_{Re} = I_e \times R_e \quad (3)$$

Notamos então que  $V_{Re}$  tem a mesma magnitude da corrente que circula pela bateria – saída “Corrente na Bateria” que segue para o bloco “A/D” – Fig. 4.

A tensão  $V_{Ref}$  é fornecida por um DCP (potenciômetro controlado digitalmente), mais especificamente, o X9C103 do fabricante Intersil. Este dispositivo possui resistência total de  $10k\Omega$  divididos em 100 passos. No circuito ele funciona como um divisor de tensão juntamente com um resistor de  $18k\Omega$ .

O protótipo conta ainda com um sensor de temperatura, o DTS TMP100 do fabricante Texas Instruments (obtido como amostra). Ele possui resolução máxima de 12 bits e é capaz de medir temperaturas variando de  $-55$  à  $125^\circ\text{C}$ . Ele se comunica com o  $\mu\text{C}$  através de barramento serial padrão I2C [8], no caso, o mesmo já utilizado para o RTC. Este sensor monitora a temperatura de carga da bateria evitando que esta supere os  $45^\circ\text{C}$  (temperatura máxima recomendada para carga de baterias) [1].

O bloco “Relé” (Fig. 5), acionado pelo sinal “Seleciona Carga/Descarga”, tem o papel de interligar a bateria ao carregador de duas maneiras: modo de carga e modo de descarga. No modo de carga a bateria fica conectada em série com a fonte de corrente controlada; e no modo de descarga a bateria fica em paralelo com a fonte de corrente controlada (o que permite controlar de forma segura a máxima corrente de descarga da bateria).

Na saída denominada “Tensão na Bateria”(Fig. 5), temos a tensão  $V_{Re}$  somada à  $V_{ce}$  (tensão entre o emissor e o coletor do TIP122). Como a tensão de saída da Fonte de Tensão Controlada é conhecida, através de software a tensão  $V_{Re} + V_{ce}$  é subtraída da saída da fonte, obtendo-se assim a tensão presente sobre a bateria.

O bloco “Fonte de Tensão Controlada” (Fig. 5) é baseado no regulador de tensão LM338 fabricado pela National. Este CI é capaz de fornecer corrente de até 5A e uma tensão de até 32V na saída. Esta fonte se faz necessária durante o processo de carga das baterias de SLA, Li-Ion e Li-Po. Na entrada “Controle de Tensão” (Fig. 5) existe um expansor de E/S de 8 bits, o PCF8574 fabricado pela Philips. Este CI se comunica com o  $\mu\text{C}$  através de barramento serial padrão I2C [1], no caso, o mesmo utilizado pelo RTC e pelo DTS e é representado na Fig. 5 pela entrada “Controle de Tensão”. Este expansor conecta o  $\mu\text{C}$  a um CI driver de corrente (CI ULN2803 do fabricante Allegro) capaz de drenar uma corrente de até 500mA para o terra. Para regular a tensão de saída do LM338 é necessário variar a resistência conectada entre seu pino de ajuste e o terra (ver Fig. 6).

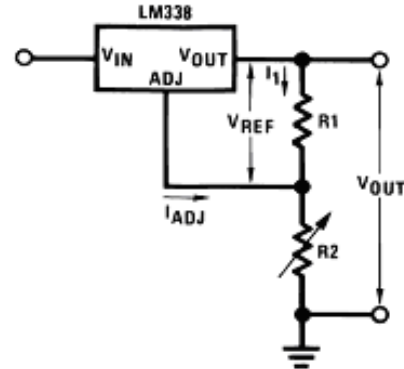


Fig. 6. Tensão na saída do LM338.

Para obter sete níveis de tensão necessários para o correto funcionamento do sistema, foram determinados sete valores de resistências através de:

$$V_{out} = V_{Ref} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{adj} R_2 \quad (4)$$

onde  $V_{out}$  se refere a tensão de saída ( $V_c$  da Fig. 5);  $V_{Ref}$  é a tensão de referência interna do LM338;  $R_1$  e  $R_2$  são resistores usados para ajuste da tensão e  $I_{adj}$  se refere a corrente de ajuste. Os valores para  $R_2$  são encontrados a partir de:

$$R_2 = \frac{V_{out} - V_{Ref}}{\frac{V_{Ref}}{R_1} + I_{adj}} \quad (5)$$

Após o cálculo dos valores para  $R_2$ , diferentes resistores foram conectados a cada porta do driver de corrente (CI ULN2803) e no pino de ajuste do LM338. Desta forma, o  $\mu\text{C}$  é capaz de controlar a tensão de saída da fonte através do expansor de E/S (PCF8574) ligado ao driver de corrente (ULN2803).

## VI. INTERFACE COM O USUÁRIO

Na programação do sistema foi considerada a criação de uma interface simples e intuitiva com o usuário. Através do teclado informam-se os parâmetros da bateria a ser carregada. Esses parâmetros são solicitados ao usuário através de uma série de menus.

Após as mensagens iniciais (nome do sistema, nome do autor, data e versão do software), o usuário tem acesso aos menus na seguinte seqüência: Tipo de Bateria; Carga Nominal; Número de Células; e Número de Ciclos.

Uma vez tendo sido passadas as informações necessárias para carga da bateria, o usuário pode acompanhar no display as principais informações relacionadas ao processo em andamento (ver Fig. 7 e 8).

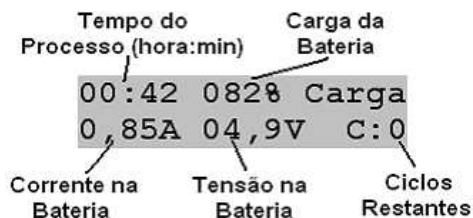


Fig. 7. Mensagem durante descarga de bateria.



Fig. 8. Mensagem durante carga de bateria.

O valor “Carga da Bateria” (Fig. 7) reflete a carga da bateria logo após a última descarga efetuada na mesma. Este valor percentual estima a real capacidade da bateria e não a nominal [1]. Este diagnóstico é baseado na equação:

$$C = 100 \times \frac{T_d}{60} \quad (6)$$

onde  $C$  se refere a capacidade real da bateria (% em relação à capacidade nominal indicada pelo fabricante da bateria) e  $T_d$  se refere ao tempo de descarga (em minutos).

A Fig. 9 mostra o aspecto final do protótipo desenvolvido.



Fig. 9. Protótipo desenvolvido.

## VII. ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA

Este sistema foi projetado a fim de carregar os cinco tipos de baterias mais comuns do mercado (NiCd, NiMH, SLA, Li-Ion e Li-Po). Como cada tipo de bateria possui uma grande quantidade de modelos com várias capacidades de carga e

tensão, o projeto precisou ser direcionado para os modelos mais encontrados no mercado.

Com este direcionamento, o sistema foi dimensionado para as seguintes capacidades máximas apresentadas na Tabela I.

TABLE I  
ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA.

Tipo de Bateria	No. de Células	Tensão Nominal	Carga Nominal
NiCd, NiMH	8	9,6V	3000mAh
SLA	6	12V	7Ah
Li-Ion, Li-Po	4	14,4V	3000mAh

Obs: valores máximos.

## VIII. RESULTADOS

A Fig. 10 retrata o ensaio realizado com uma bateria de NiCd contendo duas células de 1000mAh. Esta bateria foi retirada de um celular antigo que estava fora de uso a mais de três anos e após o processo de quatro ciclos de carga completas (descarga + carga), já estava em condições de uso.

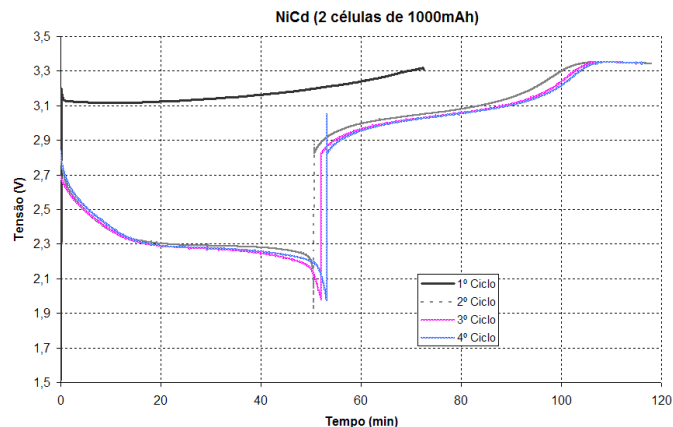


Fig. 10. Ciclos de descarga e carga para bateria de NiCd.

No primeiro ciclo o carregador iniciou a carga logo após ter detectado que a bateria estava descarregada. Nos ciclos seguintes, pode-se perceber que houve um ganho de capacidade a cada novo ciclo de carga. Os resultados estão expressos na Tabela II. Estes resultados confirmam que é possível recuperar baterias mesmo com o “Efeito Memória”, dentro de certos limites ([1] [4]).

TABLE II  
DIAGNÓSTICOS PARA BATERIA DE NiCd.

Ciclo	Diagnóstico de Carga	Tempo total (min)
1	0%	72,58
2	84%	117,97
3	87%	115,10
4	89%	116,19

## IX. CONCLUSÃO

Este trabalho poderá ser utilizado como base teórica tanto para a seleção e o dimensionamento de baterias para novos projetos, quanto para o projeto de carregadores específicos de baixo custo. Já o protótipo, surge como uma ferramenta para auxiliar projetos em andamento nas áreas de aeromodelismo e robótica móvel. Permitiu também elucidar os métodos corretos e adequados de carga para diferentes tipos de bateria.

O protótipo desenvolvido atingiu os resultados esperados tendo sido capaz de recarregar diferentes tipos de baterias desde que fossem respeitados seus limites de capacidade de tensão e de corrente. Além disto foi possível implementar um algoritmo simples para correto diagnóstico da capacidade real da bateria e não sua capacidade nominal, o que no caso de aplicações nas áreas de aeromodelismo permite ainda evitar acidentes (eventualmente graves) relacionadas com quedas prematuras de aeromodelos por perda de autonomia de sua bateria.

O sucesso alcançado com a montagem deste protótipo incitou inclusive sua possibilidade de industrialização.

## REFERENCES

- [1] Isidor Buschman, *Batteries in a Portable World*, 2001. URL: <<http://www.buchmann.ca/toc.asp>>. Acesso em: 14 jul. 2005.
- [2] Antônio M. V. Cipelli, *Teoria e desenvolvimento de projetos de circuitos eletrônicos*, 17<sup>a</sup> ed., São Paulo: Érica, 1999.
- [3] Duracel, *Ni-MH Rechargeable Batteries*, 2004. URL: <<http://www.duracell.com/oem/Pdf/others/TECHBULL.pdf>>. Acesso em 15 ago. 2005.
- [4] Panasonic, *Nickel Cadmium Handbook*, 2003. URL: <[http://www.panasonic.com/industrial/battery/oem/images/pdf/Panasonic\\_NiCd\\_ChargeMethods.pdf](http://www.panasonic.com/industrial/battery/oem/images/pdf/Panasonic_NiCd_ChargeMethods.pdf)>. Acesso em 10 jul. 2005.
- [5] Panasonic, *VRLA Batteries*, 2003. URL: <[http://www.panasonic.com/industrial/battery/oem/images/pdf/Panasonic\\_VRLA\\_ChargingMethods.pdf](http://www.panasonic.com/industrial/battery/oem/images/pdf/Panasonic_VRLA_ChargingMethods.pdf)>. Acesso em 10 jul. 2005.
- [6] Panasonic, *Lithium Ion*, 2003. URL: <[http://www.panasonic.com/industrial/battery/oem/images/pdf/Panasonic\\_LiIon\\_Overview.pdf](http://www.panasonic.com/industrial/battery/oem/images/pdf/Panasonic_LiIon_Overview.pdf)>. Acesso em 10 jul. 2005.
- [7] National, *MICROWIRE Serial Interface*, 1992. URL: <<http://www.national.com/an/AN/AN-452.pdf>>. Acesso em 10 ago. 2005.
- [8] Philips, *The I2C-Bus Specification*, 2000. URL: <<http://www.semiconductors.philips.com/acrobat/literature/9398/39340011.pdf>>. Acesso em 10 ago. 2005.