

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

WILLIAN TOSHIO TATEYAMA

Carregador de baterias de íon de lítio através de microcontroladores

São Carlos, SP
2011

Willian Toshio Tateyama

Carregador de baterias de íon de lítio através de microcontroladores

Trabalho de Conclusão de Curso
Escola de Engenharia de São Carlos, da
Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em
Eletrônica

ORIENTADOR: Jerson Barbosa de Vargas

São Carlos, SP
2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Tateyama, Willian Toshio.

T217c

Carregador de baterias de íon de lítio através de
microcontroladores / Willian Toshio Tateyama ;
orientador Jerson Barbosa de Vargas -- São Carlos, 2011.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
Ênfase em Eletrônica) -- Escola de Engenharia de São
Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

1. PIC16F877A. 2. Microcontrolador. 3. Baterias íon-
Lítio. 4. Carregador de bateria. 5. PWM. I. Título.

Dedico este trabalho a minha família pelo esforço, dedicação, compreensão e apoio em todos os momentos, pois sem ela esse sonho não seria possível.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus pais, que sempre confiaram, incentivaram, apoiaram e foram exemplos em todos os momentos de minha vida.

Aos meus irmãos, por serem meus melhores amigos e eu poder confiar nisso.

Aos meus professores, pelo conhecimento inestimável transmitidos durante a graduação.

Ao meu orientador Jerson Barbosa de Vargas, que me ajudou em todas as etapas, dedicando seu tempo e esforço.

Ao César Domingues, que tornou possível a realização deste trabalho. Sua paciência, tempo, co-orientação, dedicação e sugestões foram essenciais para o desenvolvimento do projeto.

Ao Alessandro Rodrigo Locatti por me ajudar nas várias partes técnicas do trabalho.

Aos amigos que fizeram da graduação um excelente momento de minha vida, compartilhando alegrias e me ajudando nas dificuldades.

"Inquietação e descontentamento são as primeiras necessidades do progresso."

Thomas A. Edison

Resumo

Este trabalho propõe desenvolver um carregador de celular que possa ser utilizado em qualquer bateria de íon de lítio. A idéia é substituir o grande número de modelos de carregadores existentes por apenas um, que consiga fornecer os parâmetros adequados de carregamento para todas as baterias. Para que o dispositivo consiga realizar seu trabalho, o PIC16F877A realiza seguintes etapas: medição dos parâmetros da bateria, processamento e modulação de sinal de resposta. A medição é realizada pelo conversor analógico/digital através da comparação de amostras de tensões pelo método de aproximações sucessivas. Os valores digitais são comparados com outros determinados previamente para se verificar o modo de carregamento e a resposta do processamento é um sinal modulado em largura de pulso. Embora não seja essencial, foi utilizado um *display* LCD para usuários que desejem visualizar informações mais técnicas. O dispositivo foi programado utilizando a linguagem de programação C, juntamente com bibliotecas que contém funções específicas para o PIC escolhido, e o protótipo foi desenvolvido pensando em um produto comercial que possa ser reproduzido em uma linha de montagem e que possibilite atualizações em *hardware* e *software*. Os resultados obtidos foram satisfatórios e os custos analisados.

Palavras-Chave: PIC16F877A, microcontrolador, bateria de íon de lítio, carregador de bateria, PWM.

Abstract

This work proposes to develop a mobile phone charger that can be used for any Lithium-ion battery. The idea is to replace the large amount of existing models with only one charger that can supply the appropriate parameters of charging for every battery. For the device can do its work, PIC16F877A performs the following steps: measurement of the parameters of the battery, processing and modulation of the response signal. The measurement was performed by the analog-to-digital converter; it compares samples of tensions by the method of successive approximations. The digital values are compared with others predetermined to check the charging method, and the response of the processing is a pulse width modulated signal. Although not an essential tool, it was used an LCD display for users who want more technical information. The device was programmed using C programming language, along with libraries containing specific functions for the chosen PIC. The prototype was developed considering a commercial product that can be made on an assembly line and able to upgrade the hardware and software. The results were satisfactory and costs were analyzed.

Keywords: PIC16F877A, microcontroller, lithium-ion battery, battery charger, PWM.

Lista de figuras

Figura 1 - Bateria de íon de lítio	28
Figura 2 - Diagrama de pinos do PIC16F877A.....	29
Figura 3 - Esquemático do PIC16F877A.....	29
Figura 4 - MAX232, converte o padrão RS232 para TTL.....	31
Figura 5 - Desenho Técnico das ligações do LCD.....	32
Figura 6 - Regulador de tensão de 5 volts.....	33
Figura 7 - Compilador CCS-PCWHD.....	35
Figura 8 - Interface do software programador de PIC pelo método Serial Bootloaders.....	36
Figura 9 - Diagrama de blocos do protótipo.....	37
Figura 10 - Placa de circuito impresso.....	38
Figura 11 - Gráfico de carregamento do celular LG com carregador do fabricante Corrente x Tempo.....	39
Figura 12 - Gráfico de carregamento do celular LG com carregador do fabricante Tensão x Tempo.....	39
Figura 13 - Gráfico fornecida pela empresa Apple de uma bateria genérica de íon de lítio.....	40
Figura 14 - Curva de Carregamento da bateria do modelo CGR18650 da Panasonic.....	40
Figura 15 - Circuito responsável pela conversão Digital/Analógica.....	41
Figura 16 - Tensão da bateria x Tensão média do PWM.....	42
Figura 17 - Fluxograma das funções realizadas pelo algoritmo.....	43
Figura 18 - Configurações dos parâmetros de trabalho.....	44
Figura 19 - Declaração das variáveis.....	44
Figura 20 - Leitura dos Valores Analógicos e ajuste.....	45
Figura 21 - Comparação dos valores.....	45
Figura 22 - Algoritmo de segurança.....	45
Figura 23 - Algoritmo para se utilizar o <i>bootloader</i>	46
Figura 24 - Programa principal.....	47
Figura 25 - Protótipo do circuito montado e funcionando.....	48
Figura 26 - Corrente de carga da bateria LG com o protótipo.....	49
Figura 27 - Tensão de carga da bateria LG com o protótipo.....	49
Figura 28 - Circuito utilizado no descarregamento da bateria.....	50
Figura 29 - Tensão de descarga da bateria da LG com carga obtida com o protótipo.....	50
Figura 30 - Corrente de descarga da bateria LG com carga obtida com o protótipo.....	51
Figura 31 - Tensão de descarga da bateria da Nokia com carga obtida com o carregador.....	51
Figura 32 - Corrente de descarga da bateria da Nokia com carga obtida com o carregador. ..	52
Figura 33 - Corrente de descarga da bateria da Nokia com carga obtida com o carregador. ..	52
Figura 34 - Corrente de carga da bateria Nokia com o protótipo.....	53
Figura 35 - Corrente de descarga da bateria da Nokia com carga obtida com o protótipo	53
Figura 36 - Corrente de descarga da bateria da Nokia com carga obtida com o protótipo.....	54

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Níveis de tensão dos bits em TTL e RS232.....	31
Tabela 2 – Preços dos Materiais se comprado em grande quantidade.....	54

Lista de Abreviaturas e Siglas

BJT	Bipolar Junction Transistor
CAD	Conversor Analógico Digital
CDA	Conversor Digital Analógico
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
LIB	Lithium-Ion battery
MCU	Microcontroller
PCI	Placa de Circuito Impresso
PIC	Peripheral Interface Controller
PWM	Pulse Width Modulation
RMS	Root Mean Square

Sumário

Agradecimentos.....	9
Resumo.....	13
Abstract.....	15
Lista de Figuras.....	17
Lista de Tabelas.....	19
Lista de Siglas.....	21
Sumário.....	23
Capítulo 1 - Introdução	25
1.1 Apresentação	25
1.2 Objetivos	25
1.3 Organização da monografia	26
Capítulo 2 - Revisão de Literatura.....	27
2.1 Baterias de íon de lítio	27
2.2 Características Gerais do Microcontrolador	28
2.2.1 <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	30
2.2.2 Conversor analógico/digital	30
2.3 MAX232.....	31
2.4 LCD	32
2.5 LM7805	32
2.7 Reset	33
2.8 Leds	33
2.9 Especificação dos Softwares	34
2.9.1 Eagle Cadsoft 5.9.0.....	34
2.9.2 CCS-PCWHD 4.068.....	34
2.9.3 LTSPICE IV.....	35
2.9.4 PICbootPlus	35
Capítulo 3 - Materiais e Métodos	37
3.1 PCI	37
3.2 Testes de Carregamento da Bateria.....	39
3.3 Circuito de Carregamento.....	41

3.4	Codificação da solução	42
3.4.1	Configurações dos parâmetros de trabalho	43
3.4.2	Declaração das variáveis	43
3.4.3	Leitura dos Valores Analógicos e ajuste.....	44
3.4.4	Comparação dos valores	45
3.4.5	Algoritmo de segurança	45
3.4.6	Algoritmo para se utilizar o <i>bootloader</i>	46
3.4.7	Programa principal.....	46
Capítulo 4	- Resultados	49
4.1	Testes.....	Erro! Indicador não definido.
4.2	Custos dos Materiais.....	53
4.3	Discussão.....	53
Capítulo 5	- Conclusão.....	54
Capítulo 6	- Sugestões para Trabalhos Futuros.....	55
Referências Bibliográficas		61

Capítulo 1 - Introdução

1.1 Apresentação

Atualmente na União Europeia, por exemplo, cerca de 185 milhões de celulares são vendidos por ano, dos quais cerca de 50% são trocas de celulares por outro mais moderno. O resultado da troca significa adquirir normalmente um novo carregador, incompatível com outras marcas de celulares, o que torna um incômodo e um custo adicional para o usuário e gera uma enorme quantidade de resíduos eletrônicos desnecessários. Tendo em vista que esse é um problema que afeta tanto os consumidores quanto o meio ambiente, a comissão Europeia em conjunto com 14 dos principais fabricantes de celulares de todo mundo concordaram em padronizar os carregadores. Ao longo dos anos, estima-se que essa medida possa reduzir em 50.000 toneladas de lixo eletrônico ao ano. E se a padronização for bem aceita entre os usuários e fabricantes, poderá ser expandida para outros equipamentos eletrônicos, como câmeras e tocadores de música. É esperado ainda que um carregador universal, cumprindo os novos padrões europeus, aumente a eficiência e reduza o consumo energético (Comissão Europeia – Empresas e Indústria, 2011).

Com preços tão competitivos, a produção de carregadores eficientes se tornou uma baixa prioridade na fabricação dos celulares, embora o desempenho e a longevidade da bateria dependam em grande parte de sua qualidade. Vale a pena ainda considerar no custo de fabricação de um carregador, o prejuízo de uma possível substituição da bateria caso seja danificada, principalmente com a ascensão dos *smartphones*, que para se tornarem mais compactos, integraram a bateria ao circuito do celular, dificultando sua troca.

Tendo em vista esse problema a ser superado, utilizou-se os conhecimentos da graduação no desenvolvimento de uma solução completa, envolvendo desde a discussão sobre a necessidade do projeto até a fabricação de um protótipo e análise de seu custo/benefício.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um protótipo de carregador que possa ser usado em qualquer celular que utilize bateria de íon de lítio. O protótipo tem um microcontrolador que conta com um conversor analógico/digital para fazer as medidas de tensão e corrente na bateria; modulador por largura de pulso para controlar a energia fornecida durante o carregamento; um LCD, onde são mostradas informações relevantes ao carregamento, como a tensão da bateria, corrente e quantidade de carga armazenada e restante, para usuários que desejam visualizar informações mais técnicas; e um circuito integrado MAX232 que realiza a comunicação assíncrona do PIC com o computador para a gravação de programas. O projeto visa ainda um produto comercial, no qual se considera a facilidade de reprodução em uma linha de montagem, custo, possibilidade de melhorias, entre outras características que tornam possíveis sua produção. E como uma diretriz para elaboração do trabalho de formatura, o projeto tem como objetivo principal a abordagem e integração das várias áreas da engenharia elétrica, na construção de um produto completo (*hardware/software*), seguindo muitas etapas de pesquisa e desenvolvimento utilizadas nas indústrias, como:

- 1) Discussão sobre a viabilidade do projeto;

- 2) Estudo dos parâmetros de carregamento da bateria;
- 3) Estudo de *hardwares* e *softwares*;
- 4) Simulações;
- 5) Desenvolvimento da placa de circuito impresso e do circuito conversor digital/analógico;
- 6) Levantamento dos custos;
- 7) Testes;

1.3 Organização da monografia

A monografia se estrutura de acordo com a segmentação de capítulos proposta a seguir:

Capítulo 1: Introdução - Apresenta o tema da monografia, bem como os objetivos, de modo a fornecer uma idéia abrangente sobre o tema.

Capítulo 2: Revisão de Literatura – Tem como objetivo apresentar conceitos como, características das baterias de íon de lítio, bem como *hardwares* e *softwares* utilizados.

Capítulo 3: Materiais e Métodos – Este capítulo trata a metodologia utilizada para desenvolver o trabalho, assim como os materiais utilizados para cumprir com os objetivos propostos.

Capítulo 4: Resultados e Discussões – Esse capítulo apresenta os resultados obtidos com a aplicação da metodologia e a análise desses resultados. Apresenta também as conclusões do estudo e possíveis melhorias.

Capítulo 5: Conclusões

Capítulo 6: Sugestões para Trabalhos Futuros

Capítulo 2 – Revisão de Literatura

2.1 Baterias de íon de lítio

O lítio é o metal mais leve e um dos elementos mais reativos conhecidos. Baseado nessas características, as baterias que utilizam o lítio oferecem várias vantagens como fonte de energia para aparelhos eletrônicos, com a possibilidade de armazenar grande quantidade de energia em suas ligações atômicas, devido à alta reatividade, e em baterias extremamente leves devido à baixa densidade do metal, características que as tornam baterias comerciais que oferecem o melhor desempenho atualmente e com um baixo custo. Outra vantagem que pode ser citada é a ausência do efeito memória, ou seja, a bateria pode ser carregada quando for mais conveniente ao usuário, não é necessário realizar ciclos completos de carga e descarga para manter a máxima capacidade de armazenamento.

Embora a alta reatividade do lítio possibilite armazenar grande quantidade de energia, ela trás consigo uma desvantagem que é a instabilidade do metal em altas temperaturas, podendo provocar a degradação dos eletrodos e, dependendo da temperatura, poderá entrar em combustão. Outra desvantagem é a degradação causada pela descarga completa da bateria. Células completamente descarregadas podem entrar em curto circuito e oxidar os componentes até um estado irreversível, no qual diminuirá a vida útil da bateria. Problemas estes que podem ser facilmente resolvidos com o uso de um circuito de proteção. Atualmente todas as baterias de íon de lítio vêm com um circuito contra falhas que interrompem o fluxo de corrente caso a temperatura ultrapasse um limite ou a tensão seja muito baixa, evitando o descarregamento total, tornando as baterias atuais seguras e aumentando a vida útil (Davide Andrea, 2010).

A corrente de cada bateria pode ser medida em “C”, essa definição corresponde a quanta energia está sendo fornecida ou consumida em relação à capacidade da bateria, calculada pela seguinte fórmula:

$$C = \frac{\text{carga ou descarga em mA}}{\text{Capacidade total da bateria em mAh}}$$

Por exemplo, uma bateria de 950mAh carregada com 0,5C, corresponde a uma corrente de carregamento de 475mA.

A figura 1 apresenta a bateria de íon de lítio utilizada nos experimentos.



Figura 2 - Bateria de íon de lítio

2.2 Características Gerais do Microcontrolador

O microcontrolador utilizado foi o PIC16F877A fabricado pela Microchip Technology. A opção pelo MCU se deve ao fato de ser um computador completo em um único *chip*, contendo um processador, memória para leitura e escrita de dados e programas, familiaridade prévia com o componente, capacidade de programação *in-circuit*, disponibilidade no mercado local, entre outros; possui ainda periféricos como o conversor analógico/digital, modulador por largura de pulso e possibilidade de implementar facilmente o *display* e a comunicação serial. Os pinos, nomeclaturas e disposições estão ilustrados na figura 2.

Para atender os requisitos de controle da corrente e tensão da bateria, foram utilizados os seguintes periféricos e *hardwares*: duas portas do CAD, para medir a tensão sobre a bateria e sobre um resistor *shunt* sensor de corrente; comunicação serial para programação *in-circuit*; saída de PWM para o controle da energia fornecida à bateria; e um *display* para facilitar a interface com o usuário.

A figura 3 ilustra o esquemático projetado de acordo com as especificações dos fabricantes para conectar dispositivos como LCD, LEDs, MAX232 e utilização de portas analógicas.

40-Pin PDIP

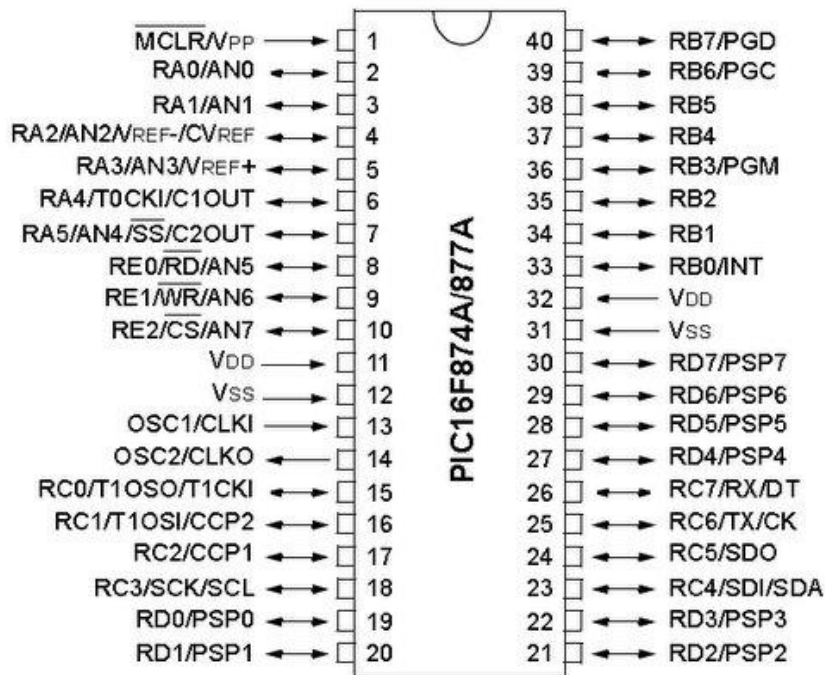


Figura 2 - Diagrama de pinos do PIC16F877A

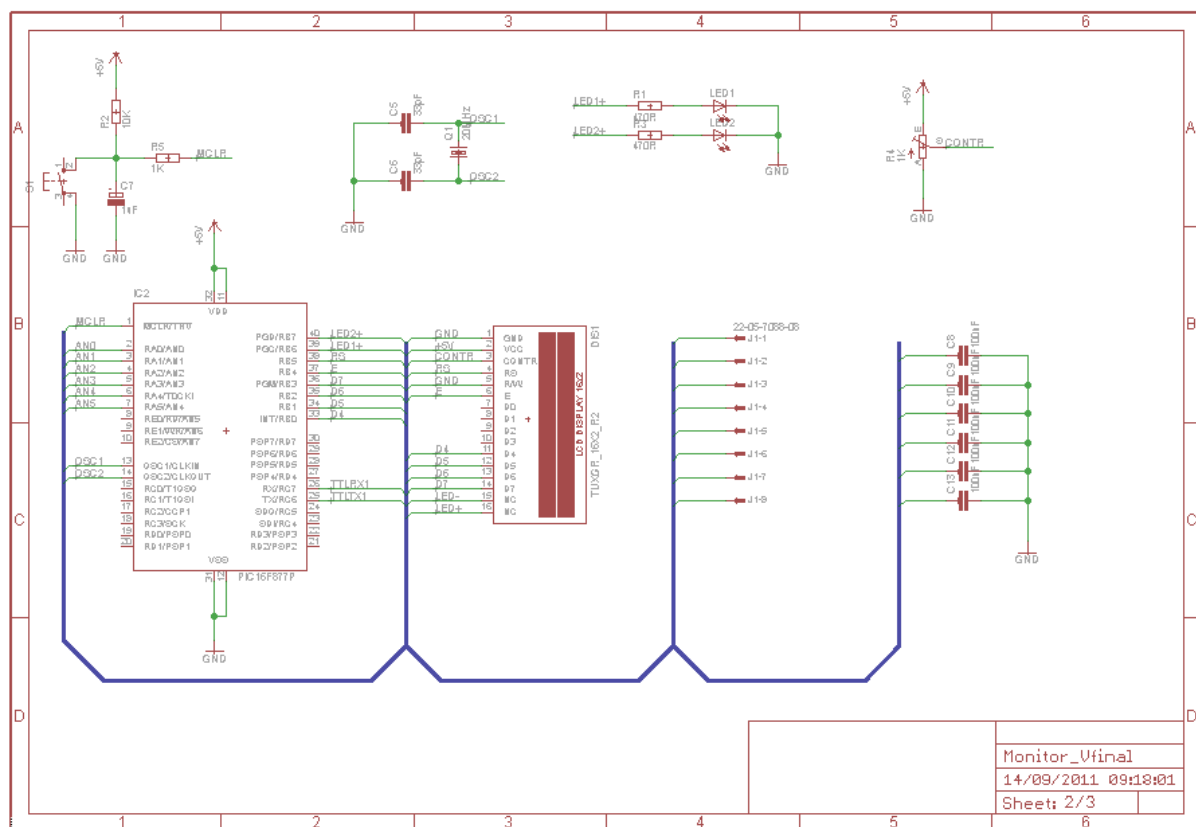


Figura 3 - Esquemático do PIC16F877A

2.2.1 Pulse Width Modulation (PWM)

A modulação por largura de pulsos é uma técnica que permite controlar a potência aplicada a uma carga através da variação do valor médio dos pulsos, com a vantagem de não ter perdas devido ao controle através de circuitos resistivos. Utilizou o PWM para polarizar o transistor BJT548 nas zonas de corte e saturação, utilizando-o como chave liga/desliga. Tal técnica é vantajosa devido a sua alta frequência de trabalho determinada pelo *timer* 2, que devido a inércia química da bateria, enxerga uma tensão média na saída, que pode ter o *ripple* satisfatoriamente diminuído através da filtragem das altas frequências por capacitores ou indutores. Em uma onda quadrada com ciclos somente positivos e frequência fixa, o valor RMS pode ser considerado como o valor médio da onda, ou seja, corresponde a porcentagem do *duty cycle*, calculado a seguir:

$$V_m = \frac{\tau_{ON}}{T} * (V_{m\acute{a}x} - V_{m\acute{i}n})$$

Utilizou da porta CCP1(compare/capture/PWM) previamente determinadas e configuradas como PWM, a saída comuta entre valores pré-fixados em 0 e 5 volts, com resolução de 10 bits. O cálculo da resolução está disponível a seguir, onde n é o número de bits, τ_{ON} é o intervalo que o sinal fica ativo e T o período da onda:

$$resolução = \frac{(V_{m\acute{a}x} - V_{m\acute{i}n})}{2^n} = \frac{(5 - 0)}{2^{10}} = \frac{5}{1024} = 4,88mV$$

2.2.2 Conversor analógico/digital

O conversor é um dispositivo capaz de gerar uma representação digital proporcional a grandezas analógicas e, uma vez que o PIC consegue somente processar dados digitais, é de extrema importância ao projeto. Uma grandeza física para ser digitalizada, deve ser primeiramente convertida em tensões elétricas através de sensores e ter seu sinal tratado, para excursionar entre valores aceitos pelo microcontrolador utilizado e, somente então, poderá ser convertida em dígitos binários.

O PIC realiza a conversão pelo método de aproximações sucessivas, visto que a resolução utilizada influencia diretamente na qualidade e velocidade da resposta, deve ser considerada a resolução necessária no projeto.

O menor passo, ou resolução, de um CAD é dado diretamente pelo seu número de bits e pode ser expresso de forma similar à resolução do PWM.

$$resolução = \frac{V_{ref}}{2^n} = \frac{5}{2^{10}} = \frac{5}{1024} = 4,88mV$$

Onde V_{ref} é a tensão de referência e n é o número de bits do conversor.

Utilizou 2 dos 8 canais do conversor analógico/digital do PIC com 10 bits de resolução. Ele adota o nível baixo e alto como referência e pode ser selecionável via software.

2.3 MAX232

O circuito integrado MAX232 fabricado pela MAXIM foi utilizado como um conversor de tensões entre o padrão RS232, utilizados em portas seriais, para o padrão TTL compatível com o circuito lógico digital. A tabela 1 mostra a conversão de níveis de tensão utilizados.

Tabela 1 - Níveis de tensão dos bits em TTL e RS232

BIT\TENSÃO	TTL [V]	RS232 [V]
0	0	+3 a +15
1	+5	-3 a -15

No projeto, a função do dispositivo foi a de realizar a comunicação serial entre o PIC e o computador para programar pelo método *in-circuit*, ou seja, permite que o usuário realize a gravação de algoritmos no PIC sem a necessidade de tirá-lo do circuito. Capacidade esta que fornece uma extrema flexibilidade ao projeto, uma vez que torna possível a alteração do software mesmo depois de instalado. A conexão entre o PIC e o computador foi realizada utilizando um cabo DB9, conectando somente os pinos 2(transmissão de dados), 3(recepção de dados) e 5(terra).

A figura 4 ilustra as conexões dos componentes de acordo com as especificações do *datasheet* do circuito integrado.

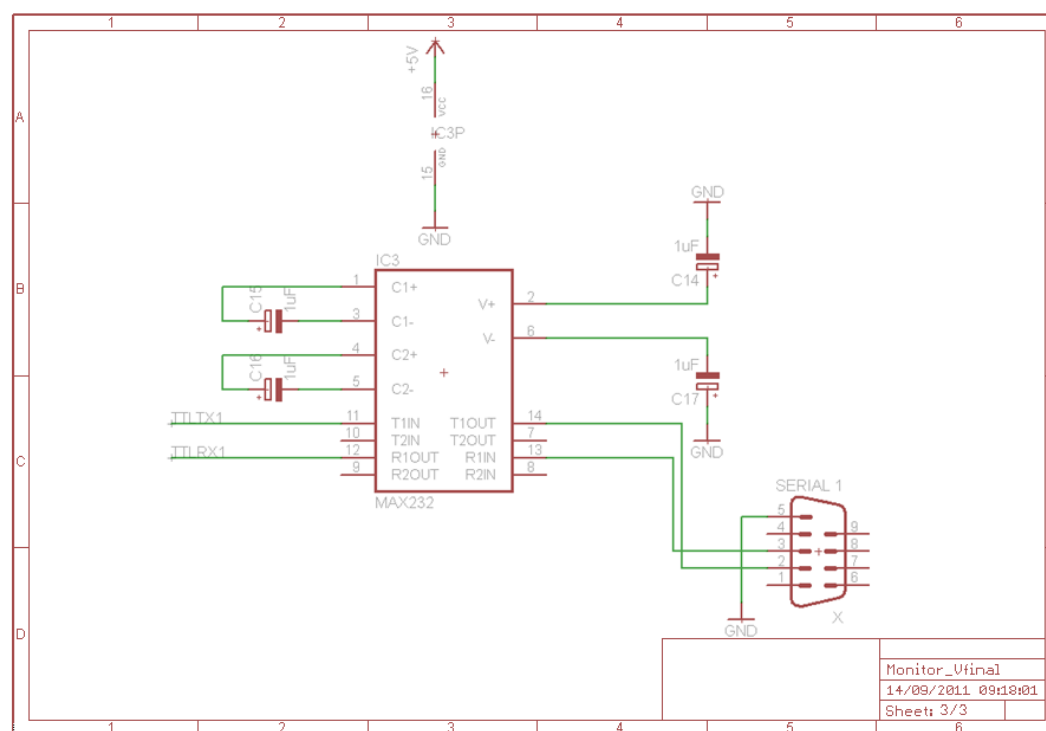


Figura 4 – MAX232, converte o padrão RS232 para TTL

2.4 LCD

O LCD foi importante fornecendo informações relevantes para o projetista. Entretanto, depois de concluída a fase de testes o *display* se torna dispensável ao projeto, pois o próprio celular e os LEDs indicam de carregamento e de carga completa, informações relevantes para um usuário comum. As informações necessárias na fase de projeto foram: tensão da bateria, corrente de carregamento, quantidade de carga estimada e valor do *duty cycle* do PWM. O LCD utilizado foi o JHD162 de 2 linhas e 16 colunas, espaço necessário para dispor as informações pertinentes.

O LCD vem comercialmente com um controlador HD44780 acoplado, cujo objetivo é gerenciar suas funções. Essa habilidade facilita bastante a interface com sistemas embarcados e o desenvolvimento de projetos, pois o programador precisa apenas se preocupar em enviar os dados e a posição em que se deseja que apareça. Os pinos utilizados foram o portb para envio de 4 bits de dados e também para sinais de controle. As conexões foram ilustradas na figura 5.

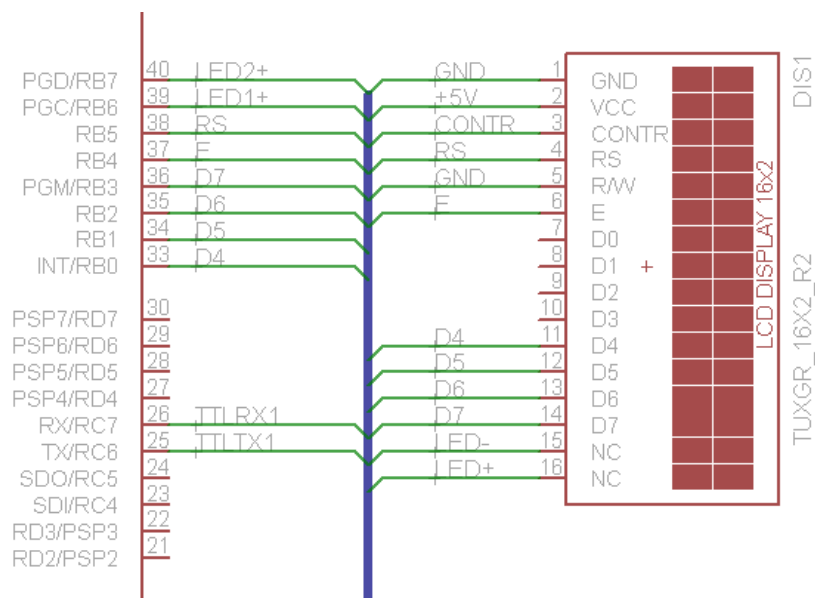


Figura 5 – Desenho Técnico das ligações do LCD

Dispõe-se então:

R/S=RB5, EM=RB4, R/W=GND, dados=RB0, RB1, RB2, RB3;

Configuração essa já determinada no arquivo `mod_lcd.c`, utilizado no programa principal.

2.5 LM7805

Para garantir uma alimentação precisa ao PIC16F877A, MAX232 e ao *backlight* do display LCD, todos alimentados por 5V, e assim garantir o bom funcionamento dos componentes, utilizou o regulador de tensão LM7805 alimentado com 12V vinda do eliminador de pilha regulado chaveado. Sua escolha foi baseada

nos dados do *datasheet*. De acordo com ele, o componente é extremamente robusto, podendo fornecer até 1A de corrente, utilizando um dissipador adequado, e suportar até 20V em sua entrada, além de possuir proteção contra sobre-temperaturas e curtos-circuitos, baixo custo e facilidade de manuseio, o que o torna um dispositivo ideal para projetos eletrônicos. Conforme seu manual de instruções, utilizou quatro capacitores de desacoplamento, 2 de 100nF e 2 de 1000µF. A figura 6 representa a configuração utilizada.

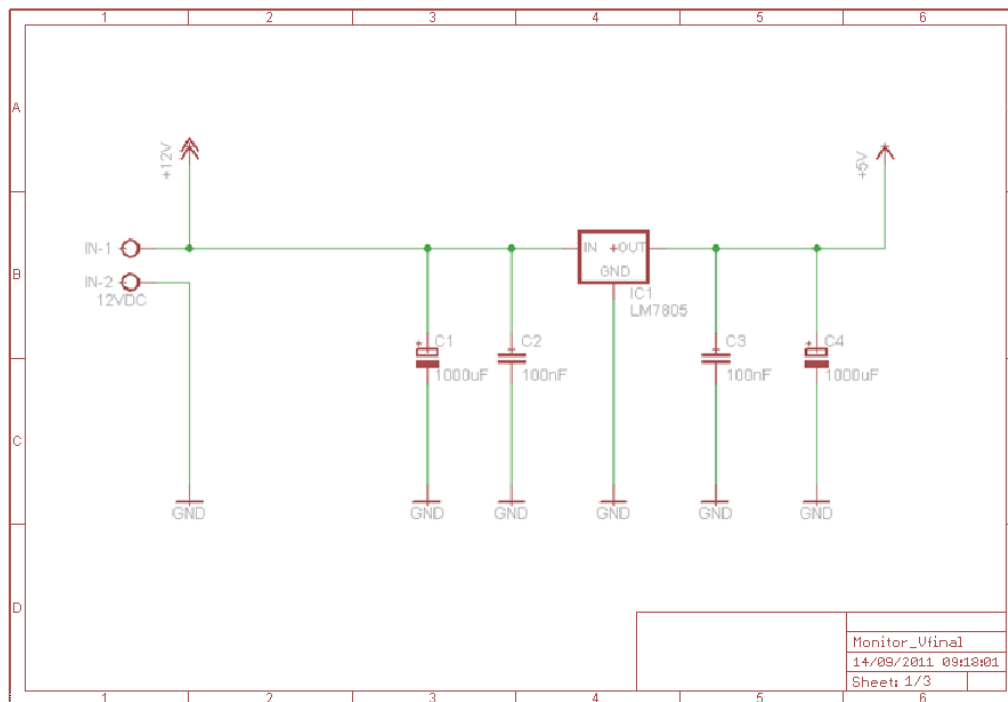


Figura 6 - Regulador de tensão de 5 volts

2.7 Reset

Segundo especificações do microcontrolador, o PIC é reiniciado quando a tensão de seu pino 1 é levada ao nível baixo. No esquema da figura 3, é possível perceber o funcionamento do *reset* ao fechar a chave, a tensão no pino 1 irá para 0 e será mantido por um tempo suficiente garantido pelo capacitor para que o MCU entenda o reset. E caso o PIC esteja com o programa de *bootloader*, ao se pressionar o botão de *reset*, ele irá verificar se há algum programa carregando para ser gravado. Etapa fundamental para a gravação serial *bootloader*.

2.8 Leds

Com o objetivo de fornecer uma análise mais rápida ao operador, utilizou-se dois LEDs para aumentar a facilidade de interação.

O LED verde aceso indica que a bateria está totalmente carregada e o vermelho piscará para indicar o carregamento. É uma maneira bem simples, mas funcional para indicar que o programa está sendo executado corretamente, pois ele irá acender e apagar em certos trechos do algoritmo, indicando que o programa está passando por essas etapas. Muitas vezes alguns parâmetros podem ficar

constantes por algum tempo e o LCD mostrar os mesmos valores podendo confundir com o travamento do programa.

2.9 Especificação dos Softwares

2.9.1 Eagle Cadsoft 5.9.0

O software Eagle Cadsoft 5.9.0 foi utilizado para projetar a planta de acordo com os requisitos necessários para o bom funcionamento fornecidos pelo *datasheet*. Nessa etapa foi fundamental o conhecimento prático para posicionar corretamente os componentes na placa de circuito impresso, traçar trilhas, dimensionar não somente os valores dos componentes bem como o tamanho. Processo fundamental para tornar o projeto mais organizado, visto que se eliminam vários fios, oferece um suporte mecânico e torna o projeto mais fácil de ser reproduzido, permitindo sua comercialização.

2.9.2 CCS-PCWHD 4.068

Utilizou-se o software CCS-PCWHD 4.068 para programação do PIC. Entre as várias vantagens podem ser citadas: o ambiente de programação para o PIC16F877A utilizado; geração de um código de máquina compacto e eficiente, requisito importante, pois os microcontroladores costumam ter pouca memória; possui um *debugger* para o código e vários exemplos didáticos para o aprendizado. Através do compilador gerou um arquivo *.hex, necessário para a gravação do programa no PIC.

O padrão de linguagem C é independente de qualquer plataforma. No entanto, para a programação de microcontroladores é necessário ter certos comandos que se referem a partes específicas do seu hardware, tais como acesso a memória, temporizadores, conversores a/d, transmissores RS232, i2c, entre outros. A programação inclui ainda *drivers* para dispositivos externos tais como LCD, teclados, eeprom, conversores a/d, relógio de tempo real, etc.(os drivers são pequenos programas que servem como interface entre os *hardwares* e o programa). Por essa razão, além dos comandos, funções e dados da linguagem C, o compilador possui bibliotecas que incorporam comandos não padrões, específicos para a família de microcontroladores PIC.

A figura 7 ilustra um exemplo de programa sendo compilado.

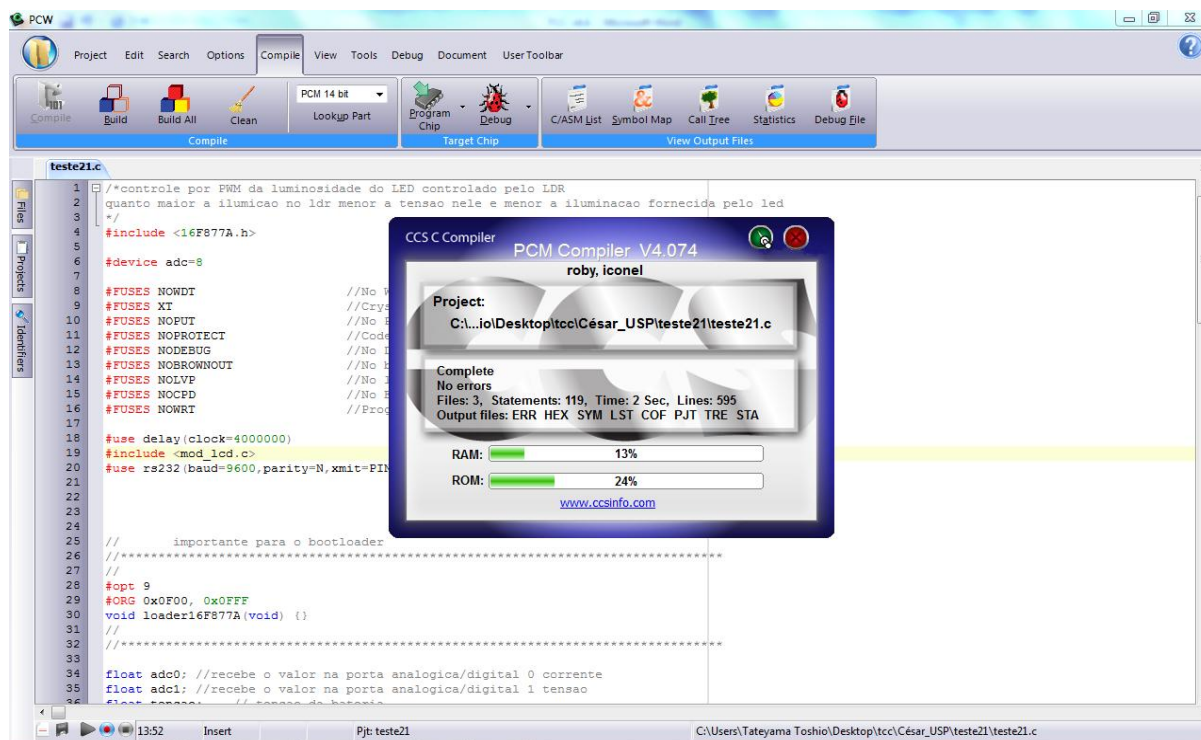


Figura 7 – Compilador CCS-PCWHD

2.9.3 LTSPICE IV

A ferramenta de simulação foi utilizada nos circuitos analógicos LTSPICE da Linear Technology para se simular a resposta do conversor D/A. Foi escolhido esse software pelo seu ótimo desempenho, velocidade, facilidade de manipulação, trazer consigo vários exemplos e, principalmente, por ser um software livre.

2.9.4 PICbootPlus

A gravação serial foi utilizada no programa PICbootPlus, um simples executável *open source*. Nesse método, chamado de *Serial Bootloaders*, um pequeno algoritmo é gravado na memória do PIC através do método *hardware programmer*. Toda vez que a chave for fechada, esse algoritmo irá procurar um programa a ser gravado. A figura 8 ilustra o software em execução.

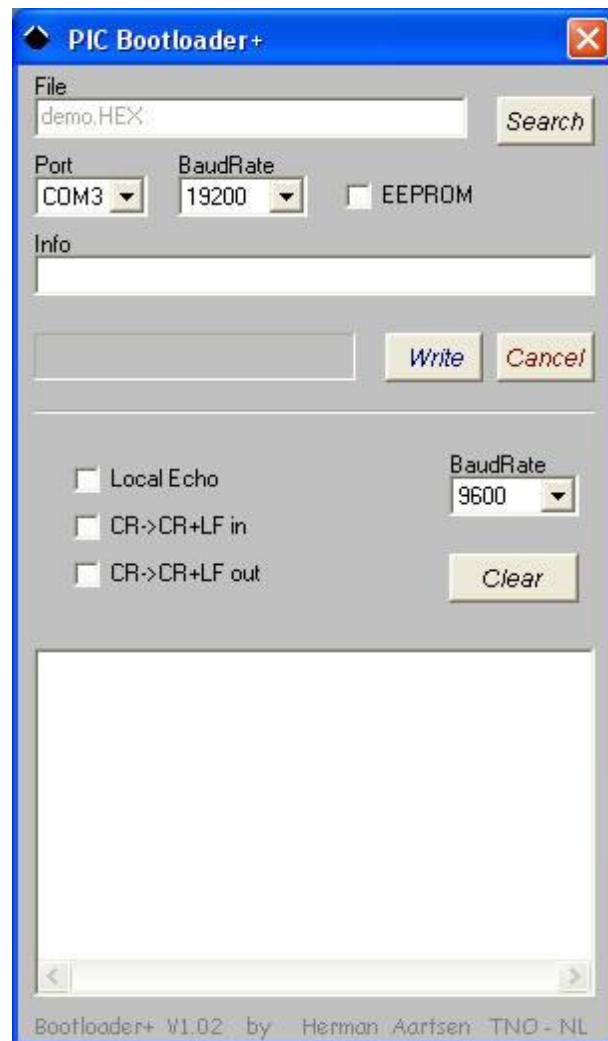


Figura 8 – Interface do software programador de PIC pelo método Serial Bootloaders

Capítulo 3 – Materiais e Métodos

Esse capítulo descreve o processo de desenvolvimento do protótipo e *software* para que assim seja possível adquirir os dados necessários para análise através das metodologias adotadas descritas também nesse capítulo

3.1 PCI

A placa de circuito impresso, juntamente com os componentes acoplados, tem por função principal fazer aquisição dos dados da bateria, realizar seu processamento e modular um sinal de saída conforme a análise dos dados recebidos, além de possuir capacidade de interface homem-máquina através do *display* e *LEDs*, e poder gravar programas através da comunicação serial.

A figura 9 traz o diagrama de blocos do protótipo desenvolvido.

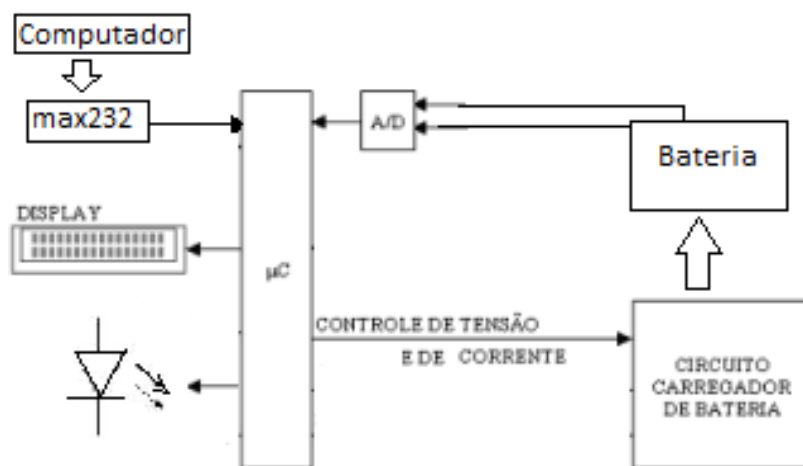


Figura 9 - Diagrama de blocos do protótipo

A montagem do diagrama de blocos forneceu uma idéia clara da interação entre os componentes, o que possibilitou realizar a conexão entre os hardwares em questão. Após conectar todos os componentes, ilustrados nas figuras 3,4 e 5, o *software* Eagle Cadsoft forneceu uma área com dimensões reais da placa de circuito impresso, juntamente com as ligações elétricas entre os componentes. O trabalho restante foi somente utilizar as conexões para determinar o caminho das trilhas e alocar os componentes de maneira a otimizar o espaço disponível. Nesse processo foi fundamental a experiência prática, pois mesmo após extensas pesquisas, não foi encontrado um método de arranjo ótimo dos componentes.

A figura 10 ilustra o resultado final da colocação dos componentes na placa bem como suas trilhas.

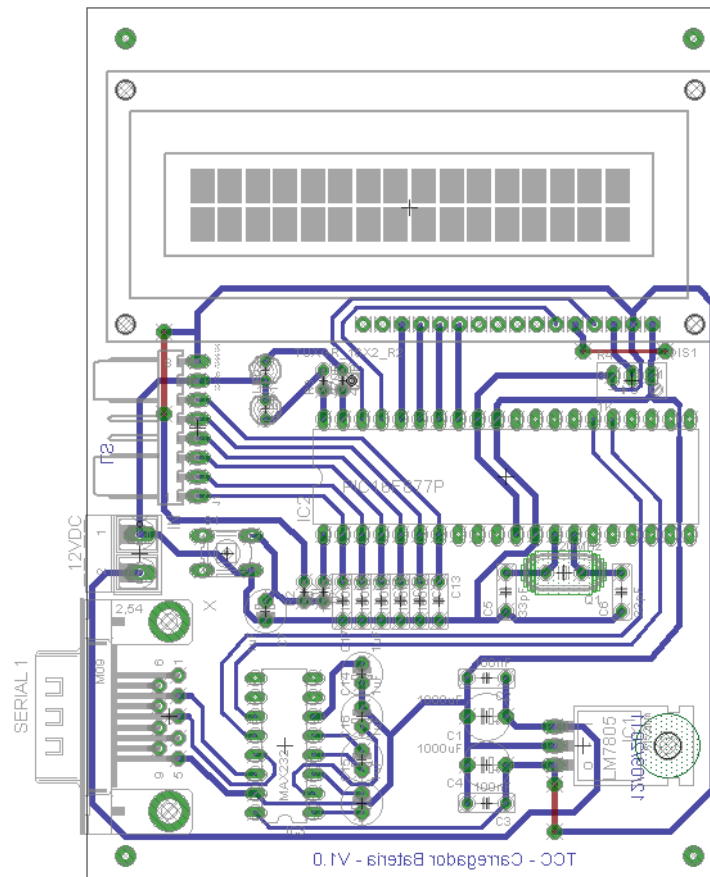


Figura 10 – Placa de circuito impresso

Esse esquema representa realmente como a placa ficou depois de pronta e não apenas as conexões entre os componentes. Esse desenho está no formato “.brd”, denominado board de Print Circuit Board(PCB), placa de circuito impresso. Nessa etapa deve também dimensionar o tamanho e ângulos das trilhas, formato e tamanho dos *pads*.

Os componentes elétricos estão representados pela cor cinza, os *pads* estão em verde, as trilhas da camada inferior estão em azul e as superiores em vermelho.

Após terminado, o arquivo foi convertido para o formato GERBER, que é o formato padrão compreendido para a máquina de fresar a placa. Os arquivos gerados foram:

- *.drl – mapeia as informações de dimensão e posicionamento dos elementos do circuito
- *.drl – exibe a posição dos furos
- *.cmp- exibe as trilhas ao lado dos componentes ; o lado superior não foi utilizado devido às poucas trilhas nessa camada
- *.sol – exibe as trilhas do lado da solda(bottom)

3.2 Testes de Carregamento de Baterias

Para os testes de carregamento foram utilizados uma bateria nova da marca LG de 950mAh do modelo LGIP-531A. Inicialmente foi usado o carregador do fabricante para obter as curvas de tensão e corrente de carregamentos ilustrados pelas figuras 11 e 12.

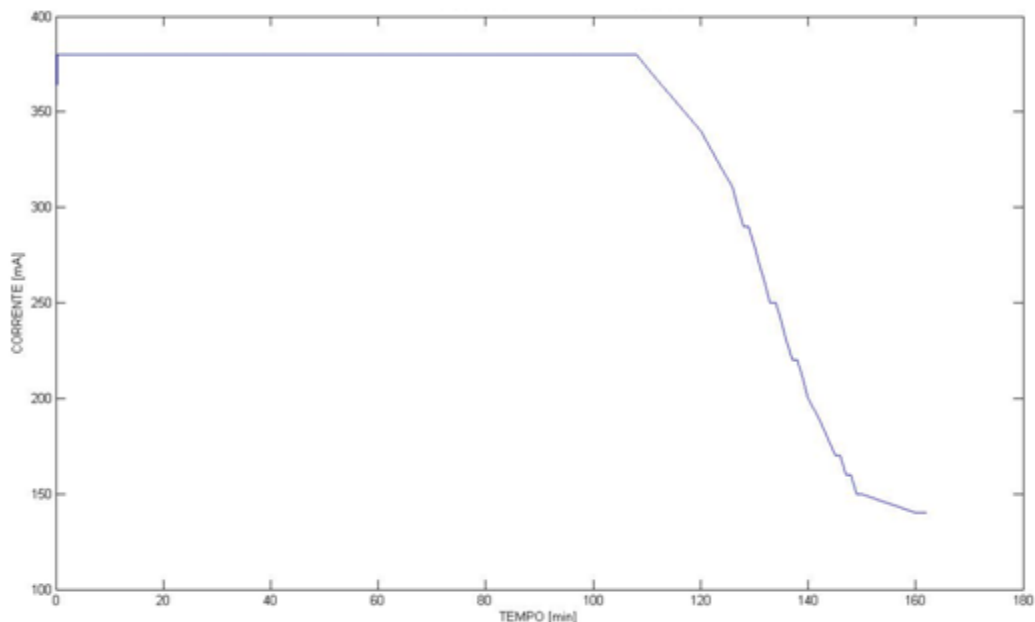


Figura 11 - Gráfico de carregamento do celular LG com carregador do fabricante Corrente x Tempo

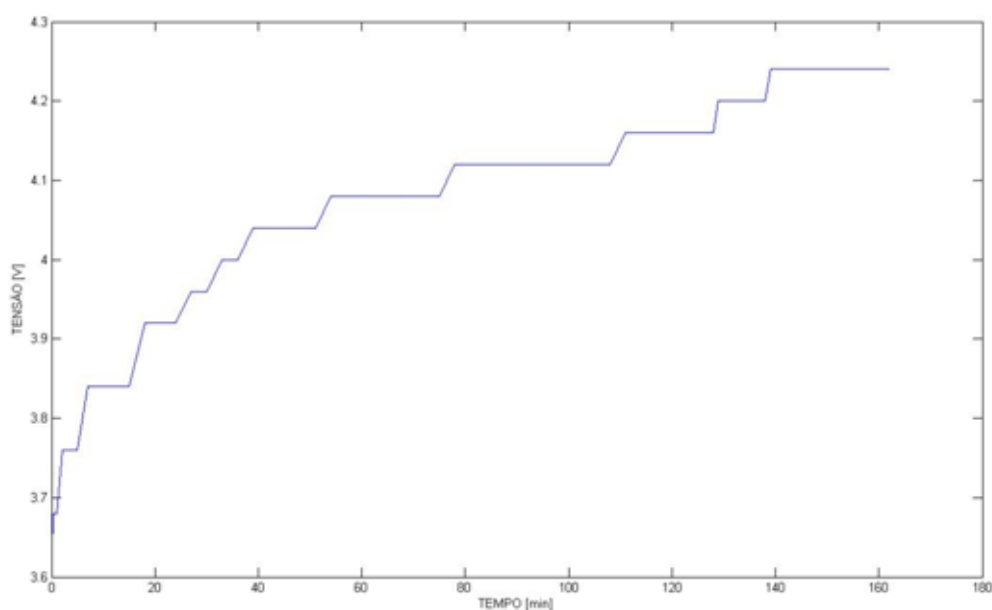


Figura 12 - Gráfico de carregamento do celular LG com carregador do fabricante Tensão x Tempo

Observa-se que o controle do carregamento mantém constante a corrente em 380mA ou 0,4C por aproximadamente 110 minutos até a bateria atingir 4,1 volts. Sendo que, a bateria é de 950mAh, isso corresponde a aproximadamente 697mAh, ou seja, corresponde a 73% de sua carga total. A segunda fase do carregamento mantém a tensão praticamente constante, até o carregamento completo, enquanto a corrente decai exponencialmente até aproximadamente 140mA.

Baseado nos gráficos das figuras 13 e 14, fornecidos pela fabricante de celular Apple e pela fabricante de baterias Panasonic e no livro de Davide Andrea, citado nas referências bibliográficas, é possível concluir que o carregamento de uma bateria de íon de lítio é composto por duas fases com características distintas, explicadas a seguir:

1ª) Carga Rápida: A partir da bateria completamente descarrega, é a primeira fase de carregamento. Sua principal característica é a alta corrente, que pode variar entre 0,2 a 0,5C, que é mantida constante e carrega cerca de 70-80% da bateria em pouco tempo, enquanto a tensão aumenta de maneira aproximadamente linear;

2ª) Carga Lenta: Essa fase inicia em torno de 4,1V. Sua principal característica é o lento carregamento e a tensão mantida aproximadamente constante enquanto a corrente decai exponencialmente;

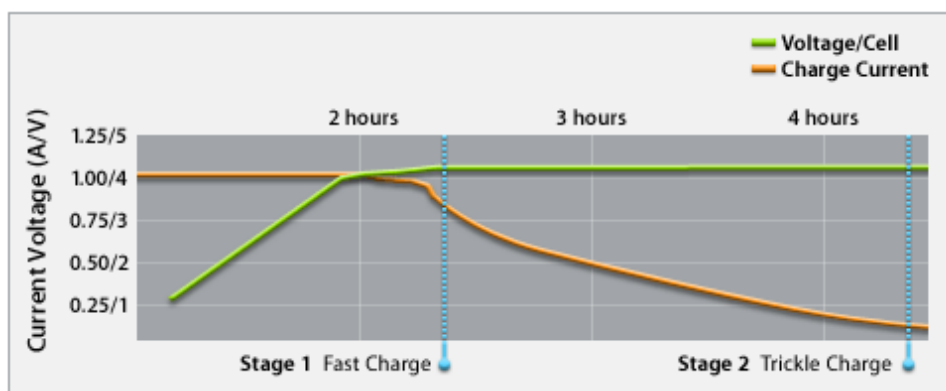


Figura 11 – Gráfico fornecida pela empresa Apple de uma bateria genérica de íon de lítio

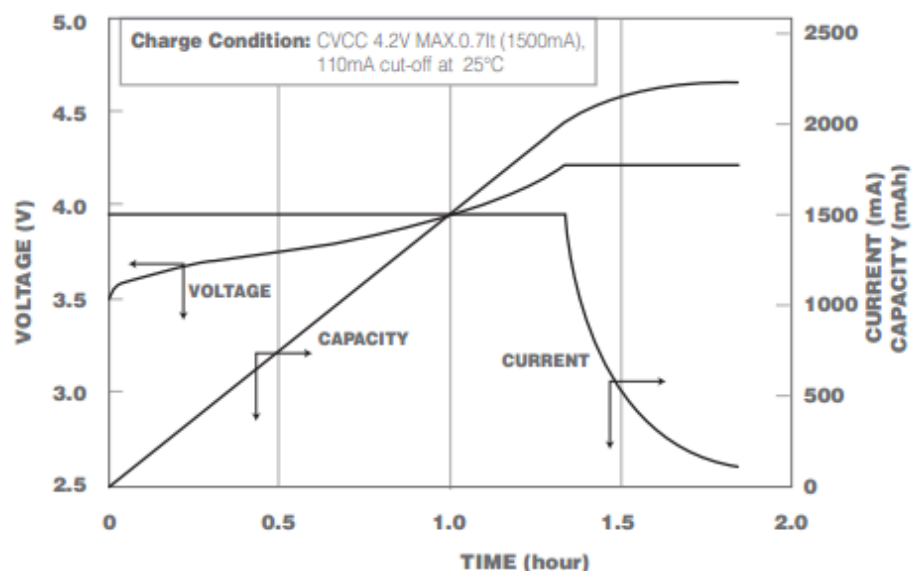


Figura 12 – Curva de Carregamento da bateria do modelo CGR18650 da Panasonic

O desenvolvimento do projeto buscou reproduzir as curvas das figuras 13 e 14 para diferentes tipos de baterias, tendo em vista, o controle de corrente em um valor entre 0,2 a 0,5C na primeira fase de carregamento até a tensão atingir 4,1V e o controle de tensão na segunda fase, característica de toda bateria de íon de lítio.

3.3 Circuito de Carregamento

O circuito de carregamento, mostrado na figura 15, foi simulado através do *software* LTSPICE IV. Onde a fonte de tensão V1 representa o PWM no pino 17(RC2/CCP1) do PIC. A tensão instantânea de V1 varia entre 0 e 5 V.

A tensão sobre o pólo positivo da bateria é invertida com relação a tensão do PWM e amplitude varia conforme a carga da bateria. Devido a esse fato, apesar de se ter controle sobre o ciclo ativo do PWM, ainda deve monitorar constantemente a tensão sobre a bateria.

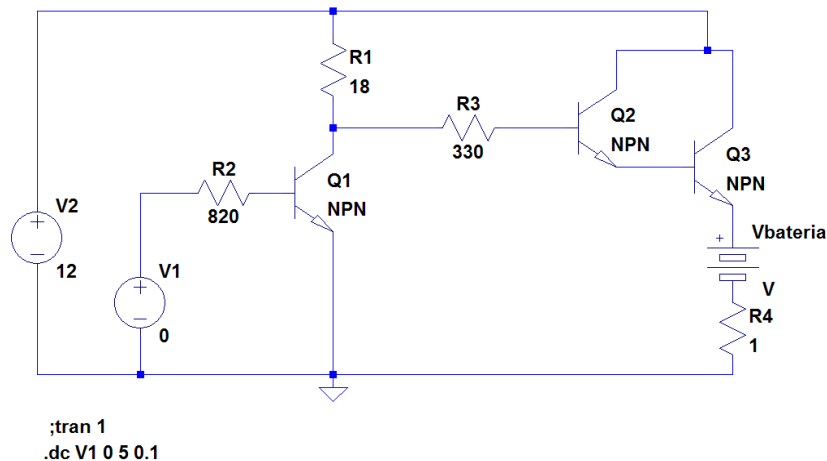


Figura 15 - Circuito responsável pela conversão Digital/Analógica

O resultado da simulação é mostrado através do gráfico da figura 16, onde observa-se que quando a tensão do PWM é 0 volts a tensão da bateria será de 10,4 volts e a corrente máxima teórica será de aproximadamente 770 mA quando a bateria está descarregada. Quando a tensão do PWM for 5 volts a corrente da bateria carregada será aproximadamente 0 mA.

Circuito idêntico ao simulado foi implementado e funcionou adequadamente.

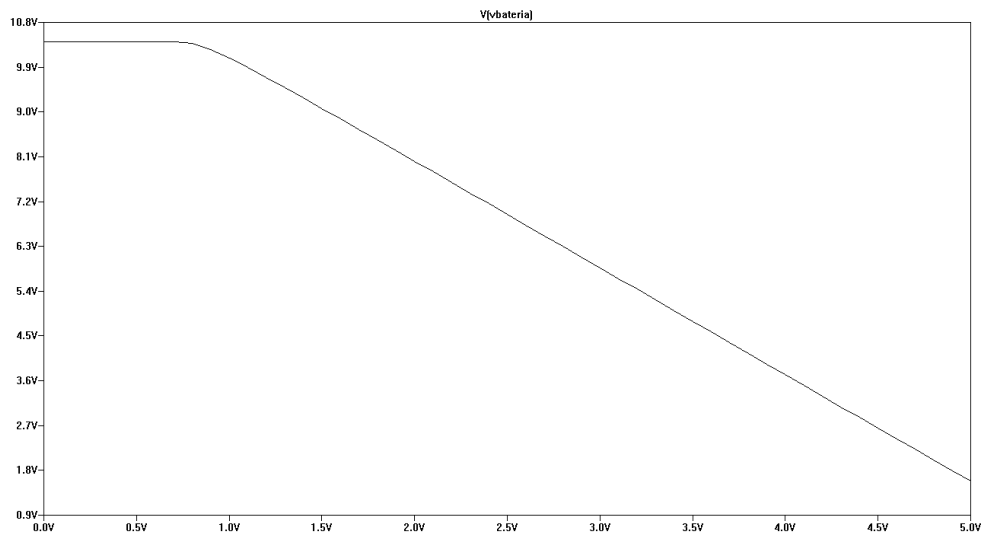


Figura 16 – Tensão da Bateria(em volts) x Tensão do valor médio do PWM(em volts)

3.4 Codificação da Solução

A figura 17 mostra o fluxograma afim de dar uma visão geral do projeto.

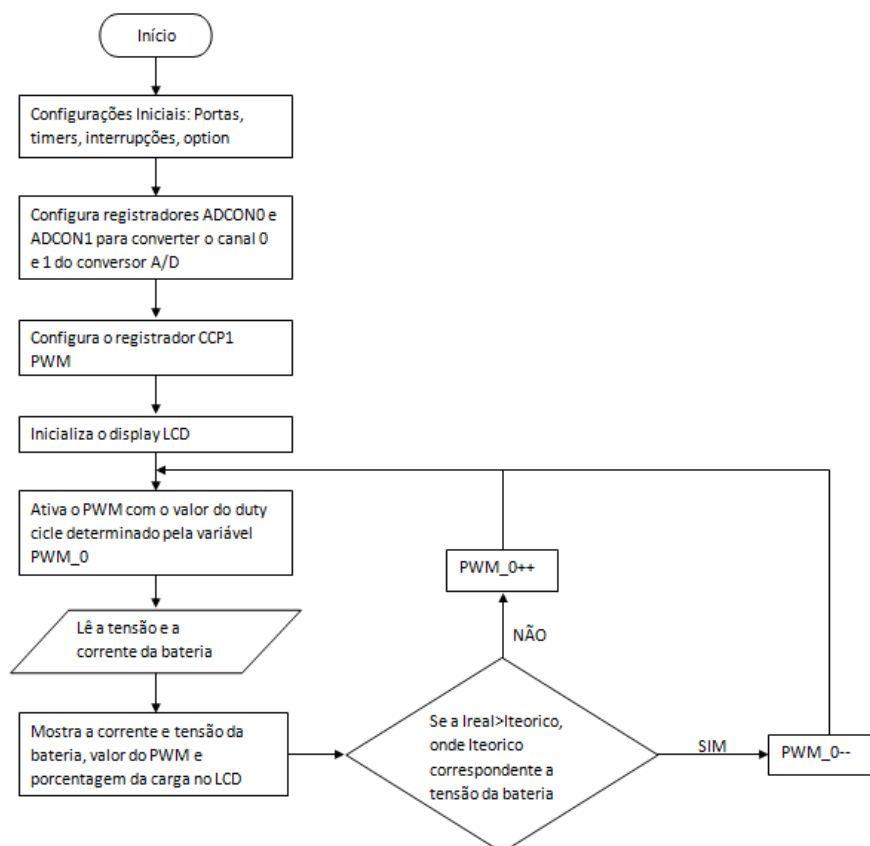


Figura 17 – Fluxograma das funções realizadas pelo algoritmo

O software CCS_PCWHD foi utilizado para realizar a codificação dos diagramas de fluxos.

O algoritmo foi organizado de maneira modular, pois possui diversas vantagens como: são mais fáceis de serem entendidos, pois é possível analisar cada módulo de cada vez controlando a entrada e saída dos módulos; facilidade em isolar e corrigir os erros através de testes em módulos separadamente; capacidade de realizar mudanças que afetam somente um módulo específico e não todo o algoritmo; aumenta-se a eficiência dos programas; pode-se reutilizar um módulo em outros programas através de blocos de construção; evita-se programar a mesma tarefa mais de uma vez; permite aumentar a velocidade de programação; possibilita ao programador prestar mais atenção no conteúdo dos módulos; facilita a documentação se o algoritmo é bem estruturado; permite dividir um problema complexo em várias partes fáceis de serem entendidas; e facilidade de entendimento de outras pessoas.

3.4.1 Configurações dos parâmetros de trabalho

Nessa etapa são definidos os parâmetros que o PIC irá trabalhar, tais como: habilitação do *watchdog*, *debugger*, frequência do oscilador, entre outros. Ilustrado na figura 18.

```
#include <16F877A.h>
#include <mod_lcd.c>
#device adc=10 //Utiliza o conversor A/D com 10 bits

#FUSES NOWDT //No Watch Dog Timer
#FUSES XT //Crystal osc => 4mhz
#FUSES NOPUT //No Power Up Timer
#FUSES NOPROTECT //Code not protected from reading
#FUSES NODEBUG //No Debug mode for ICD
#FUSES NOBROWNOUT //No brownout reset
#FUSES NOLVP //No low voltage prgming, B3(PIC16) or B5(PIC18) used for I/O
#FUSES NOCPD //No EE protection
#FUSES NOWRT //Program memory not write protected

#use delay(clock=20000000)
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)
```

Figura 18 – Configurações dos parâmetros de trabalho

3.4.2 Declaração das variáveis

Define as variáveis de trabalho, ilustradas na figura 19.

```

//*****

float adc0; //recebe o valor na porta analogica/digital 0 corrente
float adc1; //recebe o valor na porta analogica/digital 1 tensao
float tensao; // tensao da bateria
static long int pwm_0; //valor do pwm
float porc; //duty cycle on pwm
float Ireal; //corrente na bateria
long int Iteor, Vteor; //corrente e tensão teóricos da bateria
long int i; //valor do número de elementos da média do sinal
float Im1,Vm1; //corrente e tensão média

```

Figura 39 - Declaração das variáveis

3.4.3 Leitura dos Valores Analógicos e ajuste

Nessa etapa foi utilizado pino 2 do PIC para fazer a aquisição de tensão sobre o resistor R4(figura 15), empregando-se 500 amostras para o cálculo da média aritmética para que o valor fosse mais estável possível. Em seguida, repetiu esse procedimento para a tensão sobre a bateria. O código desse procedimento está ilustrada na figura 20.

```

//*****ADC stuff*****
void adc();
void adc(){
    Im1=0;
    Vm1=0;
    output_low(pin_b6); //desliga o LED o vermelho
    set_adc_channel(0); //escolhe a porta ADC0 para ler a corrente
    delay_ms(1); //espera 1ms necessário para selecionar o canal
    for(i = 0; i < 500; i++){
        adc0 = Read_ADC(); //recebe o valor no pino adc0
        Im1+=adc0; //soma 500 valores de tensão sobre o resistor shunt
    }
    Im1/=500; //calcula a média aritmética da corrente

    set_adc_channel(1); //escolhe a porta ADC1 para ler a tensão
    delay_ms(1); //espera 1ms necessário para selecionar o canal
    for(i = 0; i < 500; i++){ //soma 500 valores de tensão sobre a bateria
        adc1 = Read_ADC(); //recebe o valor no pino adc1
        Vm1+=adc1;
    }
    Vm1/=500; //calcula a média aritmética da tensão

    Ireal =(float)Im1*19.1132; //ajusta o valor da corrente
    tensao=(float)Vm1*0.0191132-Ireal/1000; //ajusta o valor da tensão da bateria

    printf(lcd_escreve,"\n%ldmA | %2.2fV ",(long int)Ireal ,tensao); //mostra os valores na linha de baixo do lcd
}
//*****

```

Figura 20 - Leitura dos Valores Analógicos e ajuste

3.4.4 Comparação dos valores

Essa função compara a tensão da bateria e determina se está na fase de carga rápida ou lenta. Após essa etapa, são comparados os valores de tensão e corrente aos valores ideais. Se forem menores, o valor do *duty cycle* do PWM diminui e se forem maiores o valor aumenta. O código desse procedimento está ilustrada na figura 21.

```

//*****comparacao_pwm*****
void comparacao_pwm();
void comparacao_pwm(){
if(tensao<4){          //se tensão<4, carga rápida, Iteórico=380mA
if (Ireal<380) pwm_0-=5; //se corrente<Iteórico, diminui o PWM para aumentar corrente média
else pwm_0+=5;
}
if(tensao>4){          //se tensão>4, carga lenta, Vteórico=4.1V
if (tensao<4.1) pwm_0-=5; //se tensao<tensao teorica, diminui o PWM para aumentar a tensão média
else pwm_0+=5;
}
}
}

```

Figura 21 - Comparação dos valores

3.4.5 Algoritmo de segurança

Caso haja algum erro no carregamento da bateria e a corrente exceder o máximo permitido, em apenas uma passagem pelo programa, o PWM irá para 100% de *duty cycle* e a corrente sobre a bateria será 0 mA conforme ilustrada a figura 22.

```

//*****
void overcurrent();
void overcurrent(){
if(Ireal>380) pwm_0=1024; //desliga o circuito caso a corrente seja acima da máxima corrente projetada
}

```

Figura 22 - Algoritmo de segurança

3.4.6 Algoritmo para se utilizar o bootloader

Essa etapa é fundamental para que seja realizada a gravação *serial bootloader* com sucesso e está ilustrada na figura 23.

```
// ****  
//  
#opt 9  
#ORG 0x0F00, 0x0FFF  
void loader16F877A(void) {  
//  
// ****
```

Figura 23 - Algoritmo para se utilizar o bootloader

3.4.7 Programa principal

No programa principal, ilustrado na figura 24, são definidos os parâmetros de trabalho antes de executar o programa em *loop*, no qual verifica-se os parâmetros da bateria e controla-se, é preciso configurar o modo de trabalho do PIC, como por exemplo, a frequência e resolução do PWM, portas CAD e parâmetros do *display*.

Devido ao algoritmo ser estruturado de maneira modular, não é necessário repetir várias sequências de algoritmo, nem se preocupar em entender todo o código ao mesmo tempo. A modularidade permite trabalhar com funções, onde só é necessário entender os valores de entrada e saída.

```

//*****
void main()

setup_ADC_ports(AN0_AN1_AN3); //escolhe as portas A0,A1 e A3 como ADC
setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); //configura o conversor AD para utilizar o oscilador interno
setup_psp(psp_disabled); //desliga a porta paralela escrava
setup_spi(spi_ss_disabled);
setup_timer_0(rtcc_internal|rtcc_div_1); //configura o timer 0 com clock interno e prescaler dividindo por 1
setup_timer_1(t1_disabled); //desliga o timer 1
setup_timer_2(t2_div_by_16,255,1); //habilita o timer 2, usado para determinar o período do pwm
setup_comparator(NC_NC_NC_NC); //desliga os comparadores
setup_vref(false); //desliga a referência interna de tensão
setup_ccp1(ccp_pwm); //configura o modo de geração de sinal pwm
lcd_ini(); //Inicializa LCD
delay_ms(10); //aguarda tempo necessário para sua configuração
lcd_envia_byte(0,0xc); // Inicializa o display sem cursor
output_high(pin_b7); //acende led verde para indicar funcionamento
//*****
while(1)
{
    output_high(pin_b6); //acende o led vermelho para indicar o começo da rotina
    delay_ms(100);
    set_pwm1_duty(pwm_0); //determina o duty cycle do PWM
    delay_ms(50);
    lcd_pos_xy(1,1); // Posiciona a mensagem
    delay_ms(100);
    porc=(float)pwm_0*100/1024; //mostra a porcentagem que o PWM está no ciclo ativo
    Printf(lcd_escreve,"%f%% PWM",porc,0x25);
    delay_ms(300);
    adc(); //chama a função de leitura de corrente e tensão
    comparacao_pwm(); //compara os valores teóricos com os práticos
    overcurrent(); //determina se há sobre-corrente
}

```

Figura 24 - Programa principal

Capítulo 4 – Resultados

Este capítulo apresenta os resultados encontrados para as análises descritas no capítulo 3 e a discussão dos resultados obtidos.

Este trabalho resultou como protótipo a placa de circuito impresso apresentada na figura 25, cujo custo aproximado de R\$135,00 entre materiais e serviços de fresamento e que foi produzida em pouco mais de uma hora.



Figura 25 - Protótipo do circuito montado e funcionando

4.1 Testes

O protótipo desenvolvido foi utilizado para carregar baterias de dois fabricantes diferentes, uma bateria da LG e outra da Nokia. Primeiramente foi utilizado a bateria da LG de 950mAh do modelo LGIP-531A e foram obtidas as curvas de carregamento ilustradas nas figuras 26 e 27. A comparação desses resultados serão vistos na discussão e comparadas com as curvas das figuras 11 e 12. Para verificar se a bateria atingiu a carga completa foi utilizada o circuito da figura 28 com o objetivo de descarregar a bateria. As curvas de descarregamento estão mostradas nas figuras 29 e 30.

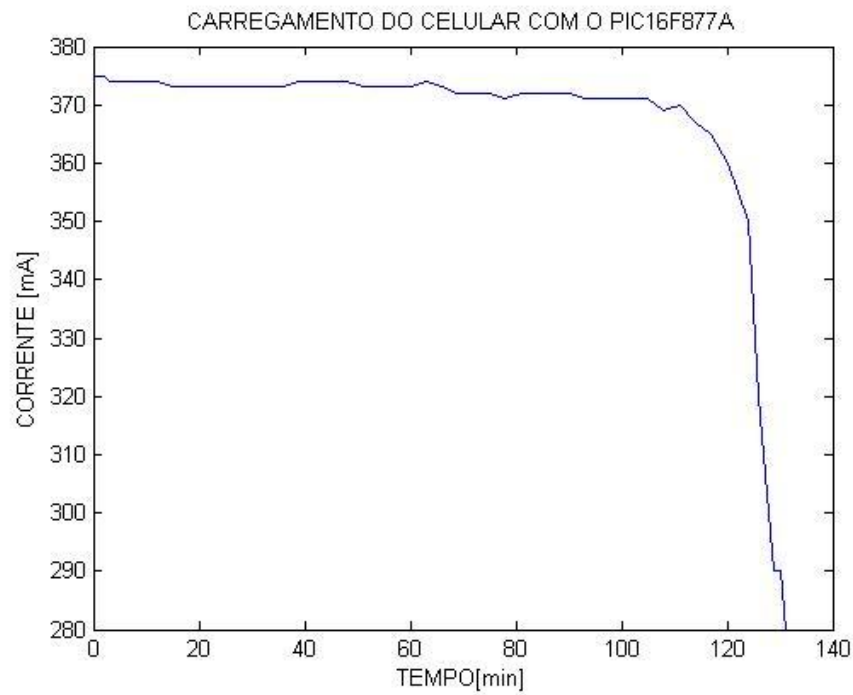


Figura 26 – Corrente de carga da bateria LG com o protótipo.

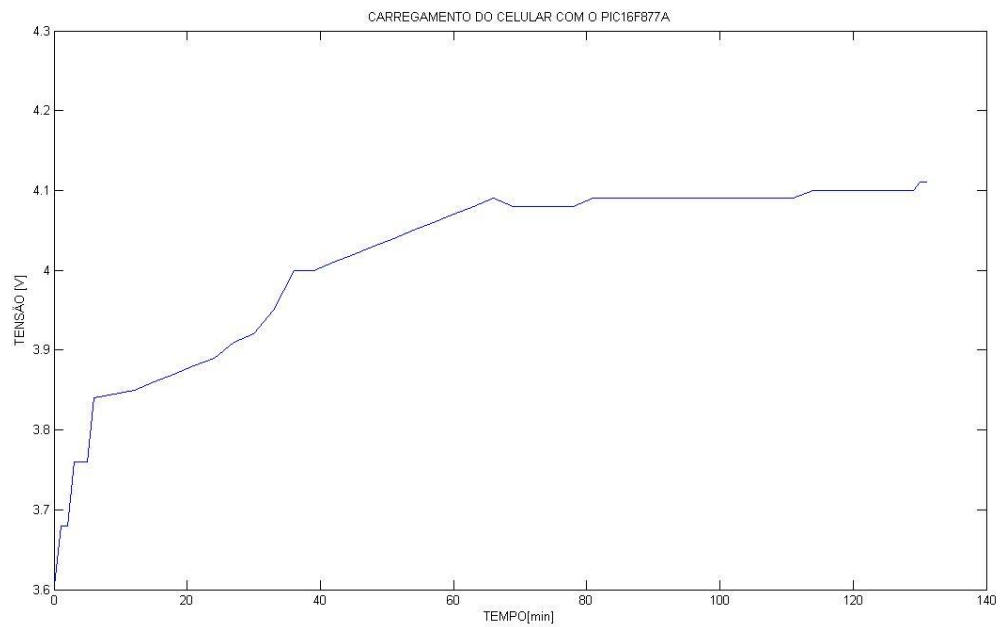


Figura 27 – Tensão de carga da bateria LG com o protótipo.

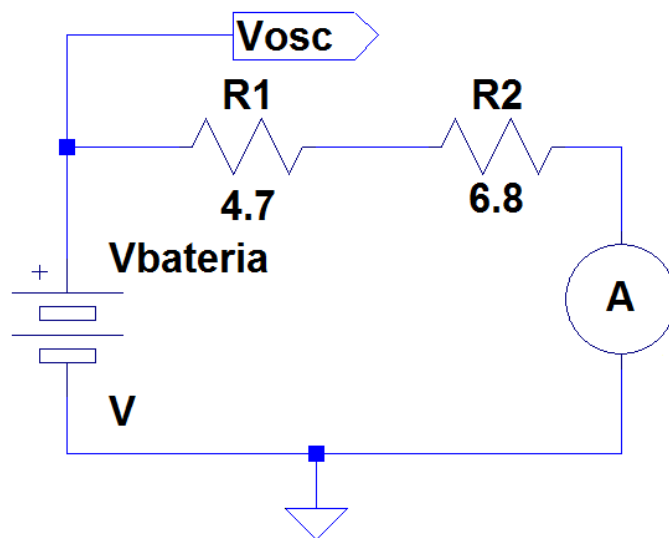


Figura 28 – Circuito utilizado no descarregamento da bateria

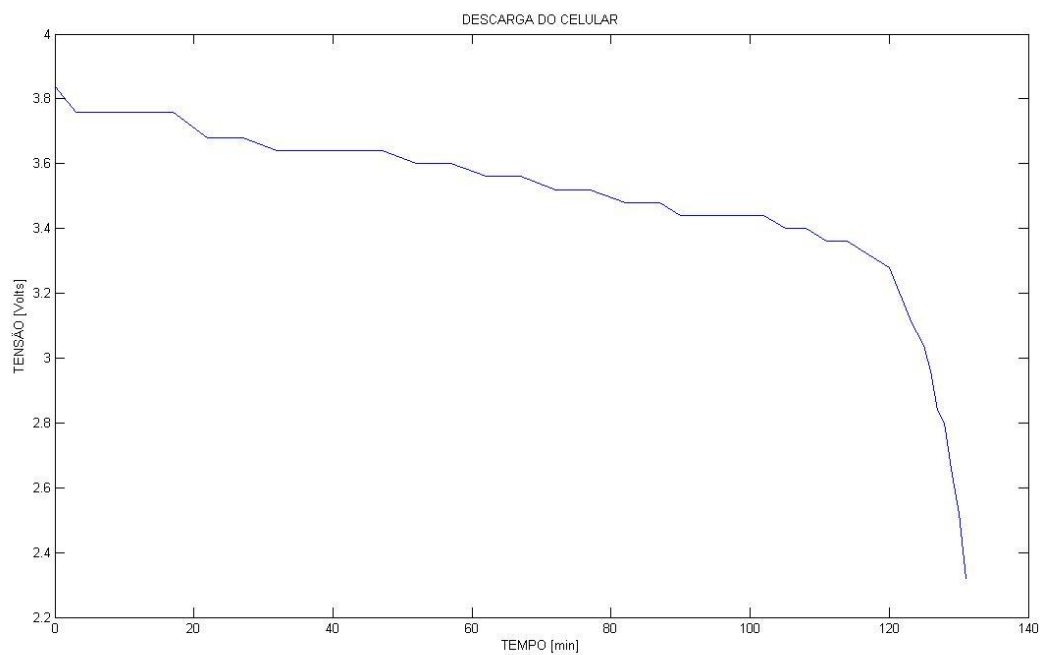


Figura 29 – Tensão de descarga da bateria da LG com carga obtida com o protótipo.

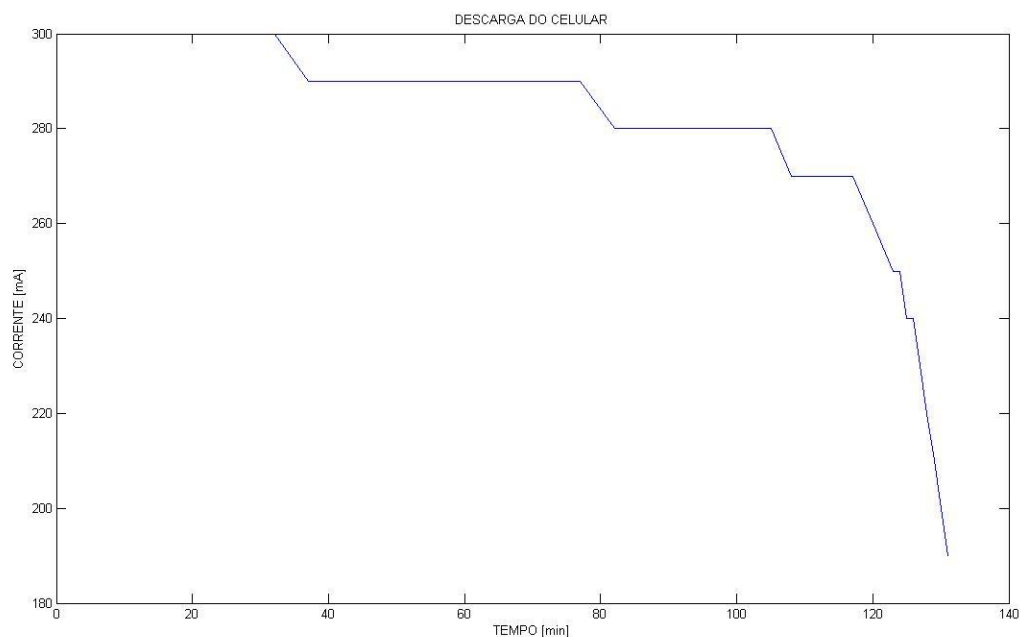


Figura 30 – Corrente de descarga da bateria LG com carga obtida com o protótipo.

Para validar o projeto, realizou-se o mesmo processo de carga e descarga utilizado para a bateria da LG aplicada a bateria da Nokia de 850mAh do modelo BL-5C com 2 anos de uso, mas antes do processo de teste foram traçadas as curvas de descarregamento da bateria, figuras 31 e 32, cuja a carga foi obtida com o carregador do fabricante com a finalidade de verificar a real capacidade de carga. As figuras 33 e 34 mostram o carregamento obtido com o protótipo. As figuras 35 e 36 apresentam o descarregamento da bateria após carga com o protótipo.

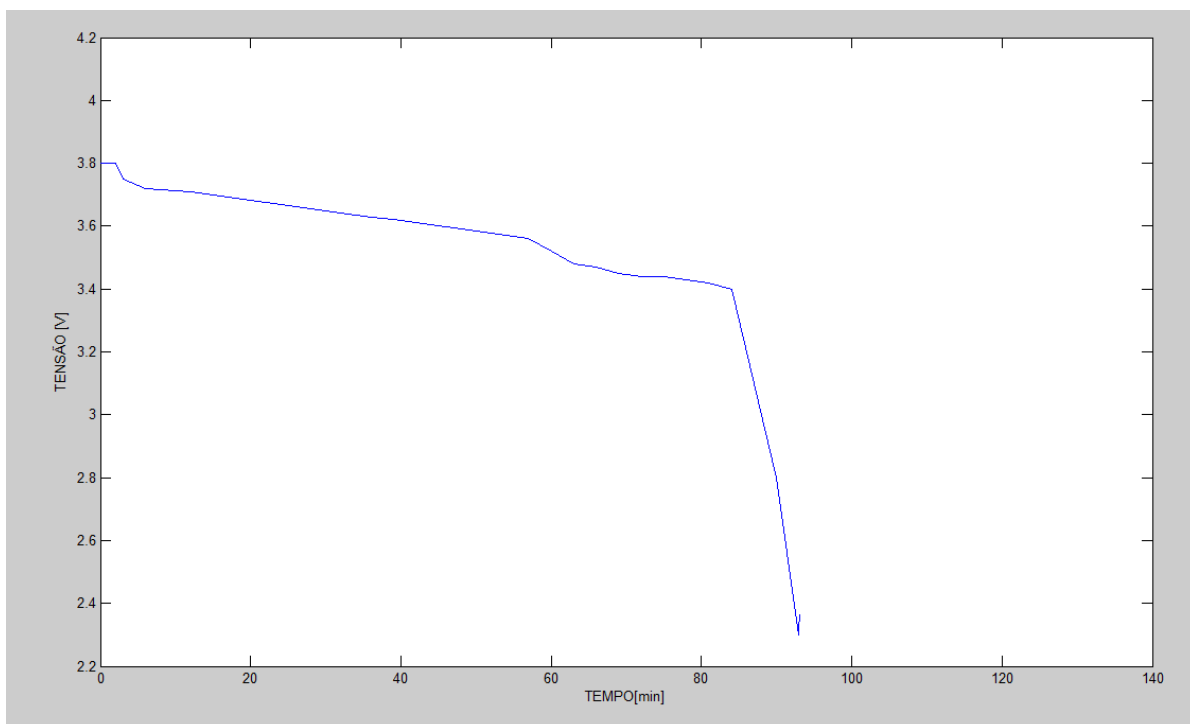


Figura 31 - Tensão de descarga da bateria da Nokia com carga obtida com o carregador.

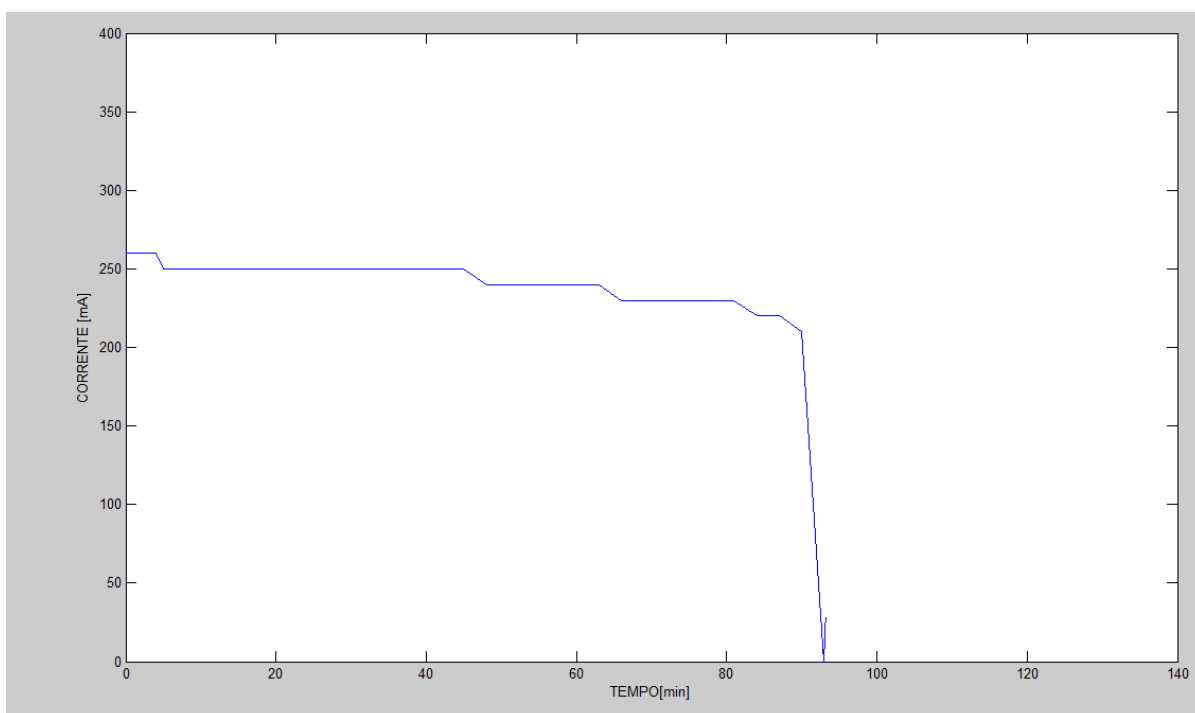


Figura 32 - Corrente de descarga da bateria da Nokia com carga obtida com o carregador.

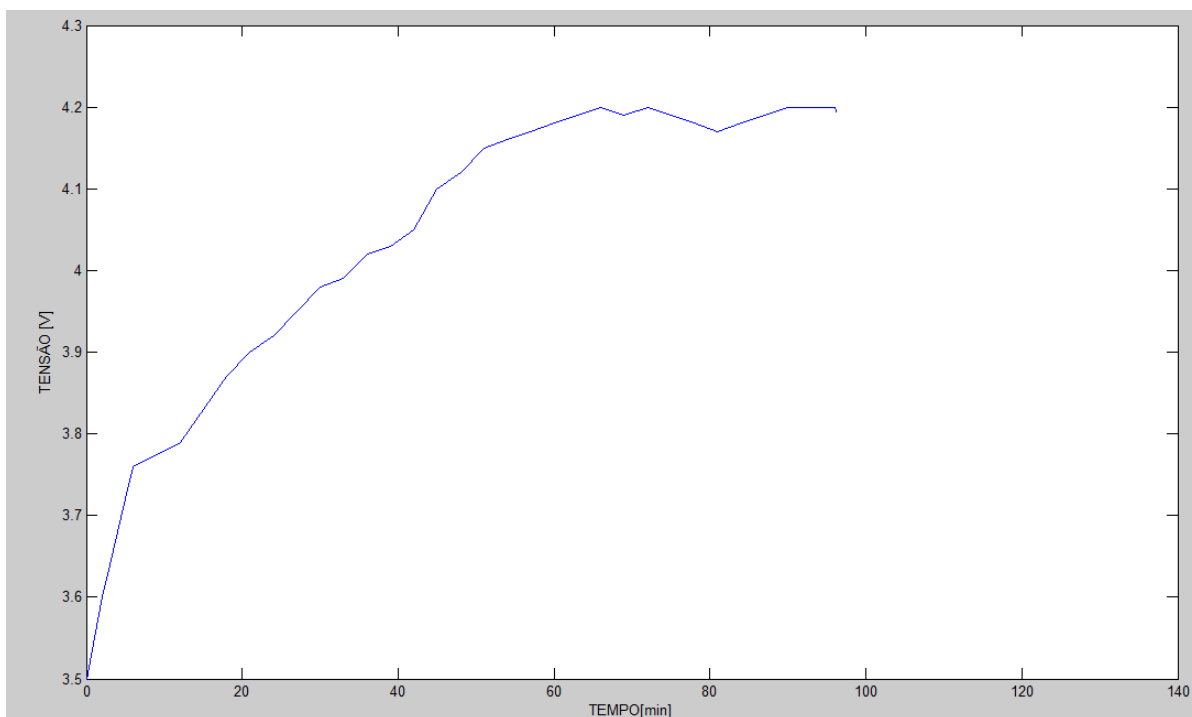


Figura 33 - Tensão de carga da bateria Nokia com o protótipo.

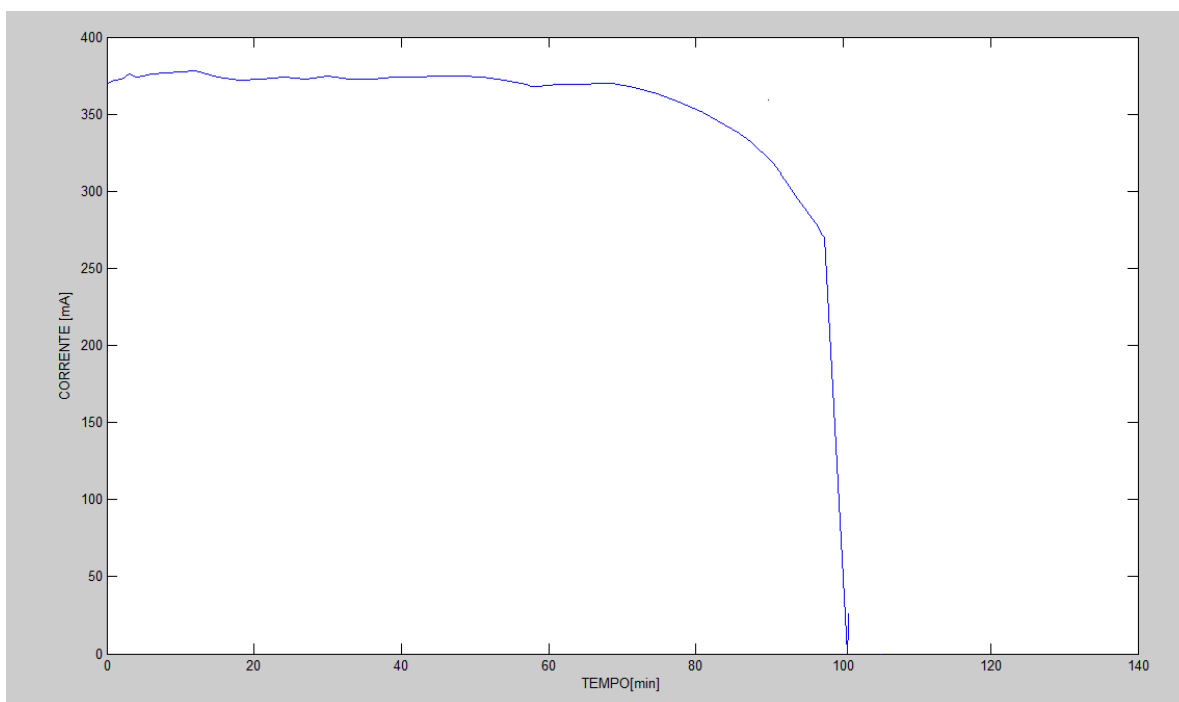


Figura 34 - Corrente de carga da bateria Nokia com o protótipo.

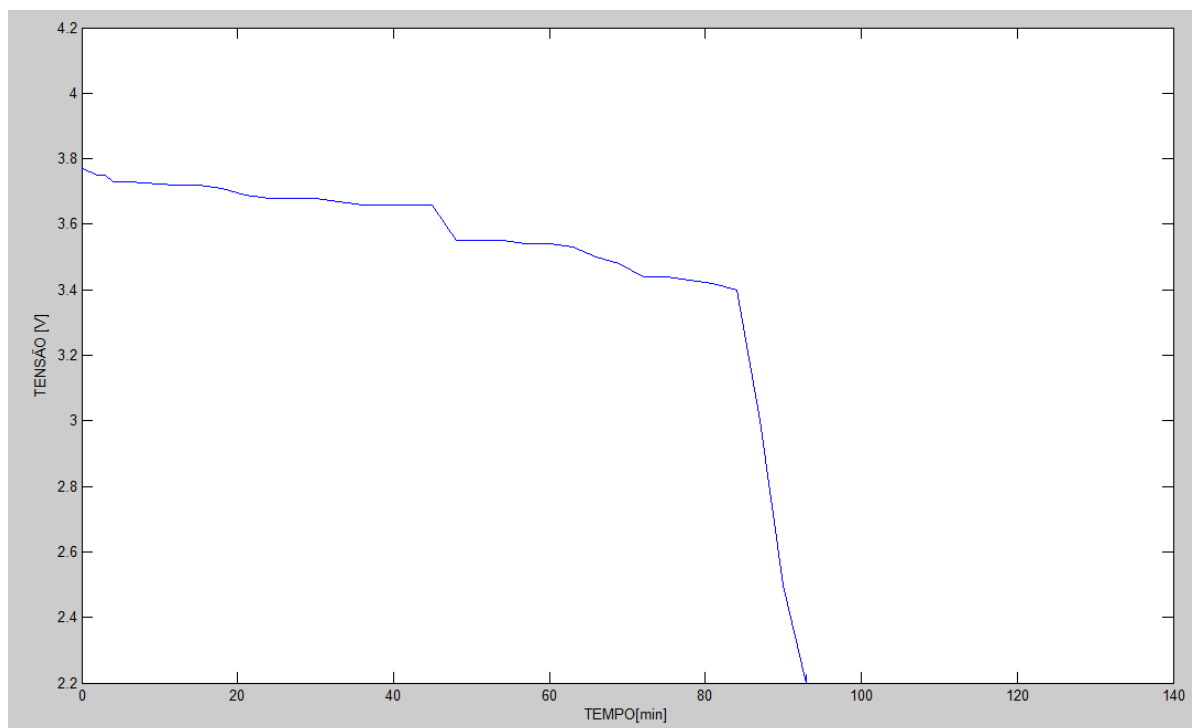


Figura 35 - Corrente de descarga da bateria da Nokia com carga obtida com o protótipo .

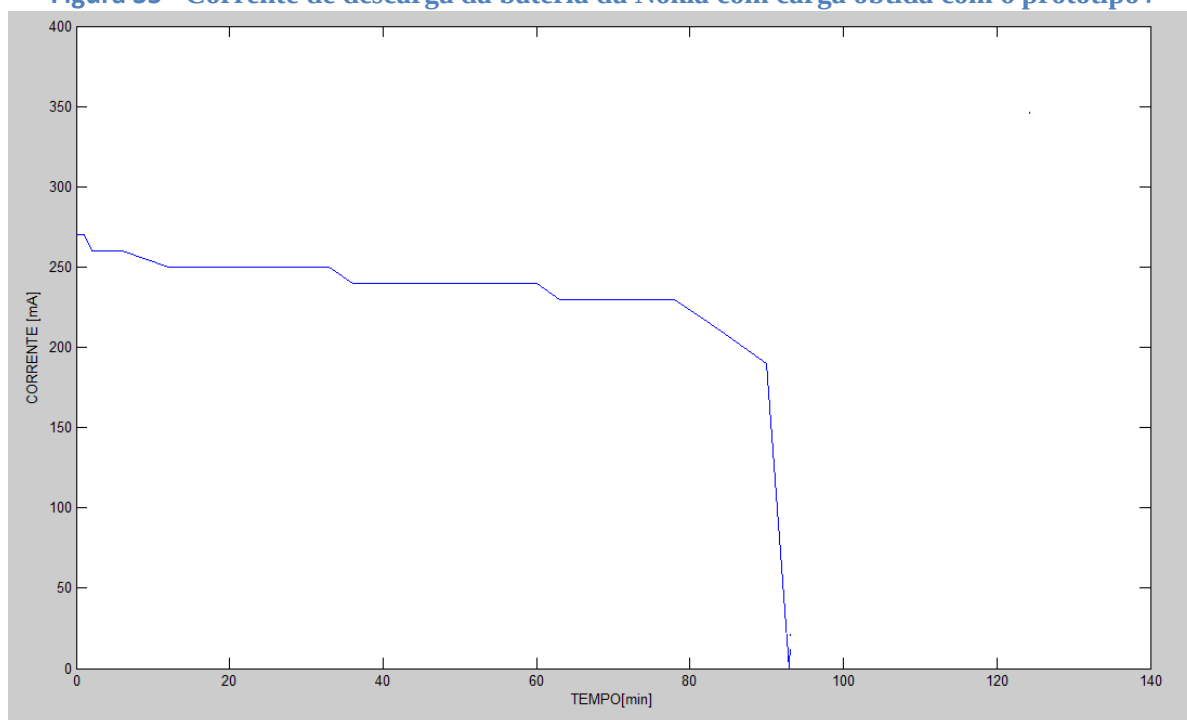


Figura 36 - Corrente de descarga da bateria da Nokia com carga obtida com o protótipo.

4.1 Custos dos materiais

O resultado da pesquisa realizada no mercado de eletrônicos local forneceu a tabela 2, que mostra o valor unitário do produto correspondente ao montante total de 3

quantidades orçadas. Esses valores são aproximações, pois o orçamento foi feito de maneira informal pelo revendedor e sem consulta aos fabricantes para tais quantidades.

Tabela 2 – Preços do Material se comprado em grande quantidade

Quantidades	100 unidades	1.000 unidades	10.000 unidades
PCB	R\$50,00	R\$45,00	R\$40,00
Componentes Discretos	R\$4,50	R\$ 3,00	R\$2,50
PIC16F877A	R\$13,45	R\$11,50	R\$9,50
Fonte de 12 volts	R\$27,00	R\$24,50	R\$16,50
LCD	R\$20,00	R\$18,00	R\$12,00
Total	R\$114,95	R\$101,00	R\$80,50

4.2 Discussão

Comparando as figuras de carga da bateria obtidas com o protótipo e com o carregador comercial tanto para tensão quanto para corrente foram compatíveis. As curvas traçadas dos descarregamentos ilustradas nas figuras 27, 28, 35 e 36 ajudaram a medir a capacidade real de armazenamento da bateria, através de medições de corrente e tempo, e comprovar que o protótipo consegue carregá-las por completo, assim como os carregadores dos fabricantes.

O levantamento dos custos, mesmo que aproximados, demonstrou que se forem considerados apenas os fatores custo do material utilizado e custo do carregador de celular separadamente, o dispositivo irá proporcionar lucro após algumas trocas de celular, mas como se trata de um aparelho que envolve todas as pessoas que utilizam celulares, cabe às empresas considerar vários outros fatores fundamentais como, por exemplo: custo de implementar uma linha de montagem, perda do lucro proveniente da venda de carregadores, testes da vida útil do dispositivo desenvolvido, pesquisas se a população está disposta a fazer um investimento que terá uma utilidade maior a longo prazo, entre outros.

5 Conclusão

Este Trabalho de Conclusão de Curso cumpriu com êxito seu objetivo principal de carregar baterias de íons de lítio através de um protótipo que substitui todos os modelos de carregadores atuais e que seja viável a comercialização. O funcionamento do projeto foi validado ao carregar diferentes tipos de baterias e ao comparar as curvas obtidas com outras traçadas pelos fabricantes Apple e Panasonic.

Ao longo do projeto foram utilizados conhecimentos adquiridos na área de sistemas digitais (circuitos lógicos, programação, microcontroladores), circuitos eletrônicos, gerenciamento de projetos, entre muitas outras habilidades, como, redação e leitura de trabalhos técnicos, diálogo com o fabricante da fresa e estudo de preços para viabilizar a comercialização do produto, além do contato com as normas e diretrizes de elaboração de relatórios acadêmicos, obtidos no desenvolvimento da monografia, sendo esta habilidade de grande importância profissional.

6 Sugestões para Trabalhos Futuros

Foram tomados diversos cuidados para que o dispositivo não se tornasse obsoleto rapidamente e, em virtude disso, o projeto está habilitado a suportar diversas otimizações, tanto em *hardware* quanto em *software*, como por exemplo:

- Utilização da comunicação serial para gravação *in-circuit* e do algoritmo estruturado em módulos para facilitar o aprimoramento do *software* e sua implementação;
- Utilização de conectores no LCD, de modo a facilitar sua remoção e instalação na placa e assim fornecer a opção de comprar separadamente o *display* caso o usuário deseje visualizar informações mais técnicas do carregamento;
- Opção de venda separadamente de vários cabos com conectores específicos para cada tipo de celular para carregar a bateria diretamente no aparelho. Por se tratar de um protótipo, esse cuidado com o conforto do usuário não foi tomado, sendo necessário retirar a bateria do celular e conectá-lo aos contatos do dispositivo para realizar o carregamento;
- Possibilidade de adaptação do software para baterias de Níquel Cádmio e Níquel-Metal Hidreto, pois as características de carregamento dessas pilhas também envolvem controle de corrente e detecção de tensão;

Referências Bibliográficas¹

Andrea, D. Battery Management Systems for large Lithium Ion Battery Packs, 1^a, Elithion.

Alldatasheet, HD44780U. Disponível em:

< <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/63663/HITACHI/HD44780U.html>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

Alldatasheet, JHD162A – JHD162A – List of unclassified Manufactures, Disponível em:

<<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/127934/ETC1/JHD162A.html>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

Alldatasheet, LM7805, MC78XX/LM78XX/MC78XXA 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator, Disponível em:

< <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/82833/FAIRCHILD/LM7805.html> >. Acesso em: 15 jun. 2011.

Alldatasheet, MAX232, MAX232 – Dual ELA-232 DRIVERS/RECEIVERS – Texas Instruments, Disponível em:

<<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/27251/TI/MAX232.html>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

Alldatasheet, PIC16A877A, PIC16F877A - 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers - Microchip Technology, [S.l.]: Disponível em:

< <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/82338/MICROCHIP/PIC16F877A.html>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

Apple – Baterias. Disponível em: < <http://www.apple.com/br/batteries/>> Acesso em: 20 jun. 2011.

Battery University, 2011 Disponível em:

<.http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries>. Acesso em: 10 jul. 2011.

Custom Computer Service, Inc, 2011. Disponível em:

<<http://www.ccsinfo.com/content.php?page=compilers>>. Acesso em: 20 nov. 2011.

Instituto Newton C. Braga, 2011. Disponível em:

<<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/microcontroladores/102-texas/1249-mic008.html>>. Acesso em: 10 set. 2011.

JOHNSON, David E. Fundamentos de Análise de Circuitos Elétricos, 4 ed, Prentice Hall do Brasil .

One charger for all - Let's Plug - Radio and telecommunications terminal equipment (R&TTE) - Enterprise and Industry, Disponível em:

<http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/rtte/chargers/index_en.htm#>. Acesso em: 20 jun. 2011.

¹De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023.

PEREIRA, F. Microcontroladores PIC: Programação em C. 1 ed, Érica.

Rechargeable Lithium Ion OEM Batteries – Panasonic. Disponível em:
<http://www.panasonic.com/industrial/includes/pdf/cgr18650ch_data_sheet.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2011.

SEDRA, A. S.; SMITH, K. C. Microeletrônica. 4 ed, Makron Books.