

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Celio Camara Goulart

**DESENVOLVIMENTO DE UM CARREGADOR DE BATERIAS
PARA BICICLETA ELÉTRICA**

Santa Maria, RS, Brasil

2018

Celio Camara Goulart

**DESENVOLVIMENTO DE UM CARREGADOR DE BATERIAS
PARA BICICLETA ELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada
ao Curso de Graduação em Engenharia
Elétrica, da Universidade Federal de Santa
Maria (UFSM, RS), como requisito parcial
para a obtenção do grau de:
Engenheiro Eletricista

Orientador: Prof. Jorge Rodrigo Massing

Santa Maria, RS, Brasil

2018

Celio Camara Goulart

**DESENVOLVIMENTO DE UM CARREGADOR DE BATERIAS
PARA BICICLETA ELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de:
Engenheiro Eletricista

Aprovado em 10 de dezembro de 2018:

Jorge Rodrigo Massing, Dr. Eng. (UFSM)
(Orientador)

Bernardo Andres, Mestre (UFSM)

Eng. Felipe Scalcon (UFSM)

Santa Maria, RS, Brasil

2018

Dedicado aos meus Pais.

.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer às duas pessoas que foram fundamentais em minha criação e responsáveis pela pessoa e pelo profissional que estou me tornando; que sempre me ensinaram a lutar pelos meus objetivos com muita garra, sendo honesto e mantendo a humildade; que me motivaram a ter tudo que eu conquistei; e que sempre estiveram ao meu lado: meu pai, Pedro Alberi Camargo Goulart, e minha mãe, Alda Camara Goulart.

Agradeço aos amigos que fiz durante estes anos de graduação, que sempre me apoiaram e me ajudaram tanto nos estudos como nas horas difíceis.

Minha gratidão à UFSM, e todo seu corpo docente, que oportunizaram meu aprendizado, permitindo que eu pudesse desfrutar deste título.

A toda a minha família, tios, primos e avós, que formaram a minha base para tudo na vida, registro meu agradecimento.

Agradeço, especialmente, ao meu professor-orientador Jorge Rodrigo Massing, por me apoiar no desenvolvimento deste trabalho e por todo o conhecimento que me proporcionou durante a graduação, e que muito vai contribuir no exercício dessa grandiosa profissão.

E, finalmente, minha gratidão a Deus, que possibilitou tudo que vivo e ainda viverei.

"Na engenharia 99% feito é igual a zero, faça as coisas 100% para que se considere concluídas"

(Ricardo Guidini)

RESUMO

DESENVOLVIMENTO DE UM CARREGADOR DE BATERIAS PARA BICICLETA ELÉTRICA

AUTOR: CELIO CAMARA GOULART
ORIENTADOR: JORGE RODRIGO MASSING

Este trabalho tem por objetivo apresentar o desenvolvimento de um carregador de baterias para uso em bicicleta elétrica (E-Bike). Neste trabalho, foi utilizado o controlador de carga LTC4000, que é um circuito integrado desenvolvido para o uso em carregadores de bateria. O trabalho mostra as etapas do desenvolvimento e a aplicação para uso dedicado do dispositivo.

Palavras-chave: bateria, carregador, Chumbo ácido, bicicleta elétrica, controlador, conversor, E-Bike, Li-Ion, Chumbo ácido, LTC4000.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A BATTERY CHARGER FOR E-BIKE

AUTHOR: CELIO CAMARA GOULART
ADVISOR: JORGE RODRIGO MASSING

This work aims to present the development of a battery charger for use in E-Bike. In this work, the load controller LTC4000 was used, which is an integrated circuit developed for use in battery chargers. The work shows the development steps and the application for dedicated use of the device.

Keywords: battery, charger, converter, E-Bike, converter, acid-lead, Li-ion, LTC4000, controller.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Bateria de Chumbo Ácido | 16 |
| Figura 2 - Curva de Carga Bateria Chumbo Acido | 17 |
| Figura 3 – Células de Baterias de Ion-Lítio | 18 |
| Figura 4 - Curva de carga bateria de Ion-Lítio | 19 |
| Figura 5 - Bateria de NiCd | 20 |
| Figura 6 - Carga lenta NicCd..... | 21 |
| Figura 7 - Carga rápida NiCd | 21 |
| Figura 8 - Pilha Ni-Mh..... | 22 |
| Figura 9 - Esquemático conversor abaixador | 25 |
| Figura 10 - Topologia conversor abaixador | 26 |
| Figura 11 - Esquemático conversor elevador-abaixador..... | 27 |
| Figura 12 - Esquemático conversor Forward | 27 |
| Figura 13 - Esquemático conversor Fly-Back | 28 |
| Figura 14 – Configuração dos pinos do LTC4000 | 33 |
| Figura 15 - Carregador chumbo acido 36V 1A | 36 |
| Figura 16 - Layout PCB carregador 36V/1A | 37 |
| Figura 17 - Placa protótipo finalizada..... | 38 |
| Figura 18 - Curva de Carga experimental | 40 |

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos do protótipo 44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | | |
|----------|---|--|
| NiCd | - | Níquel Cádmio |
| Ni-Mh | - | Níquel Hidreto Metálico |
| CI | - | Circuito Integrado |
| A | - | Amperes |
| UFSM | - | Universidade Federal De Santa Maria |
| C | - | Capacidade de corrente da bateria (Ah) |
| Ah | - | Amper/hora |
| V | - | Volts |
| W | - | Watts |
| °C | - | Graus Celsius |
| m | - | mili (10^{-3}) |
| Vcc | - | Tensão Contínua |
| AC | - | Corrente Alternada |
| CC | - | Corrente Contínua |
| n | - | nano (10^{-9}) |
| F | - | Faraday – Capacitância |
| Ω | - | Ohm – Resistência |
| μ | - | micro (10^{-6}) |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA | 14 |
| 1.2 OBJETIVO | 14 |
| 1.3 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS | 14 |
| 1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 15 |
| 1.4.1 TIPOS DE BATERIAS..... | 15 |
| 1.4.2 MÉTODOS DE CARGA | 23 |
| 1.4.3 TOPOLOGIAS DE CONVERSORES CC/CC..... | 25 |
| 2. DESENVOLVIMENTO..... | 29 |
| 2.1 CONTROLADOR DE CARGA..... | 29 |
| 2.1.1 LTC4000..... | 29 |
| 2.2 ESCOLHA DA BATERIA | 30 |
| 2.3 FONTE DE ENERGIA | 30 |
| 3. PROJETO..... | 31 |
| 3.1 ESPECIFICAÇÕES DO CONTROLADOR | 32 |
| 4. MONTAGEM/CONFECÇÃO DO PROTÓTIPO | 36 |
| 5. ANÁLISE DE RESULTADOS | 39 |
| 6. CONCLUSÃO | 41 |
| REFERÊNCIAS..... | 42 |
| APÊNDICE A - TABELA DE CUSTOS..... | 44 |

1. INTRODUÇÃO

É notável como os meios de transporte e suas fontes de energia vêm sofrendo constante e intensa evolução. Ao mesmo tempo em que novos meios de transporte estão sendo desenvolvidos, outros que são considerados antigos perante a sociedade estão sendo adaptados com novas fontes de energia para se adequarem ao mundo moderno.

No mundo atual é inevitável a necessidade que a sociedade tem de se locomover, seja em viagens longas ou em curtas distâncias, como do trabalho para casa. Cada tipo de situação exige meios de transportes diferentes e adaptados a ela. Uma alternativa que surge nos meios de transporte urbanos são as bicicletas elétricas, que se tornam de grande utilidade em pequenas distâncias e em trajetos onde o trânsito é intenso.

Atualmente, encontram-se disponível no mercado kits elétricos para bicicletas, compostos por um motor, um controlador de velocidade, uma bateria e um carregador, com o qual qualquer bicicleta comum pode se tornar uma bicicleta elétrica, também conhecida como E-Bike.

A grande questão em relação às bicicletas elétricas e aos veículos elétricos em geral é a sua autonomia e o modo como esses veículos vão ser recarregados. A autonomia depende de vários fatores, como, o tipo de motor que está sendo utilizado e das baterias que o alimentam. Para recarregar os acumuladores de carga são necessários conversores CC/CC ou CA/CC, que ajustem o nível de tensão de entrada do dispositivo - seja ele vindo direto da rede, de um painel solar, ou até mesmo outra bateria - até o nível de tensão da bateria. Além de um controlador de carga para gerenciar a carga, ou seja, o nível de tensão e a intensidade de corrente que está chegando aos terminais da bateria, para evitar o desgaste desta.

1.1 MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Este trabalho tem como principal motivação o desenvolvimento de um carregador de baterias de baixa tensão para uso em bicicletas elétricas, e a intenção de complementar outro trabalho já em desenvolvimento de outro acadêmico, o qual tem como objetivo o desenvolvimento do acionador e do controlador do motor de uma E-Bike.

O desenvolvimento de um carregador de baterias dedicado para bicicletas elétricas depende das características da bateria, tais como potência e tensão de saída.

1.2 OBJETIVO

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo apresentar o desenvolvimento projeto e execução de um carregador de uso dedicado para baterias de bicicleta elétrica. São características desejáveis para o projeto do carregador de baterias: funcionalidade, custo acessível e tamanho reduzido.

1.3 ORGANIZAÇÃO DOS CAPÍTULOS

A estrutura do trabalho está organizada da seguinte maneira:

Capítulo 2 – Desenvolvimento do protótipo

1.1 Escolha da Bateria

1.2 Controlador de Carga

Capítulo 3 – Projeto

2.1 Definições do esquemático do circuito

2.2 Definição do layout da placa PCB

Capítulo 4 – Execução

3.1 Montagem do protótipo

Capítulo 5 – Análise de resultados

4.1 Análise do funcionamento do protótipo

1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.4.1 TIPOS DE BATERIAS

Diversos são os tipos de baterias que podemos encontrar no mercado. Os principais fatores que diferenciam as pilhas ou baterias são o tipo de material com as quais são fabricadas, ou seja, a química de cada uma, e a densidade de carga que elas possuem.

Uma pilha ou uma bateria são equipamentos que conseguem transformar energia química em elétrica. A pilha possui apenas dois eletrodos (o positivo e o negativo) em um eletrólito, enquanto as baterias são pilhas ligadas em série.

No cotidiano existem vários tipos de pilhas e baterias, que se diferenciam especialmente pelo tipo de eletrodo que possuem.

A seguir, temos uma breve explicação de cada tipo de bateria e suas características de carga.

1.4.1.1 CHUMBO ÁCIDO

A fabricação dessa bateria é antiga, vindo desde o ano de 1915. As baterias de chumbo são duráveis e econômicas, quando o problema de peso pode ser desprezado, elas são as que mais se adequam, justamente por isso, são escolhidas para o uso em carros, equipamentos hospitalares, cadeira de rodas elétricas, luz de emergência e nobreaks.

Geralmente são formadas internamente por seis células de 2V cada, totalizando 12V, que podem ser conectadas de modo a formar 24V ou 36V, dependendo da aplicação. Em cada célula o polo positivo (catodo) é formado por placas de chumbo revestidas com óxido de chumbo (PbO_2), e o polo negativo (anodo) é formado por placas de chumbo. Os dois polos são mergulhados em uma solução de ácido sulfúrico.

Figura 1 - Bateria de Chumbo Ácido



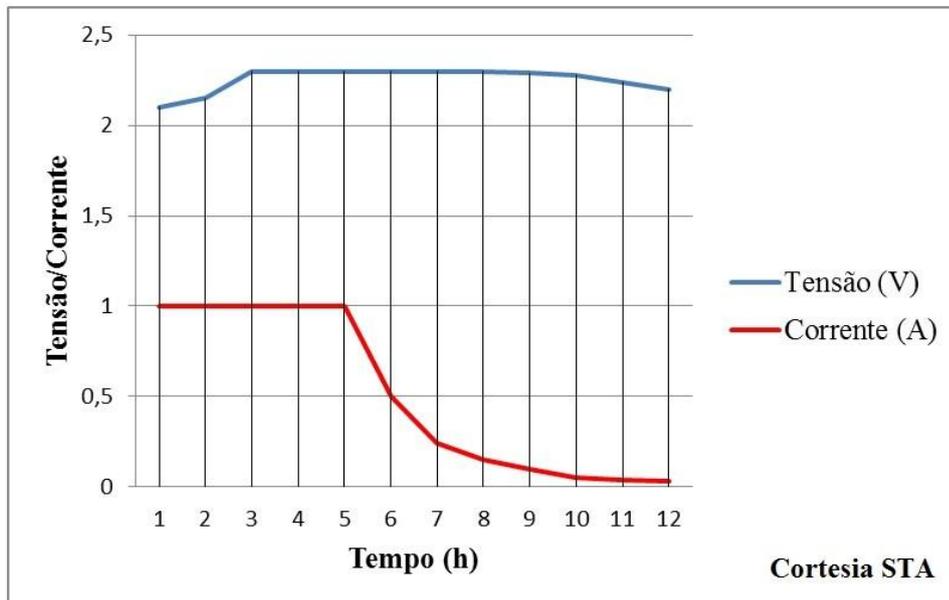
Fonte: Mechatrofice

Por conter chumbo, é uma bateria que precisa ser reciclada. Durante o carregamento, a reação química que gera energia faz com que ocorra perda de água, exigindo que esse tipo de bateria necessite de manutenção constante e reposição de água destilada para que ela não perca a eficiência. Para resolver esse problema, foi criada a bateria de chumbo ácido selada, que dispensa a manutenção de troca de água.

Para recarga das baterias de chumbo ácido temos um método em três estágios, que pode ser observado na Figura 2, e demonstra a carga de uma célula de 2V. O tempo de recarga pode variar de 10h até 12 horas, dependendo da temperatura em que se encontra a bateria.

A carga de uma bateria de chumbo-ácido é constituída basicamente de três etapas: corrente constante, carga de pico e carga de flutuação.

Figura 2 - Curva de Carga Bateria Chumbo Acido



Fonte: Manual STA

O primeiro estágio consiste em inserir uma corrente constante em torno de $0.1C$ até que a célula atinja uma tensão máxima que depende muito da bateria e do fabricante, mas fica em torno de 2.3V a 2.5V.

Ao atingir o limite de tensão programado inicia-se o estágio tensão constante até que a bateria atinja uma corrente consideravelmente baixa, para que seja considerada carregada.

Ao final, a carga fica no estágio de tensão de flutuação, para evitar a auto descarga da bateria. Na maioria das baterias a tensão de flutuação recomendada é 2.3V a 2.35V por célula.

1.4.1.2 ION-LÍTIO

Essa é tecnologia mais recente, quando se fala em equipamentos eletrônicos de alto desempenho e de última geração como celulares, tablets, notebooks e bicicletas elétricas. Nesse tipo de equipamento que as baterias de Li-Ion são amplamente utilizadas.

Elas possuem uma alta densidade de carga, ou seja, podem armazenar a mesma quantidade de energia em um terço de volume que uma bateria de chumbo ácido por exemplo, mas também possuem o preço mais elevado do que as baterias comuns.

A bateria de Li-Ion é de baixa manutenção, uma vantagem que a maioria das outras baterias químicas não tem. Não existe o efeito memória, o qual consiste em termos leigos “viciar a bateria”, que acontece quando ciclos de cargas completos não são realizados. Sendo assim nenhum ciclo programado é exigido para prolongar a vida da bateria. Além disso, se comparada com as as baterias de NiCd e NiMh., sua auto descarga possui um taxa 50% menor.

A alta tensão da célula de Li-Ion, acima de 3V, permite a fabricação de conjuntos de baterias que consistem em apenas uma célula. Muitos dos telefones móveis de hoje funcionam com uma célula simples, uma vantagem que simplifica o projeto dos equipamentos.

Apesar de suas vantagens, as baterias de Li-Ion também têm as suas inconveniências. Ela é frágil e requer um circuito de proteção para manter uma operação segura. Embutido dentro de cada conjunto, o circuito de proteção limita a tensão de pico de cada célula durante a carga e previne que a tensão da célula caia muito durante a descarga. Além disso, a máxima corrente de carga e descarga é limitada e a temperatura da célula é monitorada para prevenir temperaturas extremas.

Figura 3 – Células de Baterias de Ion-Lítio



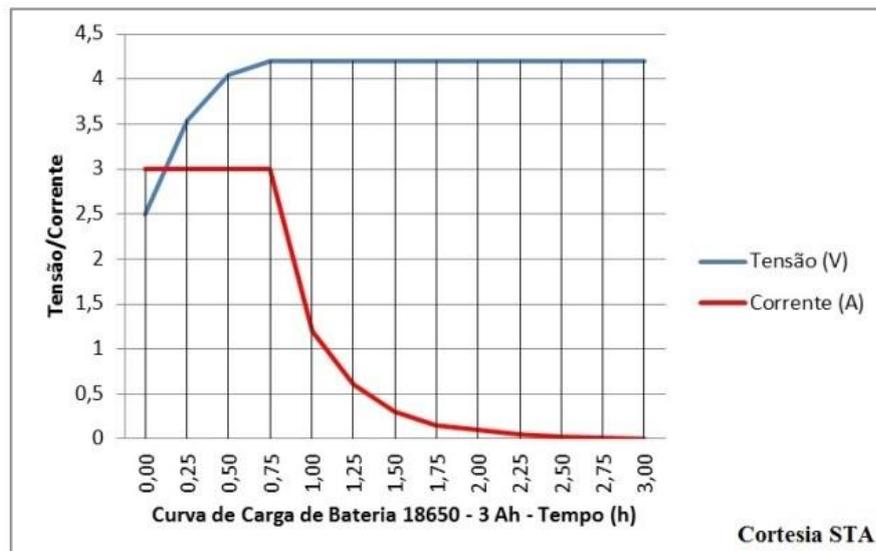
Fonte: Blog Gustavo Murta

O método de carga das baterias de íon-lítio se assemelha muito com as de chumbo ácido, pois se baseia num dispositivo limitador de tensão. Uma célula típica tem

aproximadamente 3,6V e a tensão de carga pode atingir até 4,2V. A corrente de carga pode ser de 1C para cargas rápidas, ou de 0.1C para uma carga mais lenta, de manutenção. Um exemplo de carga pode ser visto na figura 4.

Diferente das baterias de chumbo-ácido, essa não necessita de uma carga com tensão de flutuação, devido ao circuito eletrônico presente nela que evita a auto descarga, dispensando a tensão de flutuação.

Figura 4 - Curva de carga bateria de Ion-Lítio



Fonte: Manual STA

1.4.1.3 NÍQUEL CÁDMIO

Essa é a tecnologia mais comum em termos de pilhas e baterias. A bateria de níquel cádmio está com muito tempo de uso no mercado. Portanto, é uma tecnologia já desenvolvida e madura. No entanto, a sua densidade de energia não é muito grande, sendo menor que as baterias mais recentes como NiMh e Li-Ion. A bateria de NiCd é utilizada quando se quer vida longa, robustez e preço baixo. A Figura 5 apresenta um modelo típico de bateria de NiCd.

Figura 5 - Bateria de NiCd



Fonte: Manual STA Eletrônica

A bateria de níquel-cádmio é uma bateria secundária, ou seja, é recarregável, e ela pode ser reutilizada várias vezes. Essas pilhas param de funcionar quando acontece uma reação química interna e resíduos se depositam sobre os eletrodos impedindo o seu funcionamento.

No entanto, basta colocar essa bateria num carregador apropriado, pois as suas semirreações são reversíveis e o fornecimento de corrente elétrica faz com que a reação ocorra no sentido oposto, em que há o consumo dos produtos e formação dos reagentes. Desse modo, a pilha volta a funcionar novamente. Uma bateria de níquel-cádmio pode ser reutilizada cerca de 4 mil vezes. Essas baterias são muito usadas em celulares, barbeadores, câmeras de vídeo, flashes, aparelhos eletrônicos portáteis, ferramentas, entre outros.

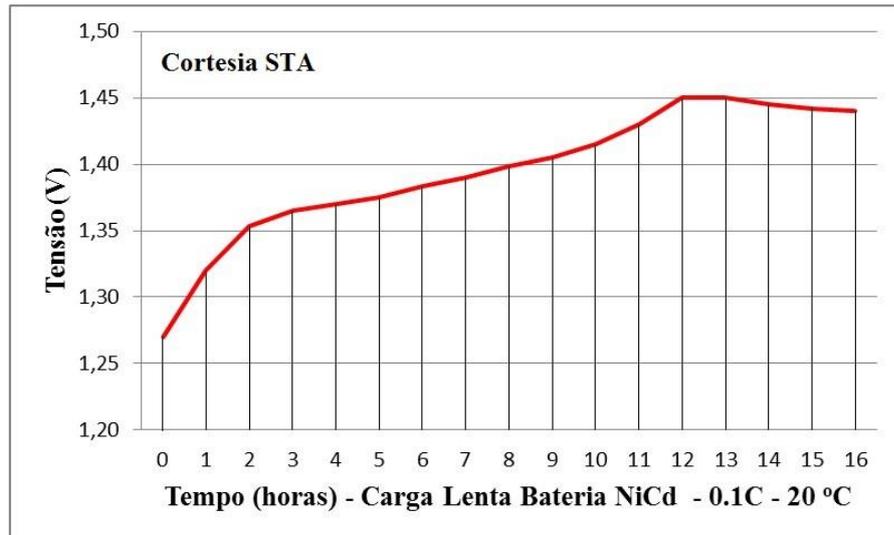
O cádmio é um metal altamente tóxico, mesmo em pequenas quantidades, é bioacumulativo e pode causar disfunção renal, problemas pulmonares e câncer. Por isso, esse tipo de bateria vem sendo gradativamente substituído por baterias de hidretos metálicos, que são mais avançadas tecnologicamente e representam um menor perigo para o meio ambiente.

Os fabricantes de baterias de NiCd recomendam que baterias novas sejam carregadas em modo lento por 24 horas antes do uso. Uma carga lenta ajuda a manter as células dentro das baterias em um nível de carga igual, porque cada célula se autodescarrega em diferentes níveis de capacidade. Durante uma armazenagem longa, o eletrólito tende a ir para o fundo da célula.

Diferente das outras baterias, as baterias de NiCd não possuem estágio corrente constante. A sua carga é realizada apenas com base na tensão aplicada, podendo ter um controle baseado na temperatura da bateria.

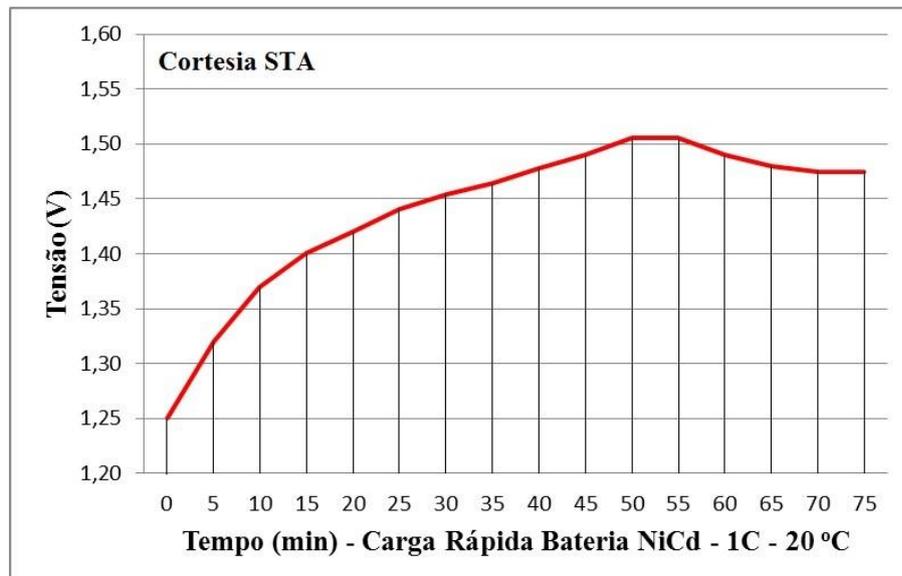
De acordo com a Figura 6, vemos que o tempo de carga completa de uma bateria de NiCd é em torno de 16 horas, com uma corrente de 0,1C, podendo diminuir para menos de duas horas com uma carga rápida de 1C de acordo com a Figura 7.

Figura 6 - Carga lenta NicCd



Fonte: Manual STA Eletrônica

Figura 7 - Carga rápida NiCd



Fonte: Manual STA Eletrônica

1.4.1.4 Bateria NiMh

A bateria de níquel-hidreto metálico tem uma alta densidade de energia, se comparada com as baterias NiCd, porém seu ciclo de vida é ligeiramente inferior ao das baterias NiCd.

As principais aplicações dessas baterias são telefones celulares, câmeras digitais e notebooks mais antigos.

Figura 8 - Pilha Ni-Mh



Fonte: Manual STA Eletrônica

O sucesso das baterias NiMh tem se dado por causa de sua alta densidade de energia e pelo uso de metais não tóxicos. As baterias de NiMh oferecem até 100% a mais de densidade de energia em comparação com as baterias de NiCd.

Tanto as baterias NiCd, como as baterias NiMh, têm uma alta taxa de autodescarga, ou seja, mesmo estando desconectadas de qualquer carga elas perdem uma certa quantidade de energia durante certo período de tempo. A bateria de NiCd, perde aproximadamente 10% de sua capacidade dentro das primeiras 24 horas, após o que a autodescarga é de 10% ao mês. A autodescarga das baterias de NiMh é 1,5 a 2 vezes a autodescarga das baterias NiCd.

As baterias de NiMh têm substituído as baterias de NiCd. Em muitas partes do mundo, o consumidor é encorajado a usar baterias NiMh ao invés de baterias NiCd. Isto se deve a preocupações ambientais com o descarte das baterias em fim de vida útil.

Inicialmente mais caras que as baterias NiCd, atualmente as baterias NiMh têm preço bem próximo ao das baterias NiCd. Devido aos problemas ambientais, o consumo e a produção de baterias NiCd têm diminuído, o que provavelmente fará seu preço crescer.

1.4.2 MÉTODOS DE CARGA

Os métodos que podem ser empregados para realizar o carregamento das baterias são diversos, desde que se tenha cuidado com os fatores mais importantes. O tempo de carga da bateria e o rendimento do processo estão atrelados, uma vez que para uma carga rápida se necessita uma corrente mais elevada, o que diminui o rendimento. Portanto, estes dois fatores devem ser trabalhados juntos. Outros dois fatores que devem receber atenção são a temperatura durante a carga e a tensão que é aplicada às baterias, pois se ambos forem muito elevados a bateria pode ser danificada, reduzindo sua vida útil. (COELHO apud BASTOS, 2013).

Por isso, os fatores segurança, eficiência e tempo tornam o processo de carregamento algo complexo, que exige muita atenção. Outros fenômenos que devem ser evitados são a subcarga ou sobrecarga, que ocorre quando os níveis de tensão e corrente estão abaixo ou acima dos exigidos pela bateria, respectivamente. (COPE apud TAVARES, 2009).

A decisão de qual método de carga utilizar depende de cada tipo de bateria e é uma decisão a ser tomada pelo fabricante, que após vários ensaios vai indicar qual técnica que se obtêm o melhor resultado, sempre objetivando minimizar o tempo de carga, evitando sobrecargas e prolongando a vida útil das baterias. (CHIH-CHIANG apud TAVARES, 2009).

Em seguida são apresentadas as características das técnicas de cargas mais utilizadas, para analisar os possíveis cenários para realizar a recarga.

1.4.2.1 CORRENTE CONSTANTE

Pode-se dizer que esta é a técnica mais básica utilizada em carregadores, pois consiste apenas em aplicar uma corrente constante de baixa magnitude nos terminais da bateria (COPE apud TAVARES, 2009). Apesar de esta ser uma alternativa simples de ser implementada e de ter um baixo custo, possui a desvantagem de não possuir um controle sobre a carga da bateria, podendo ocorrer a diminuição do número de ciclos de carga (COPE apud TAVARES, 2009).

Neste método deve-se tomar cuidado quando se quer diminuir o tempo de carga, pois para isso deve-se aumentar a intensidade da corrente, o que aumenta a temperatura e, conseqüentemente, pode diminuir significativamente a vida útil da bateria (HUNG apud TAVARES, 1993).

1.4.2.2 TENSÃO CONSTANTE

É aplicada uma tensão constante sobre os terminais da bateria de acordo com os limites especificados pelo fabricante. Como a corrente diminui com o passar do tempo, o controle de temperatura não se torna algo complicado, e o sobreaquecimento deixa de ser uma preocupação (HUNG apud TAVARES, 1993).

A desvantagem deste método é que como a tensão sobre os terminais da bateria não varia, a única forma de detectar o fim de carga é monitorar a corrente que flui pelos terminais e determinar um valor para o fim de carga (HUNG apud TAVARES, 1993).

1.4.2.3 CORRENTE CONSTANTE – TENSÃO CONSTANTE

Consiste em um método híbrido entre nos dois vistos anteriormente. Une as vantagens propostas nos dois métodos, indicado para baterias que necessitam de um cuidado maior no momento da carga. É um método que possibilita um maior controle sobre as condições de carga da bateria (KIM apud TAVARES, 2008). Inicia com valor de corrente constante para acelerar o processo de carga. Essa corrente é mantida até a bateria atingir um valor de tensão especificado para que não ocorra o desgaste da bateria. Assim, mantendo-se um valor constante de tensão, a corrente começa a diminuir até o valor que determine o fim de carga (KIM apud TAVARES, 2008).

1.4.2.4 IMPULSOS DE CORRENTE

Este método surge com o intuito de resolver o problema de sobrecarga devido às elevadas correntes que são aplicadas nos métodos de corrente constante. O objetivo deste método é evitar sobrecarga e reduzir os danos causados as baterias devido ao aquecimento (COPE apud TAVARES, 1999). Nesse processo de carga ocorre uma pausa na corrente durante o ciclo, por um determinado tempo. Tipicamente o pulso de corrente tem uma duração de 1 segundo e uma pausa de 20 a 30 microssegundos, ou seja, neste tempo a corrente de carga é zero o que permite uma pausa para que ocorra um período sem presença de corrente, para que eventuais reações indesejadas não aconteçam. (COPE, 1999).

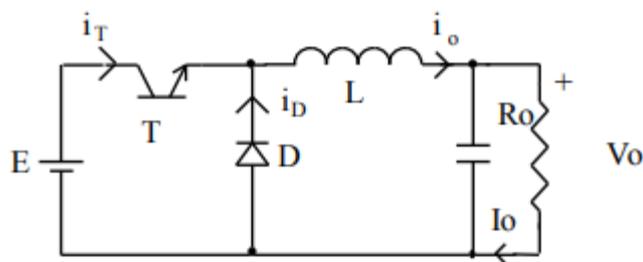
1.4.3 TOPOLOGIAS DE CONVERSORES CC/CC

As topologias disponíveis para implementação de conversores de tensão contínua são diversas, e a escolha depende para qual fim o conversor será utilizado. A seguir seguem algumas topologias mais conhecidas e utilizadas em eletrônica.

1.4.3.1 BUCK

Considere o conversor rebaixador de tensão (buck) da Figura 9. A tensão de entrada (E) é controlada pela chave T . Considere-se V_o praticamente constante, por uma ação de filtragem suficientemente eficaz do capacitor de saída. Assim, a corrente pela carga (R_o) tem ondulação desprezível, possuindo apenas um nível contínuo. Com o transistor conduzindo (diodo em aberto), transfere-se energia da fonte para o indutor (cresce i_o) e para o capacitor (quando $i_o > V_o/R$). Quando T desliga, o diodo conduz, dando continuidade à corrente do indutor. A energia armazenada em L é entregue ao capacitor e à carga. Enquanto o valor instantâneo da corrente pelo indutor for maior do que a corrente da carga, a diferença carrega o capacitor. Quando a corrente for menor, o capacitor se descarrega, suprindo a diferença, a fim de manter constante a corrente da carga (já que estamos supondo constante a tensão V_o). A tensão a ser suportada, tanto pelo transistor quanto pelo diodo, é igual à tensão de entrada, E . (PRESSAM et al, 2009)

Figura 9 - Esquemático conversor abaixador

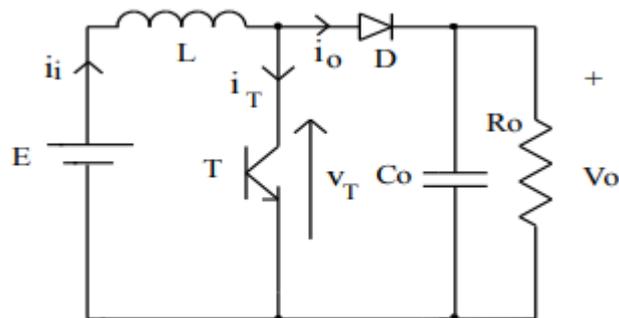


Fonte: Pressam

1.4.3.2 BOOST

Considere o conversor elevador de tensão (boost) da Figura 10. Quando T é ligado, a tensão E é aplicada ao indutor. O diodo fica reversamente polarizado (pois $V_o > E$). Acumula-se energia em L , a qual será enviada ao capacitor e à carga quando T desligar. A figura 10 mostra esta topologia. A corrente de saída, I_o , é sempre descontínua, enquanto I_i (corrente de entrada) pode ser contínua ou descontínua. Tanto o diodo quanto o transistor devem suportar uma tensão igual à tensão de saída, V_o . Neste caso, também, tem-se a operação no modo contínuo ou no descontínuo, considerando a corrente pelo indutor. (PRESSAM et al, 2009)

Figura 10 - Topologia conversor abaixador

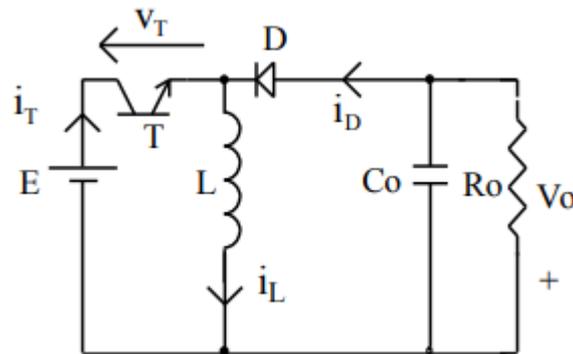


Fonte: Pressam

1.4.3.3 BUCK-BOOST

Considere o conversor rebaixador-elevador de tensão (buck-boost) da Figura 11. Neste conversor, a tensão de saída tem polaridade oposta à da tensão de entrada. Quando T é ligado, transfere-se energia da fonte para o indutor. O diodo não conduz e o capacitor alimenta a carga. Quando T desliga, a continuidade da corrente do indutor se faz pela condução do diodo. A energia armazenada em L é entregue ao capacitor e à carga. Tanto a corrente de entrada quanto a de saída são descontínuas. A tensão a ser suportada pelo diodo e pelo transistor é a soma das tensões de entrada e de saída, $V_o + E$. (DAVE apud BEZERRA, 2013).

Figura 11 - Esquemático conversor elevador-abaixador

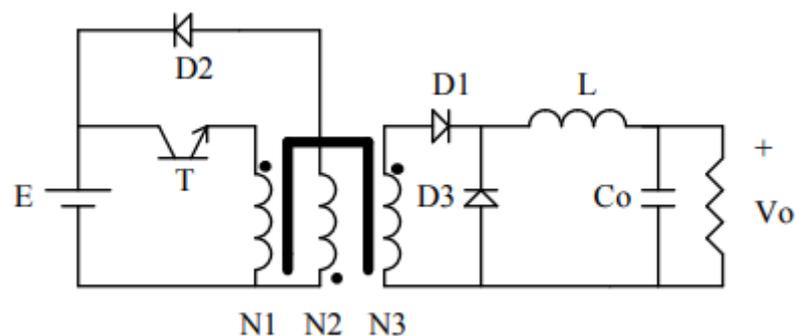


Fonte: Pressam

1.4.3.4 FORWARD

Considere o conversor forward da Figura 12. Quando T conduz, aplica-se E em N1. D1 fica diretamente polarizado e cresce a corrente por L. Quando T desliga, a corrente do indutor de saída tem continuidade via D3. Quanto ao transformador, é necessário um caminho que permita a circulação de uma corrente que dê continuidade ao fluxo magnético, de modo a absorver a energia acumulada no campo, relativa à indutância de magnetização. Isto se dá pela condução de D2. Durante este intervalo (condução de D2), aplica-se uma tensão negativa em N2, que se reflete em N3, e ocorre um retorno de energia para a fonte. A figura 12 mostra o circuito. (PRESSAM et al, 2009)

Figura 12 - Esquemático conversor Forward



Fonte: Pressam.

Para garantir a desmagnetização do núcleo a cada ciclo, o conversor opera sempre no modo descontínuo. Existe um máximo ciclo de trabalho que garante a desmagnetização do transformador (tensão média nula), o qual depende da relação de espiras existente. (PRESSAM et al, 2009)

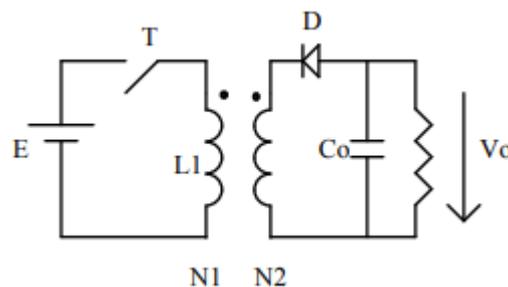
Outra possibilidade, que prescinde do enrolamento de desmagnetização, é a introdução de um diodo zener no secundário, pelo qual circula a corrente no momento do desligamento de T. Esta solução, mostrada na figura 12, no entanto, provoca uma perda de energia sobre o zener, além de limitar o ciclo de trabalho em função da tensão. (PRESSAM et al, 2009)

1.4.3.5 FLYBACK

Considere o conversor flyback da Figura 13. Derivado do conversor elevador-abaiçador, possui o elemento magnético que se comporta como um indutor acoplado e não como um transformador. Quando T conduz, armazena-se energia na indutância do "primário" (no campo magnético) e o diodo fica reversamente polarizado. Quando T desliga, para manter a continuidade do fluxo, o diodo entra em condução, e a energia acumulada no campo magnético é enviada à saída. A figura 12 mostra o circuito. Note-se que as correntes médias nos enrolamentos não são nulas, levando à necessidade de colocação de entreferro no "transformador". A tensão de saída, no modo contínuo de condução, é dada por: (PRESSAM et al, 2009)

$$V_o = \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{E \cdot \delta}{(1 - \delta)} \quad (1)$$

Figura 13 - Esquemático conversor Fly-Back



Fonte: Pressam.

2. DESENVOLVIMENTO

Tendo em vista as diferentes tecnologias disponíveis, tanto para baterias recarregáveis como para conversores de energia e controladores de carga, diversas são as opções existentes para solucionar o problema do desenvolvimento de um carregador que possa ser utilizado para recarregar de forma eficaz determinada bateria para uma bicicleta elétrica.

Vários aspectos devem ser analisados, para que seja realizada uma decisão concisa. São eles: custo dos equipamentos, tanto na aquisição como na manutenção, dimensões, estoque disponível para a produção, e o principal, que é a finalidade que será dada ao produto.

2.1 CONTROLADOR DE CARGA

Como o carregador que será desenvolvido é de uso dedicado, ou seja, será utilizado para recarregar uma bateria específica, não podendo ser usado em outros tipos de acumuladores de carga, deve-se utilizar um controlador de carga com características específicas para a bateria a ser carregada.

Diante das inúmeras opções disponíveis no mercado, duas são as que possuem maiores condições de ser implementadas. Primeiro, pode-se pensar no uso de um microcontrolador para a implementação do controlador, ou a segunda opção será encontrar um CI dedicado para tal uso.

Após uma pesquisa sobre circuitos integrados dedicados, uma solução adequada para o projeto em questão é o uso do controlador LTC4000, desenvolvido pela empresa Linear Semiconductors.

2.1.1 LTC4000

Muito versátil, de baixo custo e de fácil configuração, o controlador LTC4000 é um circuito integrado desenvolvido pela Linear Semiconductors. Ao ser usado junto de um conversor CC/CC, este se torna um carregador de baterias com controlador de carga.

Podendo ser usando tanto para baterias de chumbo-ácido quanto para baterias de íon-lítio, que são as duas principais tecnologias que podem ser aplicadas para o uso em bicicletas

elétricas, o controlador pode operar numa faixa de tensão de 3V a 60V, mais do que necessário, pois as baterias a serem usadas são tipicamente de 12, 24, 36 ou 48V. O controlador se torna muito versátil devido ao fato de que toda a sua configuração é realizada através de elementos externos, tais como capacitores e resistores.

Configurando de maneira correta e com os componentes certos, o controlador pode exercer várias ações sobre a recarga para evitar possíveis danos à bateria. Ele possui sistemas de controle de sobretensão, sobrecorrente, temperatura, corrente de fim de carga, tensão de flutuação, e também pode determinar por quanto tempo a bateria será carregada.

Alguns pinos de saída são utilizados para determinar o status da bateria através de LEDs para mostrar quando a bateria está em operação normal, está com sobrecarga ou quando a carga chegou ao fim. Para informações detalhadas consultar o DATASHEET do componente.

2.2 ESCOLHA DA BATERIA

Apesar de não estar no escopo principal do trabalho, pois o tipo de bateria depende do motor que será equipado na bicicleta, a escolha da bateria é outra questão a ser avaliada, pois o protótipo final será montado dependendo do tipo de bateria a ser utilizada.

Duas são as principais que podem ser utilizadas, podendo ser uma de íon-lítio ou chumbo-ácido. A primeira, por se tratar de uma tecnologia mais recente, e que se mostra de grande eficiência; e a segunda, por ser uma tecnologia muito mais consolidada e muito utilizada como fonte de energia elétrica, principalmente nos meios de locomoção. A principal vantagem das baterias de chumbo-ácido é o custo, pois as baterias de íon-lítio chegam a custar três vezes mais.

2.3 FONTE DE ENERGIA

Mesmo estando fora do escopo deste trabalho, esta é uma questão que deve ser analisada para futuramente ser realizada a implementação da fonte junto do controlador de carga, para se obter um carregador completo e pronto para uso.

Diversas são as opções e possibilidades de fontes que podem ser utilizadas em conjunto com o controlador LTC4000, pois para o controlador operar basta ser configurado de acordo

com a as especificações da bateria que será carregada, sendo que uma fonte de tensão deve ser conectada ao controlador para o dispositivo estar em pleno funcionamento.

Com relação à fonte de tensão utilizar para o controlador, é possível utilizar qualquer fonte que forneça uma tensão adequada para a bateria, ou seja, um valor próximo da tensão de flutuação pode ser conectado no controlador. Essa fonte pode ser um conversor conectado direto na rede de tensão alternada, painéis solares, ou até mesmo outra bateria.

No caso deste trabalho, a alternativa a ser utilizada é o carregador conectado direto na rede, pois se torna muito mais prático e é a fonte de energia que se encontra mais facilmente na hora da necessidade de se carregar a bicicleta.

A topologia escolhida é o conversor CC/CC Flyback, por se tratar de um conversor versátil, podendo trabalhar como elevador ou abaixador de tensão, e por possuir uma isolamento galvânica entre a entrada e a saída do dispositivo.

3. PROJETO

Após ser feita a análise das possíveis soluções para se construir o carregador chega o momento da definição de como será implementado o dispositivo e as características com as quais o carregador irá operar.

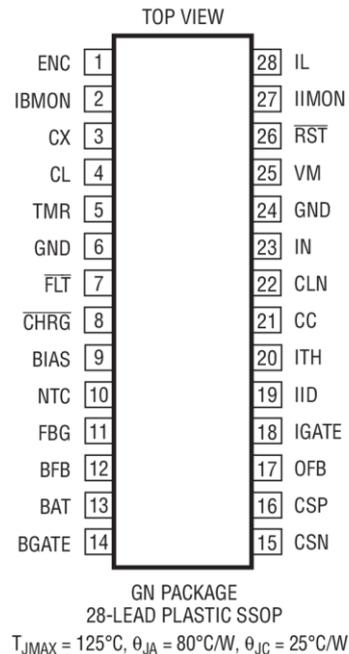
3.1 ESPECIFICAÇÕES DO CONTROLADOR

É importante lembrar que as especificações do carregador dependem da bateria que será utilizada. A definição dos parâmetros do projeto é a seguinte:

- Bateria: três baterias chumbo ácido 12V conectadas em série;
- Tensão total: 36V;
- Tensão de carga: 43.2V; 2.4V/célula
- Tensão de flutuação: 41.4V; 2.3V/célula
- Carga nominal da bateria: 10Ah;
- Corrente de carga máxima: 1A;
- Corrente de carga final: 1mA;
- Tempo de carga: 12h;
- Temperatura a tensão constante: 25°C

A tensão de alimentação do circuito é de 45Vcc, para que este possa suprir as tensões necessárias de recarga da bateria, que é alimentada através do pino IN (PIN23). A figura 14 apresenta a configuração dos pinos de controle e de status disponíveis no controlador utilizado.

Figura 14 – Configuração dos pinos do LTC4000



Fonte: *Datasheet* LTC4000 Analog Devices

Para exercer o controle sobre a temperatura da bateria, o controlador dispõe de um pino dedicado para este fim, o NTC (PIN10), que se conecta ao ponto central de um divisor resistivo, entre um R_{ntc} de 10k e um resistor de igual valor. O R_{ntc} fica em contato com a bateria que, quando esquenta, faz com que a sua resistência diminua, alterando a tensão no pino NTC, que, por sua vez detecta o aumento de temperatura, desligando a corrente de carga da bateria.

O LTC4000 pode realizar duas funções ao mesmo tempo, ou seja: carregar a bateria e alimentar a carga externa, enquanto ela está sendo carregada. Essas duas correntes podem ser controladas pelo controlador, que realiza a medição das correntes, através de dois resistores shunt conectados a dois pinos cada. A corrente da carga externa é monitorada através do resistor conectado entre CLN (PIN22) e o IN (PIN23), e a corrente que flui para a bateria é monitorada através dos pinos CSP (PIN16) e CSN (PIN15). Ambos os resistores possuem valor de $20\text{m}\Omega/1\text{W}$ (RIS e RCS), para que a queda de tensão neles possa ser baixa, e possa suportar valores de corrente supridos pela bateria.

Uma representação dos valores das correntes de entrada no circuito e de recarga da bateria podem ser obtidas através dos pinos de saída IIMON (PIN27) e IBMON (PIN2) respectivamente, os quais produzem uma tensão proporcional às correntes que passam pelos

resistores. Ambos servem como pinos de status, podendo variar a intensidade de um LED, de acordo com a tensão aplicada, para se ter uma forma de visualizar a intensidade de corrente que a bateria está absorvendo.

A corrente de entrada do circuito pode ser limitada através de conexão de um resistor R_{IL} entre o IL (PIN28) e o GND, de acordo com a seguinte fórmula,

$$I_{ILIM} = 2.5\mu A \cdot \left(\frac{R_{IL}}{R_{IS}}\right) \quad (2)$$

Limitando a corrente em 2A tem-se R_{IL} = 16kΩ. A corrente que flui direto para a bateria também pode ser limitada, de acordo com a Eq. 1, onde o resistor R_{IL} é substituído por um resistor R_{CL}, que é conectado entre o terminal CL (PIN4) e o GND. Como a corrente de recarga deve ser 10% da corrente nominal da bateria para evitar danos aos eletrodos desta, a corrente de recarga é limitada em 1A, que de acordo com a Equação 1, que determina uma valor de R_{CL} = 8kΩ.

Para determinar fim de recarga, ou seja, quando a bateria está completamente carregada, o LTC4000 pode ser programado de duas formas para terminar a recarga da bateria. Programa-se para finalizar o ciclo quando a corrente que flui para bateria é consideravelmente baixa, em torno de mili amperes, ou através da duração do tempo do ciclo de recarga.

O fim do ciclo, utilizando a corrente drenada pela bateria, é feito através da conexão de um resistor RCX entre CX (PIN3), e o GND do circuito. A corrente final é facilmente determina pela fórmula a seguir.

$$I_{CX} = \frac{(0.25\mu A \cdot R_{CX}) - 0.5mV}{R_{CS}} \quad (3)$$

Determinado uma corrente final de 1mA, utilizando a Equação 2 para determinar o valor do resistor que vai conectado a CX, obtém-se R_{CX} = 2kΩ.

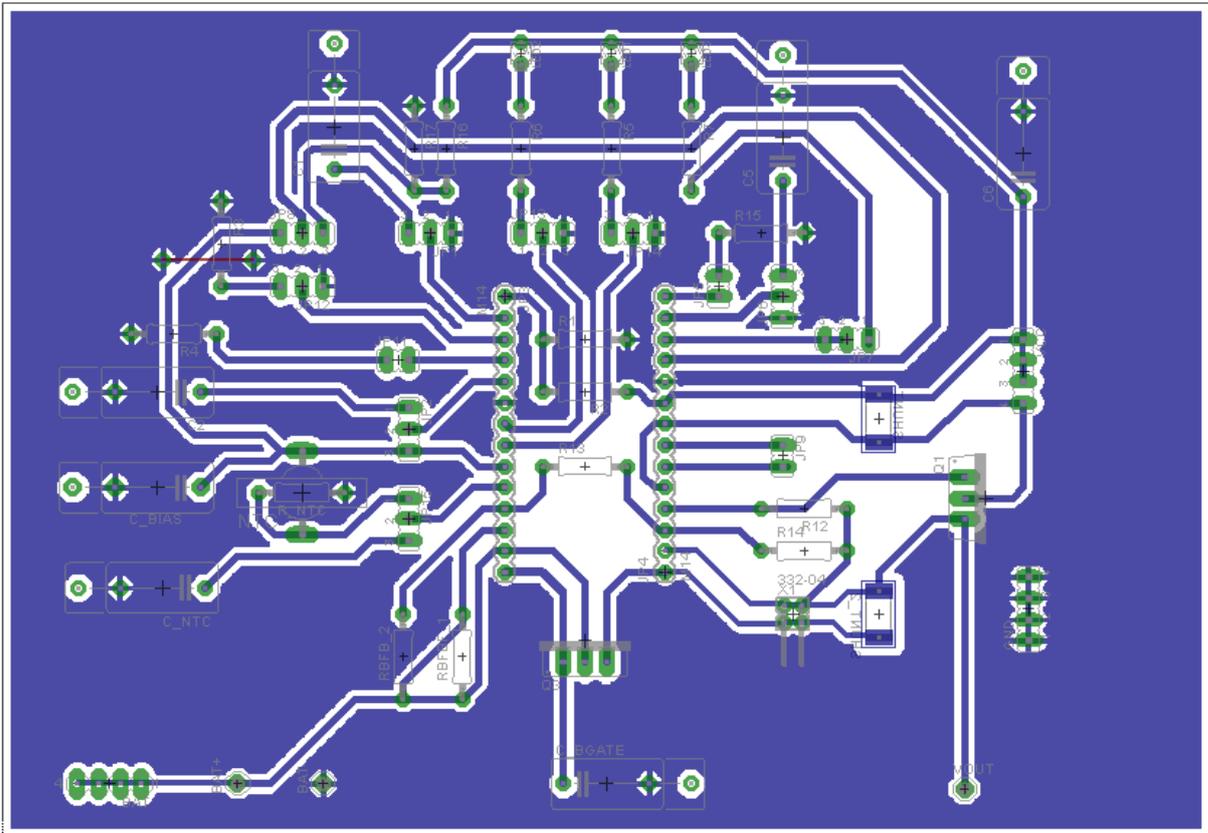
Fazendo o uso de um capacitor conectado ao TMR (PIN5), o controlador exerce a função de recarregar a bateria durante um tempo pré-determinado, através da Equação 3.

$$C_{TMR}(nF) = t_{TERMINATE}(h) \cdot 34.6 \quad (4)$$

Para este Projeto, o final de carga será detectado através do valor final de corrente, não será determinado um tempo para o final de recarga.

Para obter controle completo sobre as condições de recarga da bateria, o LTC4000 realiza, através de divisores resistivos, a medição da tensão sobre a bateria. **VM** (PIN25) monitora a tensão de entrada do circuito, e controla o status do **RST/** (PIN26), que muda seu status quando a tensão de entrada esta abaixo dos níveis necessários para carregar a bateria.

Figura 16 - Layout PCB carregador 36V/1A

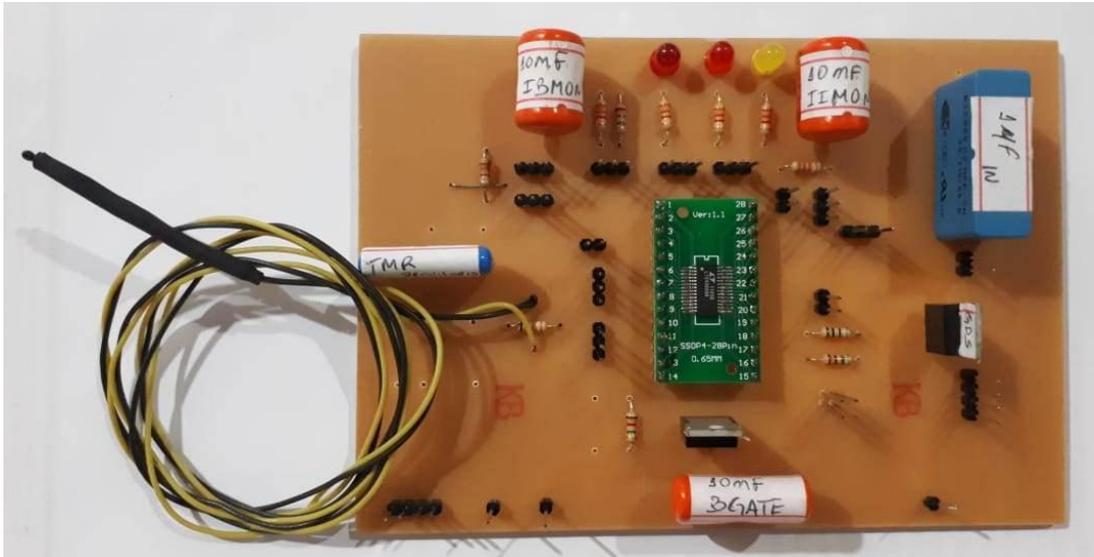


Fonte: Autor.

Tal flexibilidade se dá através do uso de jumpers e conectores, através dos quais se pode conectar ou desconectar elementos ao controlador de carga, e os sinais de tensão e corrente possam ser analisados e medidos com mais facilidade. A placa protótipo finalizada e montada é apresentada da Figura 16.

O tamanho do produto final pode ser reduzido em 5 vezes o tamanho da placa atual, se forem utilizados componentes SMD por exemplo, e se um layout final que não necessite de ajustes para os testes forem estabelecido.

Figura 17 - Placa protótipo finalizada



Fonte: Autor.

Na placa temos no centro o controlador de carga LTC4000, o qual é responsável pelo controle de carga da bateria. Os LEDs são indicadores visuais do status da bateria, servem para alertar o usuário de situações como elevação da temperatura, carga normal e final de carga.

O RNTC, o qual é responsável por monitorar a temperatura da bateria durante a carga, foi montado utilizando dois fios para que ele possa ser colocado em contato com a caraça da bateria de uma maneira mais prática. Podemos observar também os jumpers que são utilizados para variar a configuração do controlador podendo, por exemplo, mudar o modo como o controlador detecta o final do ciclo de carga da bateria, sendo por tempo de carga usando o capacitor conectado ao pino TMR, ou por corrente final de carga usando o resistor conectado ao pino CX.

5. ANALISE DE RESULTADOS

Como o escopo do trabalho é implementação do estágio controlador de carga, os testes foram realizados com uma fonte de bancada com tensão variável na entrada do controlador, e como carga uma bateria de chumbo-ácido de 12V e carga de 8Ah. Quando a bateria estava exposta às condições críticas com o aquecimento e sobrecarga o controlador responde executando ações de controle para evitar danos à bateria.

Quando submetida ao aquecimento o controlador detecta a elevação de temperatura através do RNTC que esta em contato com a carcaça da bateria e desativa o ciclo de carga, retomando quando a temperatura volta aos níveis adequados.

Para realizar o controle quando ocorre sobrecarga, o controlador precisa se comunicar com o conversor CC/CC. Como nesta etapa o conversor não foi implementada, se houver necessidade o controle deve ser feito pelo usuário direto na fonte.

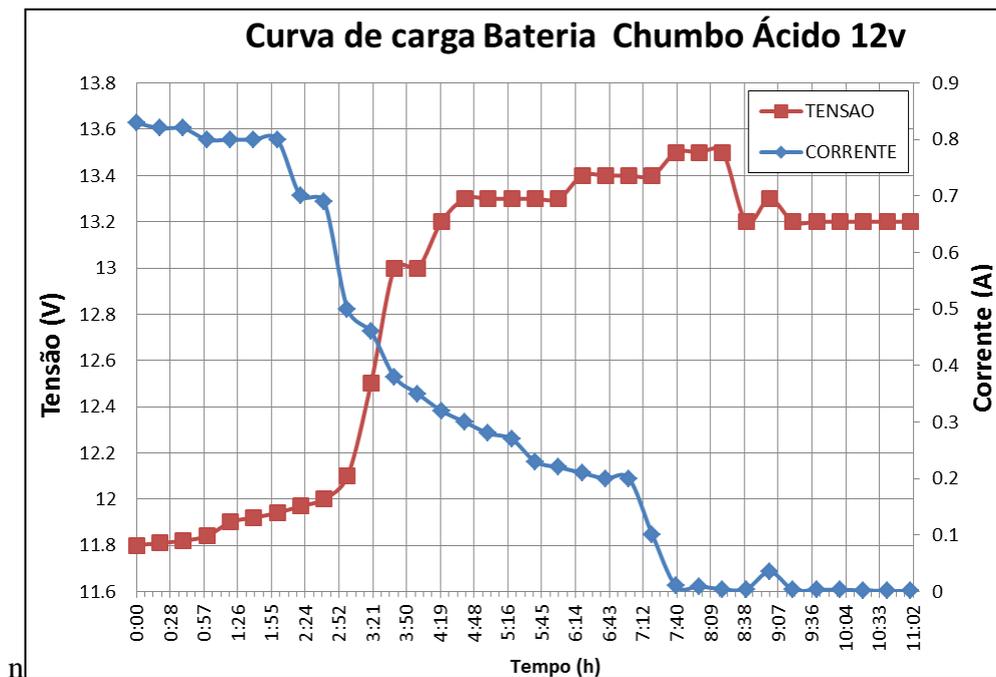
Para validar a atuação do controlador em situações de sobrecarga, a tensão da fonte foi variada para valores acima dos nominais da bateria, a corrente e tensão sobre a bateria eram mensurados através de multímetros, para que fosse possível acompanhar a atuação do controlador em situações de recarga que pudessem danificar a bateria diminuindo assim sua vida útil.

Quando o controlador detectava uma sobrecarga na bateria o fluxo de corrente era interrompido imediatamente através dos MOSFETs.

Tal teste realizado na prática simula futuras situações onde possa ocorrer um defeito na fonte de alimentação fazendo com que a bateria fique submetida a valores de tensão e corrente impróprios.

O segundo teste que foi realizado é a ação de controle sobre o ciclo de carga completo usando uma bateria sem carga, realizando a carga completa de acordo com tempo determinado pelo fabricante. A Figura 17 mostra a curva de carga obtida experimentalmente com o carregador desenvolvido neste projeto.

Figura 18 - Curva de Carga experimental



Fonte: Autor.

Através do gráfico podemos observar as etapas durante o ciclo completo de carga da bateria, no início pode-se observar a situação de descarga da mesma, pois a tensão dela está abaixo dos 12V nominal, por tal motivo a primeira etapa de recarga se dá através de corrente constante durante as primeiras três horas, até o momento em que a tensão da bateria começa a aumentar fazendo com que a corrente diminua gradualmente.

Teoricamente a bateria pode ficar por longos períodos carregando para que se possa ter uma carga completa, mas como na prática precisamos retirar a bateria do carregador para que ela possa ser usada, o ciclo final de carga é estabelecido quando a bateria atinge sua tensão de flutuação, que fica em torno de 13,5V, dependendo do modelo e fabricante da bateria, e quando ela drena uma corrente em torno de 10 mA.

O valor da corrente final do ciclo de carga é estabelecido e programado através do resistor colocado no pino CX do controlador LTC4000, através do valor do resistor o controlador para de alimentar a bateria, e indica que a bateria está completamente carregada.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho possibilitou o desenvolvimento de uma alternativa para a necessidade de recarregar dispositivos móveis de uma forma eficiente e economicamente viável. Tendo como ênfase o desenvolvimento de um carregador para uma bicicletas elétricas, a metodologia do projeto foi baseada em encontrar uma forma rápida e eficiente de se construir um carregador de baterias. Duas eram as opções iniciais, utilizar um dispositivo com microprocessador, que teria de um custo mais elevado, ou encontrar algum dispositivo analógico disponível no mercado que fosse destinado ao uso necessário e com um custo reduzido.

Para obter uma solução adequada ao objetivo final do trabalho foram realizadas pesquisas em diversas fontes, tais como, artigos acadêmicos de trabalhos similares desenvolvidos, livros sobre acumuladores de carga, com a finalidade de aprimorar o conhecimento sobre baterias e suas características peculiares, e catálogos de fabricantes de semicondutores para descobrir quais tecnologias estão disponíveis no mercado para realizar o controle de carga de baterias. Na pesquisa realizada a solução que mais se encaixou no problema proposto foi o uso de um circuito integrado dedicado para tal fim, que após ser implementado e testado na versão final apresentou resultados satisfatórios de acordo com os resultados esperados desde o início do projeto, que se iniciou na fase de pesquisa e terminou com o protótipo final montado.

O protótipo final se mostrou muito versátil para realização dos testes e análise dos resultados, construído com um layout que permite variar a configuração do circuito para mudar o tipo atuação de controle durante o ciclo de carga da bateria, mudando apenas a posição dos jumpers disponíveis, tal característica facilita o trabalho do usuário.

Futuramente o que se propõe é a melhoria do projeto para se ter um produto final de qualidade superior e funcional. A primeira melhoria é realizar a implementação da fonte de entrada, desenvolver um conversor de entrada para retificar a tensão de entrada, seja ela 110/220V, e converter a tensão a níveis adequados ao da bateria que será carregada, já que neste trabalho só foi implementado o estágio de controle de carga. A segundo melhoria é realizar um layout de PCB final, com tamanho reduzido, utilizando componentes SMD que pode reduzir em muito o tamanho e peso do carregador para se obter um produto final funcional, com uma estética mais agradável, e que seja de fácil transporte.

REFERÊNCIAS

Datasheet LTC4000, <<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/4000fb.pdf>>, acessado em 10.03.2018.

<<https://www.filipeflop.com/blog/pilhas-e-baterias-principais-tipos/>> acessado em 10.03.2018

<<http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/como-carregar-uma-bateria-selada-de-chumbo-acido>> acessado em 30.05.2018

<<http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/vantagens-e-limitacoes-das-baterias-de-litio-ion>> acessado em 28.05.2018

<<http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/como-carregar-uma-bateria-nicd>> acessado em 17.05.2018

<<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdffiles/eltpot/cap5.pdf>> acessado em 28.05.2018

SIMON, ANG; OLIVA, ALEJANDRO. *Power-Switching Converters*. 2.ed. Miami. Taylor e Francis Group, 2005. 540p.

Chih-Chiang Hua; Meng-Yu Lin, "A study of charging control of lead-acid battery for electric vehicles," *Industrial Electronics, 2000. ISIE 2000. Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on* , vol.1, no., pp.135-140 vol.1, 2000.

ELETRONICA PT. **Carga Baterias**. Disponível em:
<<https://www.eletronica-pt.com/carga-baterias>> Acesso em: 19 Jun. 2018

Battery Car Exchange Station. Disponível em
http://www.freshcreation.com/entry/electric_car_battery_exchange_station/. Último acesso em Janeiro de 2009.

Hung, S.T.; Hopkins, D.C.; Mosling, C.R., "Extension of battery life via charge equalization control," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol.40, no.1, pp.96-104, Feb 1993.

Kim, B.G.; Tredeau, F.P.; Salameh, Z.M., "Fast chargeability lithium polymer batteries," *Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE* , vol., no., pp.1-5, 20-24 July 2008.

Cope, R.C.; Podrazhansky, Y., "The art of battery charging," *Battery Conference on Applications and Advances, 1999. The Fourteenth Annual*, vol., no., pp.233-235, 1999.

PRESSMAN, Abraham et al. **Switching Power Supply Desing**. New York, 2009.

DAVE, B. Design and Simulation of Buck-Boost Converter Modulation Technique for Solar Application. *Jornal of Information, Knowledge and Research in Electrical Engineering*, Volume 2, Issue 2, pp. 335 – 341, Oct. 2013.

APÊNDICE A - TABELA DE CUSTOS

Tabela 1 - Custos do protótipo

| COMPONENTE | QUANTIDADE | CUSTO (R\$) | CUSTO UNITARIO |
|--------------------------------|------------|-------------|----------------|
| Controlador de carga LTC400 | 2 | 30.6 | 15.3 |
| MOSFET P-CHANNEL IRF9540 | 20 | 60 | 3 |
| Resistor Shunt 2512 20mΩ/1W | 60 | 60 | 1 |
| Sensor temperatura NTC 10k 3mm | 120 | 60 | 0.5 |
| Resistores 1/4 w variados | 100 | 5 | 0.05 |
| Placa PCB 10x15 | 10 | 24 | 2.4 |
| Capacitores | 242 | 35 | 0.15 |
| Led 5mm | 25 | 6 | 0.24 |
| | | | |
| TOTAL | | 280.6 | Mais Frete |
| Custo total unitário (R\$) | 28.52 | | |