

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA

IGOR RAGNINI RANSOLIN

**ESTUDO, REPRODUÇÃO E ANÁLISE DE UM CONVERSOR  
*FLYBACK* OPERANDO EM MALHA FECHADA PARA CARGA LENTA  
EM BATERIAS DE *NOBREAK'S***

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO  
2017

IGOR RAGNINI RANSOLIN

**ESTUDO, REPRODUÇÃO E ANÁLISE DE UM CONVERSOR  
FLYBACK OPERANDO EM MALHA FECHADA PARA CARGA LENTA  
EM BATERIAS DE *NOBREAK'S***

Projeto de pesquisa apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 (TCC - 2) do curso de Engenharia Eletrônica, do Departamento Acadêmico de Eletrônica - DAELN - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Junior Schiavon

CAMPO MOURÃO

2017

---

**TERMO DE APROVAÇÃO**  
**DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO INTITULADO**  
**ESTUDO, REPRODUÇÃO E ANÁLISE DE UM CONVERSOR**  
**FLYBACK OPERANDO EM MALHA FECHADA PARA CARGA LENTA**  
**EM BATERIAS DE NOBREAK'S**

por  
**IGOR RAGNINI RANSOLIN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 29 de Novembro de 2017 ao Curso Superior de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão. O Candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho \_\_\_\_\_ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

---

Prof. Jakson Paulo Bonaldo  
(UTFPR)

---

Prof. Fabio Pereira de Lima  
(UTFPR)

---

Prof. Gilson Junior Schiavon  
(UTFPR)  
Orientador

Aos meus pais, irmãs e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter me proporcionado chegar até aqui. A minha família por toda a dedicação e paciência contribuindo diretamente para que eu pudesse ter um caminho mais fácil e prazeroso durante esses anos.

Agradeço aos professores que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado em especial ao meu professor e orientador. Agradeço também a minha instituição por ter me dado à chance e todas as ferramentas que permitiram chegar hoje ao final desse ciclo de maneira satisfatória.

## RESUMO

Este trabalho apresenta o projeto a reprodução e análise de um carregador de baterias de *nobreak*, eliminando-se o transformador de baixa frequência, implementando um conversor DC/DC *flyback* chaveado em alta frequência no modo descontinuo em um circuito conversor AC/DC, operando em malha fechada assegurando o carregamento de duas baterias de 12 V em série com uma corrente máxima de 1 A enquanto existir rede elétrica presente.

Agregado ao carregador foi projetado um circuito microcontrolado que fará o monitoramento da tensão e corrente em tempo real da saída do carregador, permitindo a visualização de ambos os dados em um *display* LCD.

Os resultados experimentais apresentados são obtidos a partir do protótipo implementado, comprovando experimentalmente a funcionalidade da técnica utilizada.

**Palavras-chave:** *Nobreak*, Carregador, Conversor DC/DC *flyback*, Monitoramento

## ABSTRACT

This work presents the project and reproduction and analysis of a battery charger of nobreak, by eliminating the transformer of low frequency, by implementing a DC/DC converter flyback switched at a high frequency in the mode is discontinued in a circuit AC/DC converter, operating in closed-loop, ensuring the charging of two batteries of 12 V in series with a maximum current of 1 A as long as there is mains present.

Aggregated to the charger was designed a microcontrolled circuit that will do the monitoring of the voltage and current in real time from the output of the charger, allowing the visualization of both the data on a LCD display.

The experimental results presented are obtained from the prototype implemented, proving experimentally the functionality of the technique used.

**Keywords:** Nobreak, Charger, DC/DC converter flyback, Monitoring

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Elementos de uma célula recarregável .....	21
Figura 2 - Circuito completo do flyback .....	31
Figura 3 - Circuito retificador do flyback .....	32
Figura 4 - Diagrama de blocos do circuito integrado 1M0380 .....	33
Figura 5 - Circuito de potência do flyback .....	34
Figura 6 - Conversor flyback modo descontínuo com transformador .....	35
Figura 7 - Flyback chave fechada - Armazenamento de energia .....	35
Figura 8 - Flyback chave aberta - Transferência de energia .....	36
Figura 9 - Principais formas de onda do conversor .....	36
Figura 10 - Diagrama de blocos interno do TL431 .....	44
Figura 11 - Circuito de controle do flyback .....	44
Figura 12 - Circuito do limitador de corrente .....	46
Figura 13 - Circuito completo do monitor .....	48
Figura 14 - Circuito de alimentação .....	49
Figura 15 - Pinagem Atmega 328 .....	51
Figura 16 - Divisor de tensão .....	54
Figura 17 - Divisor de tensão com os respectivos valores dos resistores .....	55
Figura 18 - IDE Arduino .....	58
Figura 19 - Protótipo final do projeto .....	61
Figura 20 - 3D da placa de circuito impresso do carregador .....	62
Figura 21 - 3D da placa de circuito impresso do monitor .....	62
Figura 22 - Circuito interno do protótipo .....	63
Figura 23 - Forma de onda da saída do carregador para com uma carga de 560 $\Omega$ e corrente de 50 mA .....	64
Figura 24 - Forma de onda da saída do carregador para com uma carga de 280 $\Omega$ e corrente de 100 mA .....	65
Figura 25 - Forma de onda da saída do carregador para com uma carga de 93 $\Omega$ e corrente de 300 mA .....	65
Figura 26 - Forma de onda da saída do carregador para com uma carga de 68 $\Omega$ e corrente de 400 mA .....	66
Figura 27 - Forma de onda da saída do carregador durante uma tensão de entrada de 100 Vca .....	67
Figura 28 - Forma de onda da saída do carregador durante uma tensão de entrada de 127 Vca .....	67
Figura 29 - Forma de onda da saída do carregador durante uma tensão de entrada de 150 Vca .....	68
Figura 30 - Forma de onda da saída do carregador durante uma tensão de entrada de 180 Vca .....	68
Figura 31 - Tempo de estabilização de partida .....	69
Figura 32 - Comparação de operação do monitor em tempo real com o multímetro para corrente e tensão .....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
AC	<i>Alternating Current</i>
DC	<i>Direct Current</i>
SLA	<i>Sealed Lead Acid</i>
VRLA	<i>Valve Regulated Lead Acid</i>
GND	<i>Graduated Neutral Density</i>
FET	<i>Field Effect Transistor</i>
VCC	Volts Corrente Continua
AWG	<i>American Wire Gauge</i>
ESP	Espira
ADC	Conversor Analógico Digital
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computer</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read Only Memory</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

V	Volt
A	Ampère
Ah	Ampère hora
°C	Grau Celsius
k	Quilo ( $10^3$ )
$\Omega$	Ohm
Hz	Hertz
F	Farad
I	Corrente
W	Watt
m	Mili ( $10^{-3}$ )
$\mu$	Micro ( $10^{-6}$ )
J	Jaule
cm	Centímetros
H	Henry
s	Segundos
n	Nano ( $10^{-9}$ )
M	Mega ( $10^6$ )
B	Byte

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1 TEMA .....	15
1.1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	15
1.2 PROBLEMAS E PREMISAS .....	15
1.3 OBJETIVOS .....	15
1.3.1 Objetivo Geral .....	15
1.3.2 Objetivos Específicos .....	16
1.4 JUSTIFICATIVA .....	16
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	17
1.5.1 PESQUISA .....	17
1.5.2 DESENVOLVIMENTO.....	17
1.5.3 IMPLEMENTAÇÃO .....	18
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>20</b>
2.1 ESTUDO SOBRE BATERIAS .....	20
2.1.1 Visão Geral Sobre Baterias .....	20
2.1.2 Parâmetros E Definições Sobre Baterias .....	21
2.1.3 Tipos de Baterias .....	22
2.1.3.1 Considerações Relativas Ao Meio.....	22
2.1.3.2 Baterias de NICD.....	23
2.1.3.2.1 Vantagens e Limitações das Baterias de NICD.....	24
2.1.3.3 Baterias de NIMH .....	24
2.1.3.3.1 Vantagens e Limitações das Baterias de NIMH .....	25
2.1.3.4 Baterias de Chumbo-Ácido.....	26
2.1.3.4.1 Vantagens e Limitações das Baterias de Chumbo-Ácido.....	27
2.1.3.5 Baterias de Lítio-Íon .....	27
2.1.3.5.1 Vantagens e Limitações das Baterias de Lítio-Íon .....	28
2.1.3.6 Baterias de Lítio-Íon Polímero .....	29
2.1.3.6.1 Vantagens e Limitações das Baterias de Lítio-Íon Polímero .....	29
2.1.3.7 Comparativos Entre As Baterias Mais Utilizadas .....	29
<b>3 DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>31</b>
3.1 CARREGADOR DE BATERIAS .....	31
3.1.1 Procedimentos de Projeto .....	32
3.1.2 Retificador de Entrada.....	32
3.1.3 Flyback.....	33
3.1.3.1 Circuito Integrado 1m0380 .....	33
3.1.3.2 Flyback Modo-Descontínuo Com Transformador .....	34
3.1.3.3 Cálculo do Transformador .....	39
3.1.3.4 Cálculo do Capacitor .....	42
3.1.3.5 Cálculo do Diodo .....	43
3.1.3.6 Circuito de Controle.....	44
3.1.3.7 Limitador de Corrente.....	46
3.2 MONITOR DE CORRENTE E TENSÃO EM TEMPO REAL.....	47
3.2.1 Procedimentos de Projeto .....	48

3.2.2 Circuito de Alimentação.....	48
3.2.3 Circuito Lógico e de Potência.....	50
3.2.3.1 Microcontrolador Atmega328 .....	50
3.2.3.2 Uso Das Portas Analógicas.....	52
3.2.3.2.1 Divisor de Tensão.....	53
3.2.3.2.2 Resistor Shunt.....	56
3.2.3.3 Calibração .....	57
3.2.3.4 IDE do Arduino .....	58
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>60</b>
4.1 PROTÓTIPO FINAL DO PROJETO.....	60
4.2 CARREGADOR SENDO ANALISADO COMO UMA FONTE .....	63
4.2.1 Formas de Onda .....	64
4.1.2 Regulação Estática .....	66
4.2.3 Tempo de Estabilização Estática .....	69
4.3 CARGA DAS BATERIAS.....	70
4.4 FUNCIONAMENTO DO MONITOR DE TENSÃO E CORRENTE EM TEMPO REAL EM COMPARAÇÃO COM O MULTÍMETRO.....	71
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>72</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>73</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>76</b>
APÊNDICE A - PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR.....	76

## 1 INTRODUÇÃO

No ano de 1957, o Brasil possuía grande parte de sua população concentrada nas áreas rurais e a modernização tecnológica começava a dar os seus primeiros passos. Nesse ano, o governo de São Paulo importou o primeiro computador do país, um Univac-120, para calcular o consumo de água da capital. A política desenvolvimentista do recém-eleito presidente Juscelino Kubitschek que governou o país durante o período entre os anos de 1956 e 1961, passou a estimular o ambiente interno. Tal estímulo, proporcionou que outros governos e algumas grandes empresas privadas também passassem a adquirir esses modernos equipamentos, que ocupavam grandes salas para poderem realizar suas atividades (CUNHA, 2009).

Vistos como sinal de progresso, os computadores eram ferramentas caras e que requeriam de certos cuidados operacionais. Com o intuito de aumentar a proteção deles e reduzir a chance de ter grandes perdas econômicas em um possível caso de defeito ou falhar, logo após a introdução dos computadores na área comercial, outro importante equipamento foi criado, precisamente para garantir essa proteção contra distúrbios elétricos. Estes equipamentos nos Estados Unidos e na Europa são chamados de fontes ininterruptas de energia (*Uninterruptible Power Supply-UPS*) conforme IEC (*International Electrotechnical Commission*). Já no Brasil a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) (NBR 15014, 2003) denomina estes sistemas de *nobreak*, ou seja, dispositivos que visam oferecer confiabilidade e proteção na operação dos computadores, sem interrupção do trabalho (CUNHA, 2009).

De acordo com Cunha (2009), tais equipamentos chegaram ao Brasil na década de 1960. De início com uma baixa demanda, mas com a atual ascensão dos computadores, com a redução dos preços e com o grande salto tecnológico obtido em um curto período de tempo, entre as décadas de 1980 e 1990, estes aparelhos eletrônicos passaram a ocupar quase que na totalidade as empresas nacionais, assim como parte das casas brasileiras de usuários mais preocupados com proteção.

Segundo Schiavon (2007) o avanço tecnológico proporcionou e até este momento vem proporcionando uma redução nos custos de muitos aparelhos

eletroeletrônicos, tornando-os mais acessíveis a uma quantidade maior de consumidores. Devido a isso, o uso destes aparelhos já deixou de ser uma simples sofisticação e passou a fazer parte das necessidades básicas de manutenção da vida da população. Estes fatores são responsáveis por contribuir no aumento do consumo de energia elétrica de forma significativa, proporcionando diversas vezes interrupções imprevisíveis no seu fornecimento, visto que as unidades fornecedoras de energia não conseguem prover tamanha demanda.

O surgimento de deformidades nas formas de onda da tensão e corrente simboliza a falta de qualidade da energia elétrica. Estas deformidades são definidas pelo IEC como fenômenos eletromagnéticos ou exclusivamente distúrbios, dentre os quais destacam-se os harmônicos, inter harmônicos, flutuações de tensão, afundamentos, transitórios, etc. Algumas alterações e complementações na classificação do IEC foram realizadas pela norma IEEE, com a inserção da categoria de ruído, de elevação de tensão e a definição da categoria de distorção de forma de onda da corrente alternada, que acrescenta as distorções harmônicas, Inter harmônicas e de componente contínua (FERREIRA, 2010).

De acordo com Ferreira (2010) estes distúrbios encontram-se relacionados com diferentes eventos nos sistemas de potência. Alguns são gerados pela execução normal do sistema, por exemplo, o chaveamento de banco de capacitores e entrada e saída de grandes cargas lineares ou não, enquanto os outros estão relacionados com eventos não operacionais do sistema, tais como as descargas atmosféricas e as faltas na rede elétrica.

Deste modo, mesmo que trabalhos para aperfeiçoar a qualidade de energia estejam sendo efetuados a fim de reduzir alguns desses problemas, a energia disponível nas redes de distribuição não é de qualidade considerável para algumas aplicações. Tais aplicações são, por exemplo, aquelas que consumidores trabalham com equipamentos caracterizados como cargas críticas, como sistema de comunicação e computadores em aeroportos, estações de trabalho e servidores com bancos de dados, em hospitais, em centros computacionais que exijam de um fornecimento ininterrupto de energia elétrica (SCHIAVON, 2007).

De acordo com Schiavon (2007) estes setores possuem a sua disposição unidades de alimentação alternativa capazes de fornecer energia elétrica temporariamente. Estas unidades de alimentação alternativa são intituladas de fontes ininterruptas de energia ou simplesmente *nobreak*.

Essencialmente uma fonte ininterrupta de energia é constituída por um retificador, que converte as tensões alternadas de alimentação em corrente contínua, um banco de baterias para armazenar energia, um inversor de tensão, e circuitos eletrônicos responsáveis para o controle do sistema. O inversor de tensão de um *nobreak* atua com o intuito de gerar uma tensão alternada (AC) a partir de uma tensão contínua (DC), comumente proveniente de uma bateria. Esta tensão alternada deve ter frequência, forma e amplitude invariantes, sem depender das eventuais alterações na alimentação procedente da bateria ou na carga (SCHIAVON, 2007).

Como já mencionado a maioria dos *nobreak's* operam sistemas que alimentam equipamentos que não aceitam faltas de energia, por essa razão a sua confiabilidade precisa ser alta. Neste contexto, as baterias são importantes elementos na confiabilidade de sistemas ininterruptos de energia, uma vez que é através da energia que elas armazenam que a carga será mantida em funcionamento. Para isso, as mesmas devem sempre estar em condições de operação adequadas, isto é, 100% carregadas e com boa qualidade (LAZZARIN, 2006).

Segundo Lazzarin (2006) existem dois principais problemas na operação de carga das baterias em *nobreak's*: o primeiro é que um processo de carga inadequado pode proporcionar uma recarga insuficiente do banco de baterias, reduzindo a sua capacidade; e o segundo, a recarga com níveis inapropriados de tensão, variações na temperatura de operação, descargas profundas e problemas de sulfatação podem reduzir em mais de 50% a vida útil das baterias.

Diante desse panorama, este trabalho apresenta o projeto de um carregador de baterias de *nobreak*, eliminando-se o transformador de baixa frequência, implementando um conversor DC/DC *flyback* chaveado em alta frequência, operando em malha fechada assegurando o carregamento do banco de baterias enquanto existir rede elétrica presente.

Agregado ao carregador um circuito fará o monitoramento da tensão e corrente em tempo real da saída do carregador, permitindo que o usuário através de um *display* verifique o perfeito funcionamento ou não do carregamento das baterias.

## 1.1 TEMA

Estudo, reprodução e análise de um conversor *flyback* operando em malha fechada para carga lenta em baterias de *nobreak's*.

### 1.1.1 Delimitação do Tema

Implementação de um conversor DC/DC *flyback* no modo descontinuo em um circuito conversor AC/DC, com o intuito de eliminar o transformador de baixa frequência, e ser capaz de carregar 2 baterias de 12 V em série com uma corrente de 1 A enquanto a rede elétrica estiver presente.

## 1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Se mal dimensionado, o circuito responsável pelo carregamento do banco de baterias fornecerá um processo de carga inadequado e propiciará uma recarga insuficiente das baterias, reduzindo sua capacidade de carga. Ainda podem ocorrer variações na temperatura, descargas profundas e sulfatação devido a níveis inapropriados de tensão e corrente, assim, comprometendo a vida útil das baterias.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo o estudo, a reprodução e análise de um circuito conversor AC/DC que atue no carregamento de baterias de *nobreak*, visando

o correto carregamento do banco de baterias enquanto existir rede elétrica presente. Agregado ao carregador o projeto de um circuito capaz de monitorar a tensão e a corrente em tempo real da saída do carregador.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudo dos diferentes tipos de *nobreak's* bem como o *layout* do circuito responsável pelo carregamento do banco de baterias;
- Estudo da importância de um bom carregador de baterias;
- Estudo dos diferentes tipos de baterias bem como suas características e recomendações;
- Projeto do circuito conversor AC/DC com saída de 28 V e 1 A, eliminando o transformador de baixa frequência, implementando um conversor DC/DC *flyback* no modo descontinuo, controlado por um circuito integrado 1M0380;
- Projeto do circuito, capaz de monitorar a tensão e corrente em tempo real da saída do carregador, implementando o microcontrolador Atmega328 da Atmel juntamente com um *display* 16x2 com luz de fundo;
- Implementação e análise dos resultados práticos obtidos.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento do circuito carregador de forma eficiente, visando resolver os dois principais problemas na operação de carga das baterias em *nobreak's*: o primeiro é que um processo de carga inadequado pode proporcionar uma recarga insuficiente ao banco de baterias, reduzindo a sua capacidade; e o segundo é que a recarga com níveis inapropriados de tensão, variações na temperatura de operação, descargas profundas e problemas de sulfatação podem reduzir em mais de 50% a vida útil das baterias (LAZZARIN, 2006).

Tal circuito, tem um papel importante, visto que, vários equipamentos eletrônicos dependem da tensão fornecida pela rede elétrica, ou seja, não podem

desligar ou serem interrompidos como no caso de hospitais, aeroportos, dentre outros. As baterias de tais equipamentos devem estar sempre em condições de operação esperando uma possível interrupção da energia e por isso devem sempre estar com a carga completa e com uma boa capacidade. Tais condições só se tornam possíveis com o devido projeto e ajuste do carregador.

O circuito do carregador de baterias reproduzido neste trabalho consiste em uma parte do projeto de um *nobreak* que originalmente foi projetado em uma única placa, contendo retificador, carregador de baterias, conversor DC/DC Forward e inversor. O qual será implementado de forma modular futuramente, ou seja, cada etapa em uma placa específica, para utilização no ensino de eletrônica de potência.

## 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 1.5.1 Pesquisa

Foi realizado um embasamento teórico sobre o sistema do *nobreak* focando no carregamento das baterias, o que se justifica aprender sobre o dado circuito, bem como sobre sua esquematização, onde foi definido vários parâmetros sobre o projeto final, podendo-se citar: tensão e corrente de saída.

A pesquisa foi realizada usando como base circuitos integrados que possuem a mesma função e estão no mercado, bem como a pesquisa por componentes que substituam os atuais já implantados, buscando uma melhor eficiência e robustez do projeto final.

### 1.5.2 Desenvolvimento

No desenvolvimento deste projeto foi utilizado um *software* específico para a elaboração, desenvolvimento e simulações. Foram estudados circuitos de

carregadores de baterias do ramo de *nobreak's* de diferentes projetos, de empresas que fabricam o circuito, bem como de artigos científicos.

Para o projeto buscou-se eliminar o transformador de baixa frequência, implementando um conversor *flyback* operando em malha fechada no modo descontínuo, controlado pelo circuito integrado 1M0380.

De forma a se verificar os valores de saída em tempo real do carregador, em tal projeto foi implementado um circuito microcontrolado capaz de fornecer os valores de tensão e corrente em um *display*.

Para toda a esquematização do projeto necessitou-se levar em consideração os cálculos relacionados aos valores de tensão e corrente, bem como os valores de capacitores resistores e indutores, evitando-se problemas que poderiam causar um mal funcionamento do circuito.

### 1.5.3 Implementação

As implementações foram realizadas utilizando-se como base os dados físicos existentes de cada componente, realizados apropriadamente, considerando o funcionamento do circuito na prática.

A implementação prática do protótipo, foi capaz de justificar na prática os resultados obtidos com os cálculos, mostrando o correto funcionamento do circuito carregador de baterias juntamente com o circuito monitor de tensão e corrente.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

De forma geral a estrutura deste trabalho foi subdividida em cinco capítulos:

O primeiro capítulo refere-se à introdução, tema, delimitação do tema, problemas e premissas, objetivos, justificativa e procedimentos metodológicos do projeto que já foram definidos nas seções anteriores.

O segundo capítulo, será abordado o estudo feito sobre os principais tipos de baterias usados atualmente no mercado, retratando vantagens e limitações sobre

cada tipo além de outras características. Será visto também o meio em que estão imersas as placas e o que isso representa para com a sua estrutura externa.

No terceiro capítulo será tratado o desenvolvimento do protótipo do carregador de baterias, que corresponde a um conversor AC/DC, tendo uma saída de 28 V com um limitador de corrente de 1 A. Para tal circuito foi utilizado um conversor *flyback* no modo descontínuo, controlado pelo circuito integrado 1M0380.

Será visto também no terceiro capítulo o desenvolvimento do protótipo do circuito que realiza a monitoração em tempo real, tanto da tensão quanto da corrente da saída do carregador, mostrando tais informações em um *display*, para isso, utilizou-se em tal circuito o microcontrolador Atmega328 da Atmel.

Já no quarto capítulo, serão apresentados os resultados obtidos com o funcionamento do protótipo na prática. Resultados esses que foram extraídos primeiramente em ambiente simulado e em seguida devidamente carregando as duas baterias de 12 V em série.

Finalmente, no quinto capítulo, será apresentado a conclusão de tal projeto com base nos resultados obtidos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 ESTUDO SOBRE BATERIAS

A seguir é apresentada uma visão geral sobre baterias, incluindo alguns parâmetros e definições essenciais para o seu estudo.

#### 2.1.1 Visão Geral Sobre Baterias

De acordo com Coelho (2001), uma bateria é um elemento que armazena energia elétrica. Uma bateria não produz energia, somente a armazena. Conforme a mudança na composição química interna de uma bateria, gerada por uma mudança na configuração de seu circuito, esta energia pode ser armazenada ou fornecida. Para o caso de baterias recarregáveis, este processo de carga e descarga de energia pode ser repetido várias vezes.

Basicamente, o princípio de funcionamento de uma bateria é devido ao processo de reação química de oxidação e redução, sendo a oxidação um processo que fornece elétrons, enquanto a redução é o processo de consumo de elétrons (LAZZARIN, 2006).

Internamente uma bateria é composta por quatro elementos: um ânodo feito com material que possua a característica de liberar elétrons, um cátodo que deverá receber elétrons, o eletrólito e um separador. A organização destes elementos pode ser observada na Figura 1 com o processo em modo de carga e descarga (LAZZARIN, 2006).

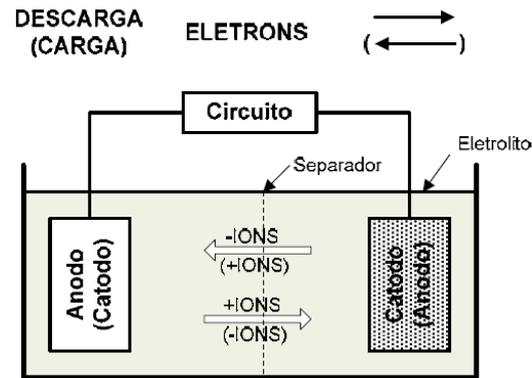


Figura 1 - Elementos de uma célula recarregável

Fonte: LAZZARIN, 2006

Durante o processo de descarga da bateria, o ânodo fornece elétrons para a oxidação, ou seja, gera íons positivos. Do mesmo modo, o cátodo fornece íons negativos no procedimento de receber elétrons. Um elemento importante de uma bateria é o separador entre o ânodo e o cátodo, que permite o fluxo livre de íons. Entretanto o fluxo dos elétrons é feito de forma forçada pelo circuito externo, concluindo o sistema. Para o caso de uma célula ser do tipo recarregável, o processo é reversível, na descarga o terminal positivo é o cátodo e o terminal negativo o ânodo. No entanto, durante a carga ocorre o inverso: o terminal positivo é o ânodo e o terminal negativo o cátodo (LAZZARIN, 2006).

Apesar do grande número de baterias, todas elas podem ser classificadas em dois tipos: baterias primárias, distintas das demais por serem essencialmente não recarregáveis e baterias secundárias, que são recarregáveis e por isso podem ser reutilizadas muitas vezes (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000).

### 2.1.2 Parâmetros e Definições Sobre Baterias

Segundo Lazzarin (2006), os parâmetros das baterias e suas respectivas definições são:

- Uma CÉLULA é um componente eletroquímico capaz de fornecer, energia elétrica, resultante de uma reação química interna. Podendo então alimentar circuitos externos;

- Uma BATERIA pode ser uma única célula ou uma combinação entre elas, podendo ser de forma paralela, serie ou mista, de acordo coma a tensão e a capacidade de corrente requerida;
- A CAPACIDADE é definida como a corrente máxima que uma bateria pode fornecer ininterruptamente durante certo tempo, sem causar sua inutilização. A unidade de medida utilizada é dada em ampère-hora (Ah);
- A CURVA DE DESCARGA de uma bateria é a identificação pela atuação da tensão em função de seu nível de descarga. Na curva, três valores são relevantes: tensão de pico, tensão nominal e tensão de bateria totalmente descarregada;
- A AUTO-DESCARGA é decorrente de correntes internas na bateria, que provocam perda de carga ainda que não esteja sendo utilizada a bateria;
- A VIDA ÚTIL é fornecida em número de ciclos: carga seguida de descarga, que uma célula recarregável pode suportar até certo limite de usabilidade.

### 2.1.3 Tipos de Baterias

Segundo Peixoto (2012) as baterias podem ser classificadas de acordo com vários critérios, como os materiais usados na sua construção, o tipo de utilização, o meio em que estão imersas as suas placas ou de acordo com suas características internas. Na classificação de acordo com os materiais, as baterias podem ser divididas em: Níquel Cádmio, Níquel Metal Hidreto, Chumbo-Ácido, Lítio-Íon, Lítio-Íon Polímero, entre outras. Já em relação ao meio em que as placas estão inseridas, o mesmo pode ser do tipo: gel, sólido ou líquido.

#### 2.1.3.1 Considerações Relativas ao Meio

Baterias de gel contém um ácido que foi transformado em gel com a adição de sílica gel. Este meio ácido torna-se então uma massa gelatinosa. A vantagem desse tipo de meio é que é impossível derramar ou respingar ácido graças à forma

de gel em que se encontra, ou seja, possui muito mais segurança durante o manuseio por um usuário durante uma manutenção dessas baterias (COELHO, 2001).

A desvantagem perante esse tipo de bateria é que ela precisa ser descarregada com uma taxa menor de corrente para prevenir excesso de formação de gás, caso contrário poderá ser definitivamente danificado (COELHO, 2001).

As baterias em meio sólido, possuem os seus eletrodos imersos em um material semelhante a uma lã de vidro. Para esse tipo de bateria, as características são semelhantes às baterias de gel, que da mesma forma deve-se evitar carga ou descarga com elevadas taxas de corrente (COELHO, 2001).

Já as baterias com as placas imersas em meio líquido, possuem pequenas válvulas que podem ou não serem removidas. Para o caso de baterias seladas ou de manutenção livre, essas válvulas não são removíveis e servem para regular a pressão interna a fim de evitar o acúmulo de gases durante o período de carga. Tais baterias, se recarregadas muitas vezes, podem perder água suficiente para levá-las à inutilidade (COELHO, 2001).

#### 2.1.3.2 Baterias de NiCd

As baterias de níquel cádmio apresentam um maior tempo de vida útil, se utilizado carga rápida ao invés de carga lenta e carga pulsada ao invés de carga contínua. Já para todas as outras baterias, é aconselhável carga e descarga moderadas (STA, 2016).

Esse tipo de bateria é a única em que se observa ótima performance sob rigorosas condições de trabalho. A bateria de NiCd pode apresentar problemas se ficar conectada em carregadores por vários dias ou ser usada somente ocasionalmente por curtos períodos de tempo. Uma descarga completa é tão importante que, se não realizada, poderá causar a formação de cristais nas placas das células (“efeito memória”) e a bateria gradualmente irá perdendo a sua capacidade (STA, 2016).

As principais aplicações são telefones, equipamentos de emergência médica, câmeras de vídeo profissionais e ferramentas elétricas (STA, 2016).

### 2.1.3.2.1 Vantagens e Limitações das Baterias de NiCd

Segundo STA (2016), as vantagens e limitações são:

Vantagens:

- Carga rápida e simples, mesmo após armazenagem prolongada;
- Alto número de ciclos de carga e descarga;
- Boa performance de carga. As baterias de NiCd permitem recargas em baixas temperaturas;
- Longa vida na condição de armazenagem, em qualquer estado de carga;
- Bom desempenho mesmo que sobrecarregada;
- Preço baixo em comparação com outras baterias.

Limitações:

- Baixa densidade de energia;
- Efeito memória;
- Contém metais tóxicos que não podem ser jogados no meio ambiente, precisam ser reciclados;
- Possuem uma alta taxa de auto descarga precisando ser carregada periodicamente quando armazenada.

### 2.1.3.3 Baterias de NiMH

As baterias de níquel metal hidreto possuem alta densidade de energia chegando a oferecer até 100% a mais de densidade energética em comparação com as baterias de NiCd. Contudo apresentam altas taxas de auto descarga, chegando a perder aproximadamente de 15% a 20% de sua capacidade dentro das primeiras 24 horas (STA, 2016).

As baterias de NiMH têm substituído as baterias de NiCd nos mercados de comunicações sem fio e computação móvel. A substituição visa também as

questões ambientais, dado que, tais baterias fazem o uso de materiais não-tóxicos (STA, 2016).

#### 2.1.3.3.1 Vantagens e Limitações das Baterias de NiMH

Segundo STA (2016), as vantagens e limitações são:

Vantagens:

- 50 a 100% maior capacidade que as baterias NiCd;
- Menor efeito memória;
- Armazenagem e transporte simples;
- Não tóxica e não causa danos ao meio ambiente.

Limitações:

- Repetidos ciclos de carga e descarga profunda reduzem a vida útil da bateria. Seu desempenho se deteriora após 200 a 300 ciclos. Descargas parciais ao invés de descarga profunda são mais indicadas para baterias NiMH;
- Corrente limitada de descarga. Apesar de as baterias NiMH forneçam altas correntes de descarga, repetidas descargas com altas correntes de carga podem reduzir a vida útil da bateria. Melhores resultados são obtidos com correntes de 20 a 50% da corrente nominal;
- Processo de carga mais complexo. Este tipo de baterias abordado gera mais calor durante seu processo de carga, além disso, requer um maior tempo de carga do que as de NiCd;
- Alta taxa de auto descarga, chegando a descarregarem 50% mais rápido que as baterias de NiCd;
- O desempenho da bateria se deteriora se armazenada em elevadas temperaturas;
- Alta manutenção, tais baterias necessitam descargas completas regularmente para evitar a formação de cristais;
- São mais caras que as baterias NiCd.

#### 2.1.3.4 Baterias de Chumbo-Ácido

Atualmente, as baterias de chumbo-ácido são usadas em automóveis, empilhadeiras, e em sistemas de fornecimento de energia elétrica ininterrupta (*nobreak*) (STA, 2016).

Durante os anos 70, pesquisadores desenvolveram uma bateria de chumbo-ácido que é livre de manutenção, e que pode operar em qualquer posição. O eletrólito líquido foi transformado em separadores umedecidos e o invólucro foi selado. Para tais baterias surgiram duas designações, as quais são: SLA (*sealed lead acid*-bateria selada chumbo-ácido), também conhecida com o nome comercial de *Gelcell* e as baterias VRLA (*valve regulated lead acid*-bateria chumbo-ácida regulada por válvula) (STA, 2016).

O uso típico de baterias do tipo SLA são *nobreak's* para computadores, pequenas unidades de iluminação de emergência e cadeiras de rodas elétricas. Por causa do baixo custo e da pequena manutenção, as baterias seladas são a melhor escolha para instrumentos biomédicos e de cuidados com a saúde em hospitais e casas de repouso. Já as baterias do tipo VRLA são mais usadas em aplicações estacionárias para reserva de energia como *nobreak's* de grande porte, hospitais, bancos, aeroportos e instalações militares, devido a sua maior capacidade (STA, 2016).

Ao contrário das baterias de chumbo-ácido com eletrólito líquido, ambas as baterias SLA e VRLA são projetadas para uma baixa sobre tensão, a fim de se evitar a formação de gases durante a carga (STA, 2016).

As baterias SLA, permitem ficar por um período de tempo prolongado em carga flutuante sem nenhum tipo de dano e não tem a necessidade de uma descarga completa, não estão sujeitas ao efeito memória. Pelo contrário, tais baterias devem sempre ser armazenadas carregadas. Deixá-las descarregadas causa sulfatação, uma condição que torna cada vez mais difícil o processo de carga da bateria. Outro fator importante que melhoram tanto a performance quanto a vida útil é a temperatura de operação, ou seja, para uma temperatura de operação de 25°C tal bateria deveria durar em torno de 10 anos, se operasse a 33°C seu tempo de vida cairia pela metade. A mesma bateria aguentaria pouco mais de um ano a uma temperatura de 42°C. Se os devidos cuidados forem adotados, este tipo de

bateria apresenta a melhor retenção de carga. Se comparada as baterias de NiCd, está se auto descarrega aproximadamente 40% de sua energia armazenada em três meses, a bateria SLA se auto descarrega na mesma quantidade no período de um ano (STA, 2016).

#### 2.1.3.4.1 Vantagens e Limitações das Baterias de Chumbo-Ácido

Segundo STA (2016), as vantagens e limitações são:

Vantagens:

- Custo reduzido. Em termos de custo por Watt horas, a bateria SLA é mais vantajosa;
- Quando usada corretamente, a bateria SLA é durável e possui maior segurança;
- Exigências de manutenção baixas;
- Capaz de taxas elevadas de descargas.

Limitações:

- Não pode ser armazenada em uma condição descarregada;
- Densidade baixa de energia;
- Permite somente um número limitado de ciclos cheios de descarga;
- Conteúdo da carga pode causar danos ambientais. Devem ser reciclados;
- Fuga térmica pode ocorrer com carregamento impróprio.

#### 2.1.3.5 Baterias de Lítio-Íon

O Lítio é o mais leve de todos os metais usados em baterias, tem o maior potencial eletroquímico e fornece a maior densidade de energia por peso. Tal densidade é tipicamente o dobro das de NiCd padrão. Além disso, suas características de carga são razoavelmente boas e se comportam em termos de

descarga iguais às de NiCd. A curva de descarga plana oferece utilização eficiente da energia armazenada em um aspecto de tensão desejável (STA, 2016).

A lítio-íon é uma bateria de baixa manutenção, uma vantagem que a maioria das outras baterias químicas não têm. Não existe memória e nenhum ciclo programado é exigido para prolongar a vida da bateria. Além disso, a auto descarga é menor que a metade da taxa comparando com as de NiCd e NiMH (STA, 2016).

O envelhecimento é um fator preocupante para com a maioria das baterias. É perceptível a deterioração da capacidade após um ano, se a bateria estiver em uso ou não. Armazenar a bateria em um lugar fresco desacelera o processo de envelhecimento da bateria de lítio-íon. Fornecedores recomendam armazenar a 15°C. Além disso, se armazenada, a bateria deve ser apenas carregada parcialmente (STA, 2016).

O armazenamento prolongado não é recomendado para baterias de lítio-íon. Suas aplicações incluem notebooks e telefones celulares (STA, 2016).

#### 2.1.3.5.1 Vantagens e Limitações das Baterias de Lítio-Íon

Segundo STA (2016), as vantagens e limitações são:

Vantagens:

- Densidade de energia elevada;
- Auto descarga relativamente baixa;
- Manutenção baixa.

Limitações:

- Requer circuito de proteção;
- Sujeito ao envelhecimento;
- Moderada corrente de descarga;
- A alta temperatura da célula, resultante do abuso da célula pode causar dano físico;
- Mais caras.

### 2.1.3.6 Baterias de Lítio-Íon Polímero

A bateria de lítio-íon polímero se diferencia dos outros sistemas de baterias no tipo de eletrólito usado. Utiliza um eletrólito sólido em substituição ao antigo separador poroso. As características e desempenho são muito similares as de lítio-íon (STA, 2016).

#### 2.1.3.6.1 Vantagens e Limitações das Baterias de Lítio-Íon Polímero

Segundo STA (2016), as vantagens e limitações são:

Vantagens:

- Perfil muito baixo;
- Fator flexível do modelo, os fabricantes não são limitados por formatos padrão;
- Mais leve;
- Segurança melhorada, mais resistente a sobrecargas, menor possibilidade de vazamento de eletrólito.

Limitações:

- Densidade de energia mais baixa e contagem de ciclo menor se comparada à bateria de lítio-íon.

### 2.1.3.7 Comparativos Entre as Baterias Mais Utilizadas

O Quadro 1 mostra os dados comparativos entre as baterias mais utilizadas.

	<b>NiCd</b>	<b>NiMh</b>	<b>Li-Ion</b>	<b>Li-Íon Polímero</b>	<b>Chumbo</b>
Densidade de Energia (Wh/kg)	45-80	60-120	110-160	100-130	30-50
Resistência Interna (miliOhm)	100-200 Pack 6V	200-300 Pack 6V	150-250 Pack 7,2V	200-300 Pack 7,2V	<100 Pack 12 V
Ciclo de Vida (80% da capacidade inicial)	1500	500-1000	500-1000	300-500	200-300
Tempo para Carga Rápida	1 hora	2 a 4 hs	2 a 4 hs	2 a 4 hs	8 a 16 hs
Tolerância para Sobrecarga	Moderada	Baixa	Muito Baixa	Baixa	Alta
Auto-Descarga Mensal (na temperatura ambiente)	20%	30%	10%	10%	5%
Tensão da Célula	1,25V	1,25V	3,6V	3,6V	2V
Corrente de Carga -Pico - Melhor Resultado	20C 1C	5C 0.5C	>2C 1C	>2C 1C	5C 0.2C
Temperatura de operação (somente descarga)	-40 a 60 °C	-20 a 60 °C	-20 a 60 °C	0 a 60 °C	-20 a 60 °C
Manutenção	30 a 60 dias	60 a 90 dias	Não é necessário	Não é necessário	3 a 6 meses
Comparação de Custo Pack 7,2V – U.S.A.	\$ 50	\$60	\$100	\$100	\$25
Custo por ciclos	\$0,04	\$0,12	\$0,14	\$0,29	\$0,10
Usada comercialmente desde	1950	1990	1991	1999	1970

**Quadro 1 - Dados comparativos entre os tipos de baterias mais utilizadas**

**Legenda: Uma bateria sendo carregada com uma corrente de “1C” significa que está sendo carregada com a corrente nominal. Uma bateria sendo carregada com uma corrente de “0.5C” significa que está sendo carregada com metade da corrente nominal.**

**Fonte: STA, 2016**

Para este trabalho, a bateria que melhor se adequa ao tipo de circuito que foi utilizado são as baterias seladas de chumbo-ácido, mais especificamente as com eletrólito de gel, tendo em vista que atualmente é o tipo mais difundido no ramo de *nobreak's*, não só pelo seu melhor custo benefício, mas também, pelo seu maior grau de segurança.

### 3 DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 CARREGADOR DE BATERIAS

Como já mencionado, o carregador das baterias foi implementado por meio de um conversor *flyback* operando no modo descontínuo com transformador, que é controlado pelo circuito integrado 1M0380.

A tensão do carregador foi controlada por um regulador ajustável de precisão, o TL431, também contando com um circuito de controle de corrente.

O carregador das baterias fornece uma tensão de saída de 28 V, uma vez que o propósito é utilizar duas baterias de 12 V em série, e já contando que as mesmas possuem uma tensão de flutuação um pouco acima da nominal.

O circuito proposto possui um limitador de corrente de 1 A, dado que o equipamento terá um longo período para carregar as baterias, enquanto houver energia da rede. A potência é relativamente baixa, o que torna simplificado o circuito e a robustez dos componentes que são utilizados no mesmo (SCHIAVON, 2007). O circuito completo pode ser observado na Figura 2.

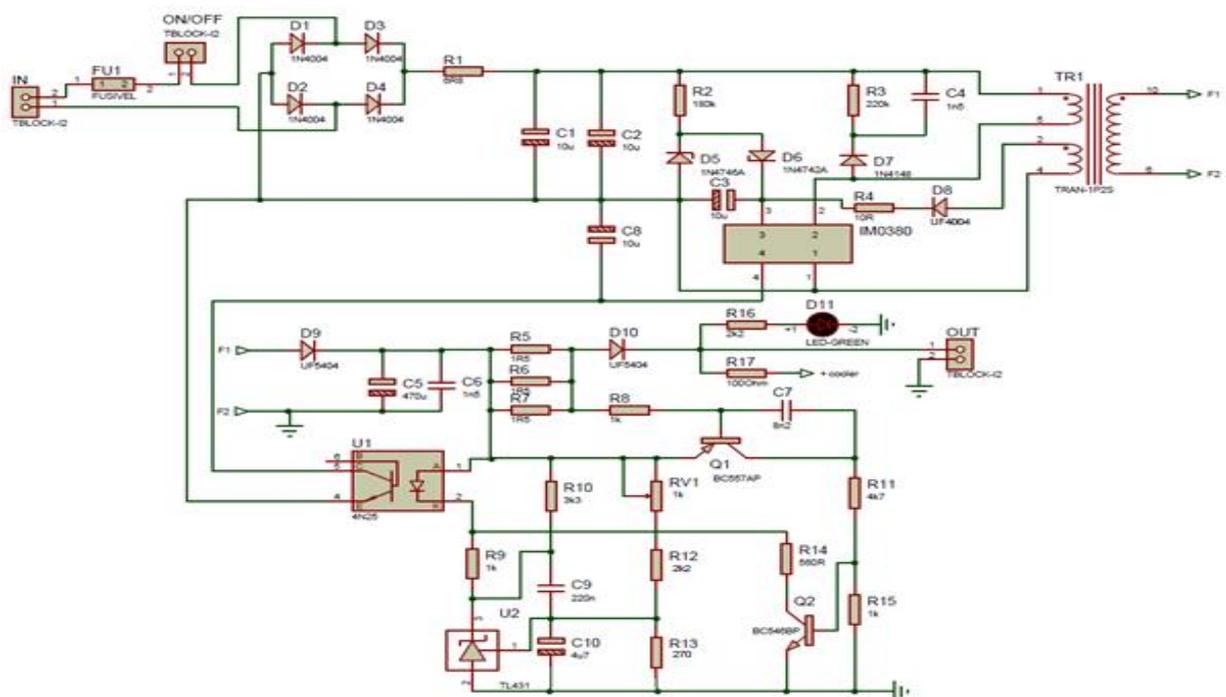


Figura 2 - Circuito completo do *flyback*

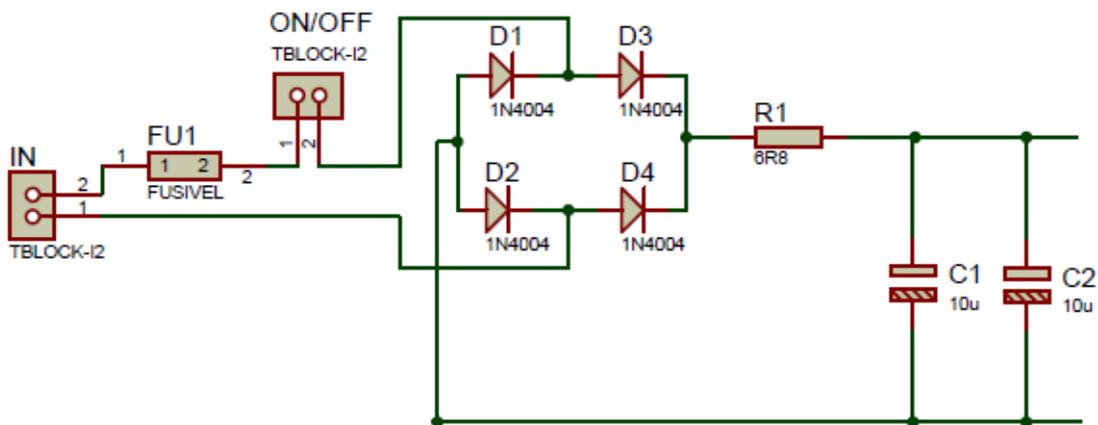
Fonte: Adaptado de Schiavon, 2007

### 3.1.1 Procedimentos de Projeto

Para o projeto do conversor *flyback*, as equações utilizadas foram as propostas de acordo com Schiavon (2007).

### 3.1.2 Retificador de Entrada

A alimentação do *flyback* é composta por um circuito retificador. A Figura 3 refere-se a parte do circuito proposto.



**Figura 3 - Circuito retificador do *flyback***

**Fonte: Adaptado de Schiavon, 2007**

Ao observar a Figura 3, é notório que este é um circuito retificador de onda completa, e para uso venturo no projeto, será considerado que ele fornecerá uma tensão de saída mínima de 130 V e tensão máxima na saída de 350 V.

Associado ao circuito retificador tem-se o circuito de proteção, a fim de se garantir um mínimo de segurança elétrico para todo o circuito.

### 3.1.3 Flyback

#### 3.1.3.1 Circuito Integrado 1M0380

O *flyback* é controlado pelo circuito integrado 1M0380. O pino 1 (GND) deverá ser ligado ao terra, já o pino 2 correspondente ao dreno (*drain*) do FET na saída. O pino 3 (Vcc) corresponde a alimentação, que deve ser no máximo 30 V (Datasheet 1M0380, 2016). Seu diagrama de blocos é mostrado na Figura 4:

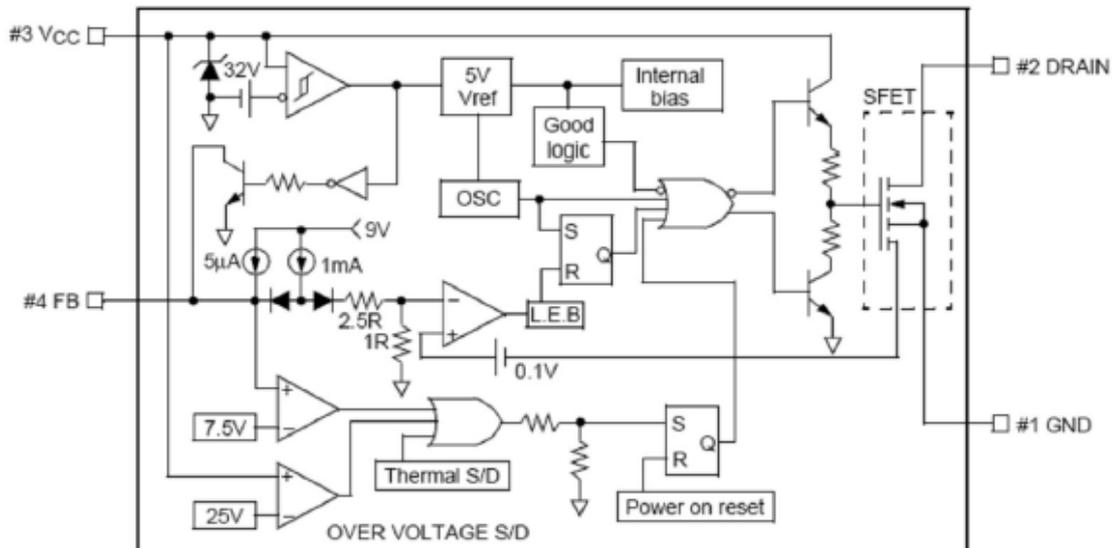


Figura 4 - Diagrama de blocos do circuito integrado 1M0380

Fonte: DATASHEET 1M0380, 2016

E o pino 4 corresponde à realimentação. A frequência de operação deste integrado é de 67 kHz (Datasheet 1M380, 2016). A Figura 5 apresenta parte do circuito que representa o *flyback*, sem o controle e retificador.

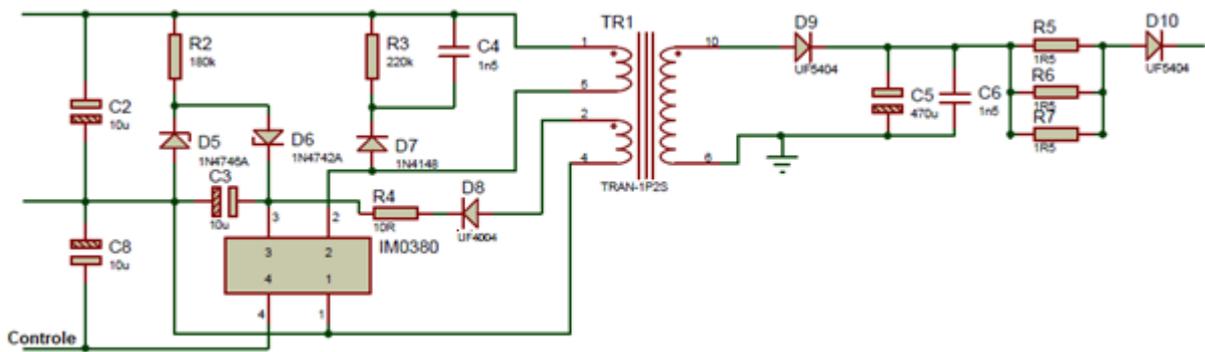


Figura 5 - Circuito de potência do *flyback*

Fonte: Adaptado de Schiavon, 2007

Inicialmente, o resistor de 180 k $\Omega$  polariza o zener 1N4746A (18 V), que mantém 18 V sobre si, o zener 1N4742A (12 V), esta polarizado diretamente, assim, no pino de alimentação (pino 3) do integrado, tem uma tensão de 18 V, menos a queda de tensão no zener 1N4742A diretamente polarizado, que é da ordem de 0,7 V, resultando em uma tensão de 17,3 V, suficiente para iniciar o funcionamento do integrado, não tendo potência necessária para mantê-lo funcionando.

Apesar dessa alimentação inicial não ser suficiente para manter o integrado, ela permite que ele libere os primeiros pulsos. A partir desse momento entra em operação a sua alimentação propriamente dita, para este fim há o terceiro enrolamento, exclusivamente para alimentar o dispositivo integrado.

Este enrolamento possui apenas seis espiras, de um fio 25 AWG, e através dele, os pulsos, passando pelo diodo UF4004 e pelo resistor de 10  $\Omega$  carrega o capacitor de 10  $\mu$ F, que mantém tensão suficiente para alimentar o 1M0380, e esta tensão esta grampeada em 30 V pelos diodos zener, 1N4746A e 1N4742A, pois o integrado possui uma proteção interna de 32 V.

### 3.1.3.2 *Flyback* Modo-Descontínuo com Transformador

Na Figura 6 é apresentado um exemplo de circuito *flyback* com transformador.

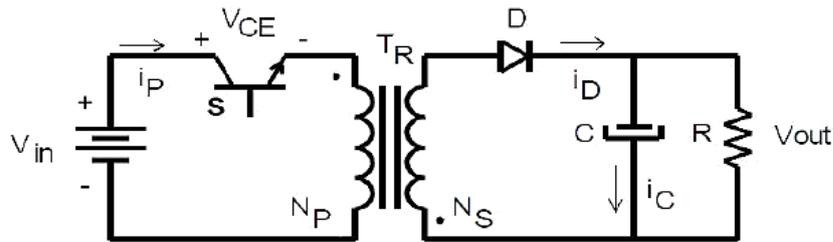


Figura 6 - Conversor *flyback* modo descontínuo com transformador

Fonte: BONA; GARCIA; FULLGRAF, 2010

O *flyback* da Figura 6 funciona da seguinte forma: quando a chave S estiver fechada, o primário do transformador estará ligado diretamente à fonte de tensão da entrada, o que resultará em um aumento do fluxo magnético do transformador. Por consequência o diodo D é polarizado inversamente, desta forma é o capacitor C que irá fornecer energia para a carga (BONA; GARCIA; FULLGRAF, 2010).

Quando a chave S for aberta, a energia armazenada no transformador será transferida para a saída do conversor. O diodo D é polarizado diretamente e o capacitor será carregado (BONA; GARCIA; FULLGRAF, 2010). A Figura 7 demonstra a passagem de corrente pelo circuito com a chave fechada.

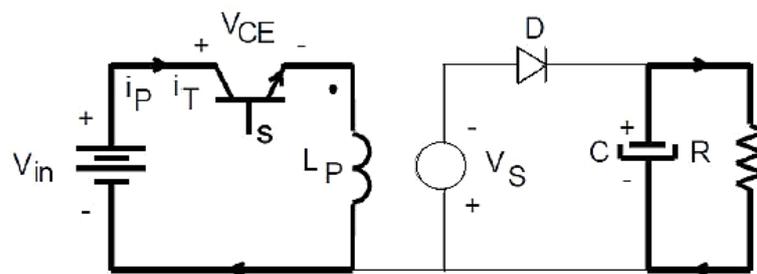
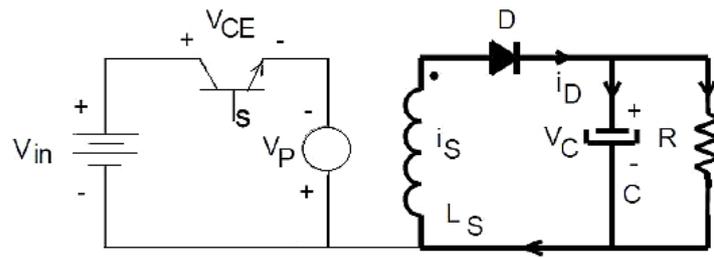


Figura 7 - *Flyback* chave fechada - Armazenamento de energia

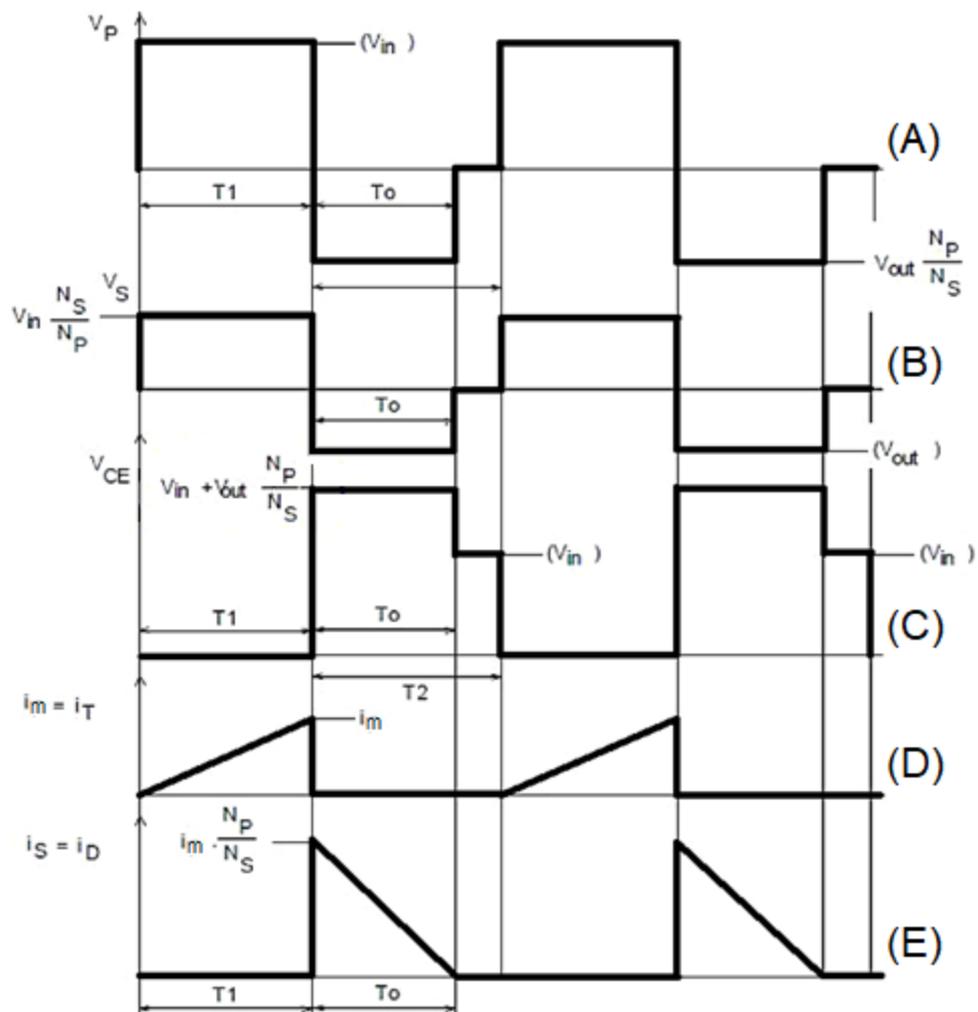
Fonte: BONA; GARCIA; FULLGRAF, 2010

A Figura 8 demonstra a passagem de corrente com a chave aberta.



**Figura 8 - Flyback chave aberta - Transferência de energia**  
**Fonte: BONA; GARCIA; FULLGRAF, 2010**

A Figura 9 apresenta as formas de onda da saída, com o chaveamento da tensão de entrada.



**Figura 9 - Principais formas de onda do conversor**  
**Fonte: Adaptado de: BONA; GARCIA; FULLGRAF, 2010**

De acordo com Schiavon (2007) no modo descontínuo, a energia armazenada no núcleo durante a saturação do transistor é totalmente transferida para a saída durante seu corte. Desta maneira, tanto a energia inicial do núcleo quanto a corrente de coletor vão ser sempre nulas no início da condução do transistor. Relembrando que no circuito *flyback* do protótipo o transistor utilizado foi o FET cujo dreno fica no pino 2 do 1M380 e a fonte (*source*) ligado ao pino 1.

Chamando de  $I_M$  a corrente no fim do período de condução do transistor, tem-se:

$$V_E = L_P \cdot \frac{I_M}{\delta T} \quad (1)$$

onde  $\delta$  é a razão cíclica.

Assim que o diodo começa a conduzir, por ele passa uma corrente que decresce linearmente, conforme a forma de onda (E) da Figura 9, até chegar a zero, no tempo  $\psi T$  (onde  $\psi$  é dado por  $1 - \delta$ ). Essa corrente se relaciona com a corrente de pico no primário  $I_M$ , pois a energia no instante do corte deve ser constante e igual a:

$$E_P = \frac{1}{2} \cdot L_P \cdot I_M^2 \quad (2)$$

Que no secundário poderá ser expressa por:

$$E_S = \frac{1}{2} \cdot L_S \cdot I_D^2 \quad (3)$$

Igualando as equações 2 e 3 tem-se:

$$I_D = \eta \cdot I_M \quad (4)$$

Como

$$\eta = \frac{N_P}{N_S} \quad (5)$$

Pode-se escrever:

$$V_S = L_S \cdot \frac{\eta \cdot I_M}{\psi T} \quad (6)$$

Desta forma, para compensar variações em  $I_M$  deve-se variar  $\psi$ , portanto, o ângulo de condução do secundário é diretamente proporcional à corrente de saída. Ainda assim a energia em cada ciclo deve ser a energia necessária para manter a corrente de saída a uma tensão constante, assim:

$$E = \frac{P_S}{f} \quad (7)$$

Igualando as equações 2 e 7, encontra-se:

$$I_M = \sqrt{\frac{2 \cdot P_S}{f \cdot L_P}} \quad (8)$$

Substituindo o  $I_M$  da equação 8 na equação 1, pode-se obter o  $L_P$ .

$$L_P = \frac{(\delta \cdot V_E)^2}{2 \cdot P_S \cdot f} \quad (9)$$

Substituindo  $P_S$  por  $V_S^2 / R_S$ , na equação 9, obtém-se:

$$V_S = \delta \cdot V_E \cdot \sqrt{\frac{R_S}{2 \cdot f \cdot L_P}} \quad (10)$$

A Equação 10 fornece a função de transferência do conversor *flyback* modo-descontínuo. Nota-se que tanto variações em  $V_E$  quanto em  $R_S$ , contribuem para variações  $\delta$ . Assim,  $\delta$  deverá ser máximo para  $V_{E\ min}$  e  $I_{S\ max}$ , o que implicará em  $\psi_{max}$ , logo para  $V_{E\ min}$  e  $I_{S\ max}$  deve-se ter:

$$\delta_{MAX} + \delta_{MAX} = 1 \quad (11)$$

A relação de espiras deve ser calculada por:

$$N = \frac{\delta_{MAX} \cdot V_{E\ MIN}}{V_S \cdot (1 - \delta_{MAX})} \quad (12)$$

O ângulo de condução  $\psi$  pode ser calculado por:

$$\psi = \sqrt{\frac{2 \cdot f \cdot L_S}{R_S}} \quad (13)$$

E o capacitor, pode então, ser calculado pela equação a seguir:

$$C = \frac{(N \cdot I_M - I_S)^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot f \cdot L_S}{R_S}}}{2 \cdot N \cdot I_M \cdot \Delta V_C \cdot f} \quad (14)$$

### 3.1.3.3 Cálculo do Transformador

Foi considerado para os cálculos a tensão de entrada entre 130 V e 350 V e adotando um  $\delta$  máximo de 0,5, corrente de saída máxima de 1 A, mínima de 0,1 A, tensão de saída de 28 V e queda de tensão no diodo de 1,5 V, bem como a frequência de trabalho do circuito integrado 1M0380, que é de 67 kHz.

- Potência de saída:

$$P_0 = V_0 \cdot I_0 = (28 + 1,5) \cdot 1 = 29,5 \text{ W}$$

- Indutância no primário:

Da equação 9, tem-se:

$$L_P \leq \frac{(\delta_{MAX} \cdot V_{E MIN})^2}{2 \cdot P_S \cdot f} = \frac{(0,5 \cdot 130)^2}{2 \cdot 29,5 \cdot 67K} = 1,068 \text{ mH}$$

Assim, adota-se uma indutância de 900  $\mu\text{H}$

- Corrente no primário:

Utilizando a equação 8 tem-se que:

$$I_M = \sqrt{\frac{2 \cdot P_S}{f \cdot L_P}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 29,5}{67K \cdot 0,9m}} = 0,989 \text{ A}$$

- Energia:

Da equação 7 obtém-se:

$$E = \frac{P_S}{f} = \frac{29,5}{67K} = 440 \mu\text{J}$$

- Núcleo EE

$$A_P = \left( \frac{2 \cdot E \cdot 10^4}{K_u \cdot K_j \cdot B_{MAX}} \right)^2 \quad (15)$$

$$\Delta T = 30^\circ C; K_j = 397; K_u = 0,4; B = 0,3T; Z = 1,136$$

$$A_p = \left( \frac{2.440\mu \cdot 10^4}{0,4 \cdot 397 \cdot 0,3} \right)^{1,136} = 0,1468 \text{ cm}^4$$

$$\text{Núcleo EE30/15/7: } A_p = 0,71 \text{ cm}^4; I_e = 6,69 \text{ cm}; A_e = 0,597 \text{ cm}^2$$

$$A_l = \frac{A_e^2 \cdot B^2}{2 \cdot E} = \frac{(0,597 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 0,3^2}{2 \cdot 2.440\mu} = 365 \text{ nH/esp}^2 \quad (16)$$

$$N_p = \sqrt{\frac{L_p}{A_l}} = \sqrt{\frac{900\mu}{365n}} \cong 50 \text{ esp} \quad (17)$$

Assim, tem-se 50 espiras no primário, para o núcleo EE30/15/7, conforme DATASHEET EE30/15/7 (2017). E a área de cobre é calculada a seguir:

$$J = K_j \cdot A_p^{-j} = 397 \cdot 0,9^{-0,12} = 402 \text{ A/cm}^2 \quad (18)$$

$$I_{P \text{ RMS}} = I_M \cdot \sqrt{\frac{\delta_{MAX}}{3}} = 0,989 \cdot \sqrt{\frac{0,5}{3}} = 404 \text{ mA} \quad (19)$$

$$ACu = \frac{I_{P \text{ RMS}}}{J} = \frac{404m}{402} = 0,001005 \text{ cm}^2 \quad (20)$$

Desta forma, para o enrolamento primário um fio 26 AWG será suficiente, com 50 voltas. Para o secundário, da Equação 9 substituindo  $V_E$  por  $V_S$  e  $P_s$  por  $V_S^2/R_S$ , tem-se,

$$L_S = \frac{\delta_{MAX}^2 \cdot R_S}{2 \cdot f} = \frac{0,5^2 \cdot 28}{2 \cdot 67K} = 52,2 \mu H \quad (21)$$

E da equação 17, retira-se:

$$N_S = \sqrt{\frac{L_S}{A_l}} = \sqrt{\frac{52,2900\mu}{365n}} = 11,95 \cong 12 \text{ esp}$$

Logo, tem-se que o secundário deverá possuir 12 espiras, com a área de cobre calculada a seguir, utilizando as equações 4, 19 e 20.

$$I_D = \eta \cdot I_M = \frac{50}{12} \cdot 0,989 = 4,12 \text{ A}$$

$$I_{S \text{ RMS}} = I_D \cdot \sqrt{\frac{\delta_{MAX}}{3}} = 4,12 \cdot \sqrt{\frac{0,5}{3}} = 1,68 \text{ A}$$

$$ACu = \frac{I_{S \text{ RMS}}}{J} = \frac{1,68}{402} = 0,00418 \text{ cm}^2$$

Por tanto, para o secundário 12 voltas de dois fios 24 AWG serão suficientes.

#### 3.1.3.4 Cálculo do Capacitor

Para o cálculo do capacitor basta substituir os valores já calculados na equação 14, com uma variação de tensão na saída não maior que 0,5%, o que equivale a 14 mV.

$$C = \frac{(N \cdot I_M - I_S)^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot f \cdot L_S}{R_S}}}{2 \cdot N \cdot I_M \cdot \Delta V_C \cdot f} = \frac{(4,12 - 1)^2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 67K \cdot 52,2\mu}{28}}}{2 \cdot 4,12 \cdot 14m \cdot 67K} \cong 305 \mu F$$

Assim, utilizou-se um capacitor de 470  $\mu F$ .

### 3.1.3.5 Cálculo do Diodo

O diodo deve suportar uma corrente média de 1 A, que é a corrente de saída, com picos repetitivos no valor de  $I_D$  que é de 4,12 A, e suportar altas frequências, por isso utiliza-se um diodo UF.

Foi utilizado o diodo UF5404, que satisfaz com folga as necessidades, pois tem um tempo de recuperação reversa de menos de 50 ns, conforme a Tabela 1 e suporta uma corrente média de 3 A e uma corrente de pico repetitivo de 30 A, conforme a Tabela 2.

**Tabela 1 - Tempo de recuperação reversa do UF5404**

#### Characteristics

Type	Reverse recovery time $t_{rr}[ns]^t$	Forward voltage $V_F[V]$ at/bei $I_F[A]$
UF 5400 ... UF 5404	<50	<1.0 3
UF 5405 ... UF 5408	<75	<1.7 3

**Tabela 2 - Maxima tensão reversa, corrente média e corrente de pico repetitivo do UF5404**

#### Maximum ratings

Type	Repetitive peak reverse voltage $V_{RRM}[V]$	Surge peak reverse voltage $V_{RSM}[V]$
UF 5400	50	50
UF 5401	100	100
UF 5402	200	200
UF 5403	300	300
UF 5404	400	400
UF 5405	500	500
UF 5406	600	600
UF 5407	800	800
UF 5408	1000	1000

**Max. Average forward rectified current, R-load**       $T_A = 50^\circ C$        $I_{FAV}$       **3 A<sup>1</sup>**

**Repetitive peak forward current**       $f > 15 Hz$        $I_{FRM}$       **30 A<sup>3</sup>**

### 3.1.3.6 Circuito de Controle

O principal elemento do circuito de controle é o integrado TL431. Este componente é um regulador de precisão ajustável (DATASHEET TL431, 2016). A Figura 10 apresenta seu diagrama de blocos interno para maior compreensão:

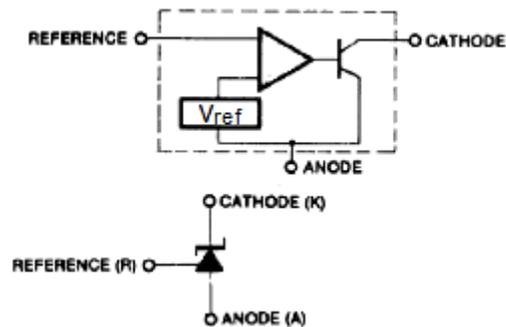


Figura 10 - Diagrama de blocos interno do TL431  
Fonte: DATASHEET TL431, 2016

E o circuito de controle encontra-se na Figura 11:

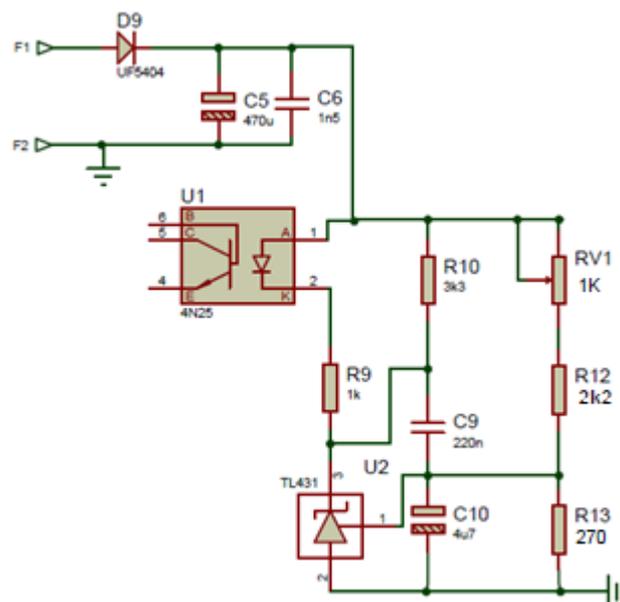


Figura 11 - Circuito de controle do *flyback*  
Fonte: Adaptado de Schiavon, 2007

A lógica do controle apresentada no circuito da Figura 11, funciona da seguinte maneira: primeiramente o TL431 mantém uma tensão de 2,5 V na referência, assim através do divisor resistivo obtido através dos resistores de 2k2  $\Omega$  e 270  $\Omega$ , bem como do *trimpot* de 1 k $\Omega$ , regula-se a tensão que se deseja na saída, com estes resistores obtém-se uma tensão entre 22,80 V e 32,13 V, conforme segue:

$$V_{REF} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_0 \quad (23)$$

$$V_0 = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot V_{REF}$$

$$R_{trimpot} = 0$$

$$V_0 = \frac{270 + (2K2 + 0)}{270} \cdot 2,5 = 22,8 V$$

$$R_{trimpot} = 5 k\Omega$$

$$V_0 = \frac{270 + (2K2 + 1K)}{270} \cdot 2,5 = 32,13 V$$

Assim, quando a tensão na saída passa do valor estipulado, o TL431 irá consumir mais corrente em seu catodo, o que irá provocar um aumento na corrente no diodo do optoacoplador 4N25, diminuindo a tensão sobre o transistor acoplado ao mesmo (4N25), fazendo com que a tensão que vai ao pino de realimentação do 1M0380 diminua, reduzindo-se, assim, a razão cíclica.

E, quando a tensão na saída cai abaixo do nível correto, o catodo do TL431 irá deixar de demandar corrente, fazendo com que a corrente no diodo do optoacoplador diminua, o que irá provocar um aumento na tensão coletor emissor do transistor do optoacoplador, aumentando assim, a tensão na realimentação do 1M0380, fazendo com que a razão cíclica do mesmo aumente. Mantendo, assim, a

tensão na saída estável no valor desejado. Os capacitores do circuito funcionam como filtro para os ruídos.

### 3.1.3.7 Limitador de Corrente

O circuito limitador de corrente será analisado empregando a Figura 12:

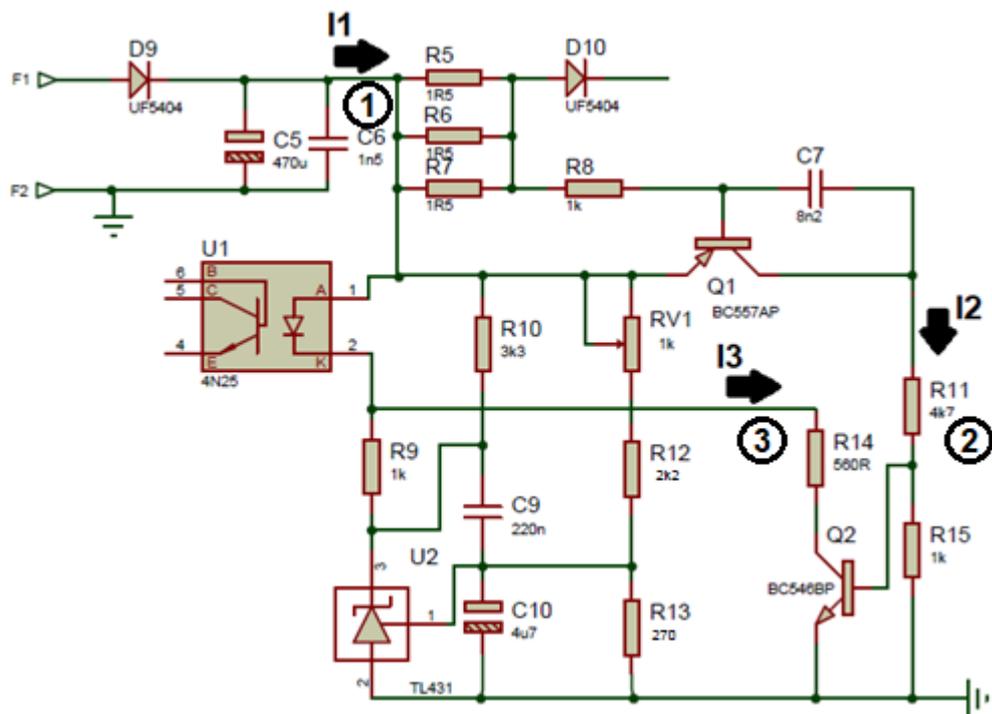


Figura 12 - Circuito do limitador de corrente

Fonte: Adaptado de Schiavon, 2007

Quando a corrente de saída, representada na Figura 12 por  $I_1$ , cresce, ela causa um aumento da tensão nos resistores em série com a saída, cuja associação em paralelo pode ser representada por um resistor de  $0,5 \Omega$ , assim, para correntes maiores que  $1 \text{ A}$ , essa associação passa a ter uma queda de tensão maior que  $0,5 \text{ V}$ , como pode-se notar em 1.

Com essa tensão, o transistor BC557 começa a conduzir, gerando uma pequena corrente,  $I_2$ , que irá polarizar o transistor BC546 em 2, gerando a corrente  $I_3$ , que irá aumentar a corrente no diodo do optoacoplador em 3.

Independentemente da ação de controle do TL431, que irá perder sua capacidade de compensar a queda de tensão que esta ação irá causar, a razão cíclica diminuirá, pois, aumentando a corrente no diodo do optoacoplador, a tensão no coletor-emissor de seu transistor irá reduzir, diminuindo a tensão no pino de realimentação do 1M0380, que irá provocar essa diminuição da razão cíclica.

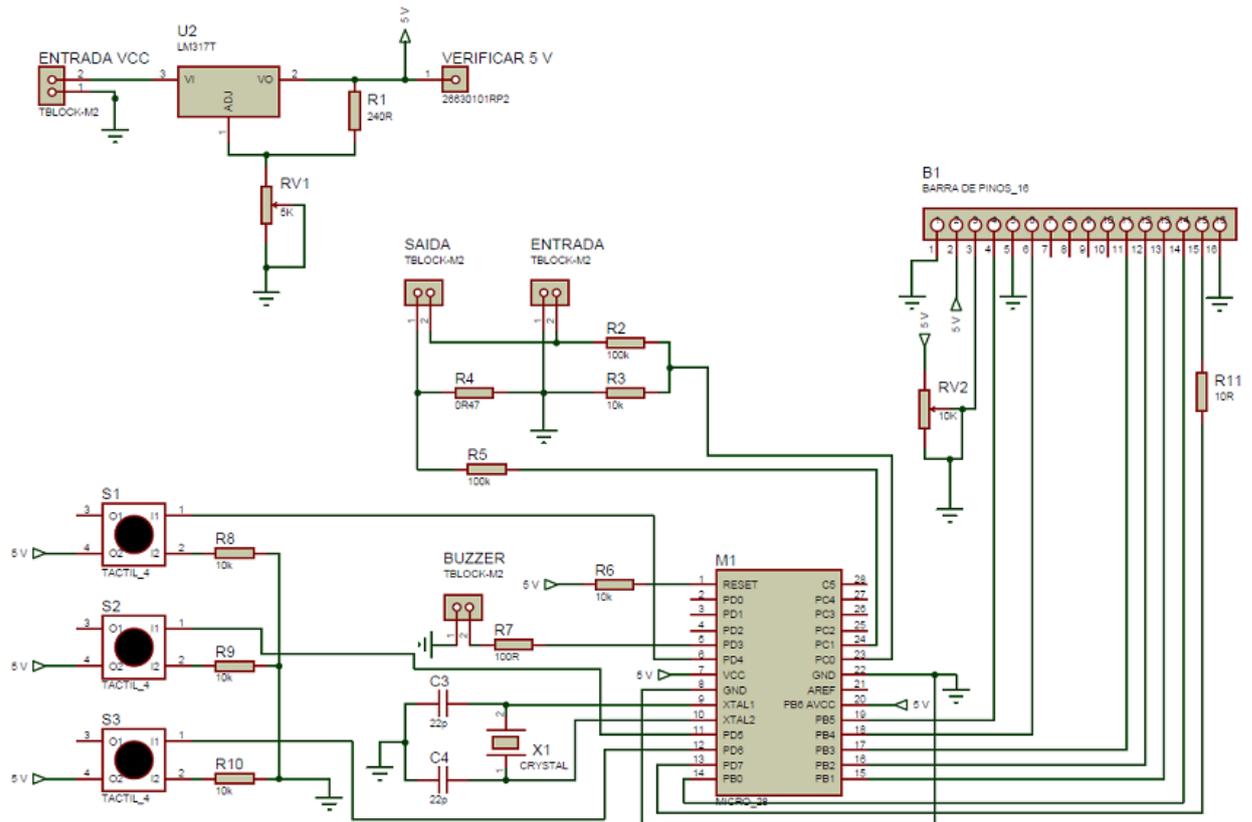
### 3.2 MONITOR DE CORRENTE E TENSÃO EM TEMPO REAL

Foi utilizado o circuito proposto por Renato (2011), tal circuito é projetado para medir a tensão de saída de 0-50 V com resolução de 100 mV e 0-10 A de corrente com resolução de 10 mA. Devido à calibração acionada através dos botões *setup*, *up* e *down* é possível calibrar o monitor eliminando as variações conhecidas como “erros”.

O monitor foi implementado através de um microcontrolador Atmel Atmega328 que possui conversores analógicos/digitais (ADC) embutidos (RENATO, 2011). A alimentação de tal circuito é adquirida diretamente da saída do carregador, para tanto, foi necessário baixar a tensão fazendo-se uso do LM317 garantindo a correta tensão recomendada pelo fabricante de até 5 V.

Os dados de tensão e corrente auferidos da saída do carregador de baterias, podem ser visualizados através do *display* 1602A retro iluminado, portanto, tais valores podem ser facilmente analisados (RENATO, 2011).

O monitor fornece boas e precisas leituras devido a calibração e ao uso de resistores de alta precisão (1%), dessa forma, com tal circuito é possível verificar o correto funcionamento ou não do carregador de baterias, permitindo com isso, que ocorra um perfeito processo de carga das mesmas, evitando-se recargas insuficientes o que reduz a sua capacidade e vida útil (LAZZARIN, 2006). O circuito completo do monitor pode ser observado na Figura 13.



**Figura 13 - Circuito completo do monitor**

Fonte: Adaptado de Renato, 2011

### 3.2.1 Procedimentos de Projeto

Para o projeto do monitor de corrente e tensão em tempo real, a sua estrutura foi dividida em duas partes: circuito de alimentação e circuito lógico e de potência.

### 3.2.2 Circuito de Alimentação

A alimentação do monitor de corrente e tensão, é composta por um circuito abaixador de tensão, que fornece aproximadamente 5 V em sua saída. Para se obter tal valor de saída fez-se o uso do circuito integrado LM317. A Figura 14 apresenta o circuito de alimentação.

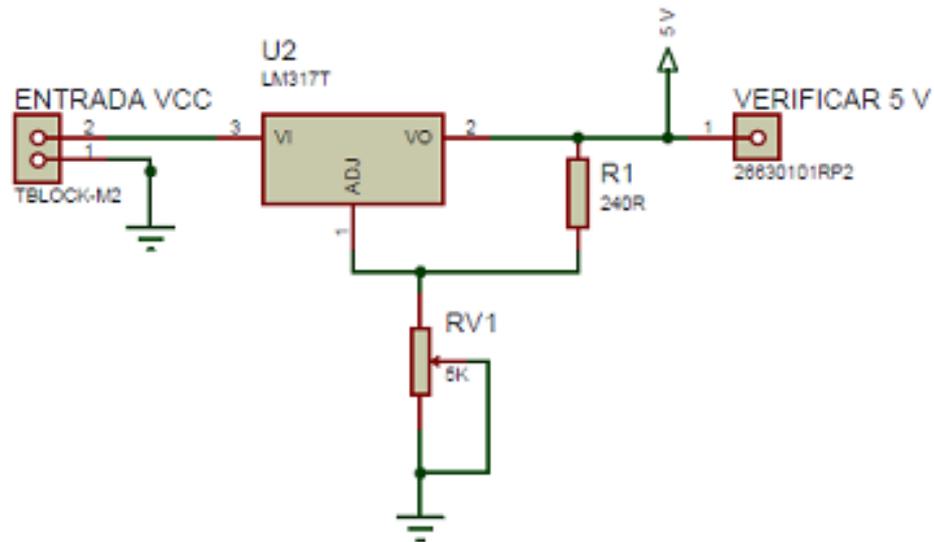


Figura 14 - Circuito de alimentação

Fonte: Autoria Própria

O LM317 é um circuito integrado do tipo TO-220 de 3 pinos regulador de tensão positiva ajustável e atua numa faixa de tensão que varia desde 1,25 V que é a tensão de seu zener interno até 37 V, sempre em corrente contínua (DATASHEETLM317, 2017).

O resistor  $R1$  e o potenciômetro  $RV1$  são os responsáveis por fazer o ajuste em toda a gama de tensão. A tensão de saída desejada de aproximadamente 5 V foi determinada usando a seguinte equação:

$$V_{OUT} = V_{REF} \left( 1 + \frac{RV1}{R1} \right) + I_{ADJ} RV1 \quad (24)$$

Onde  $V_{REF} = 1,25 V$ , que nada mais é do que a tensão de referência entre VO e ADJ

No entanto, a corrente  $I_{ADJ}$  é muito pequena (aproximadamente 100  $\mu A$ ) e constante. Assim, a queda de tensão em  $RV1$  devido a  $I_{ADJ}$  também é muito pequeno e pode ser negligenciado (DATASHEETLM317, 2017) de forma que a equação 24 possa ser escrita como:

$$V_{OUT} = 1,25 \left( 1 + \frac{RV1}{R1} \right)$$

Substituindo os respectivos valores do resistor e do potenciômetro na equação obtemos:

$$V_{OUT} = 1,25 \left( 1 + \frac{5000}{240} \right) = 27,29 \text{ V}$$

Isso significa que a gama de possíveis valores de tensões para o circuito projetado vai de 1,25 até 27,29 V. Assim, fazendo o correto ajuste do potenciômetro foi obtido aproximadamente 5 V.

Adotando  $V_{OUT} = 5 \text{ V}$  e isolando RV1 é possível verificar que o potenciômetro deve ficar ajustado com uma resistência de aproximadamente 720  $\Omega$ , o qual, corresponde a um percentual de 14,4% do potenciômetro.

### 3.2.3 Circuito Lógico e de Potência

A seguir, será apresentado o princípio de funcionamento bem como os principais componentes utilizados no circuito lógico e de potência.

#### 3.2.3.1 Microcontrolador Atmega328

O microcontrolador Atmega328 da Atmel Figura 15, foi o responsável por executar toda a lógica do circuito.

Tal microcontrolador é disposto de 8 bits da família AVR com arquitetura RISC avançada e com encapsulamento DIP28. Ele conta com 32 KB de Flash, 2 KB de RAM e 1 KB de EEPROM. Pode operar a até 20 MHz, possui pinos de entrada e saídas digitais, assim como pinos de entradas e saídas analógicas (ARDUINO, 2017).

Para rodar o projeto na placa com esse tipo de microcontrolador foi necessário como já explicado de uma fonte de alimentação de aproximadamente 5

V, de um cristal oscilador de 16 MHz e, claro associar os contatos do microcontrolador com as respectivas portas analógicas e digitais.

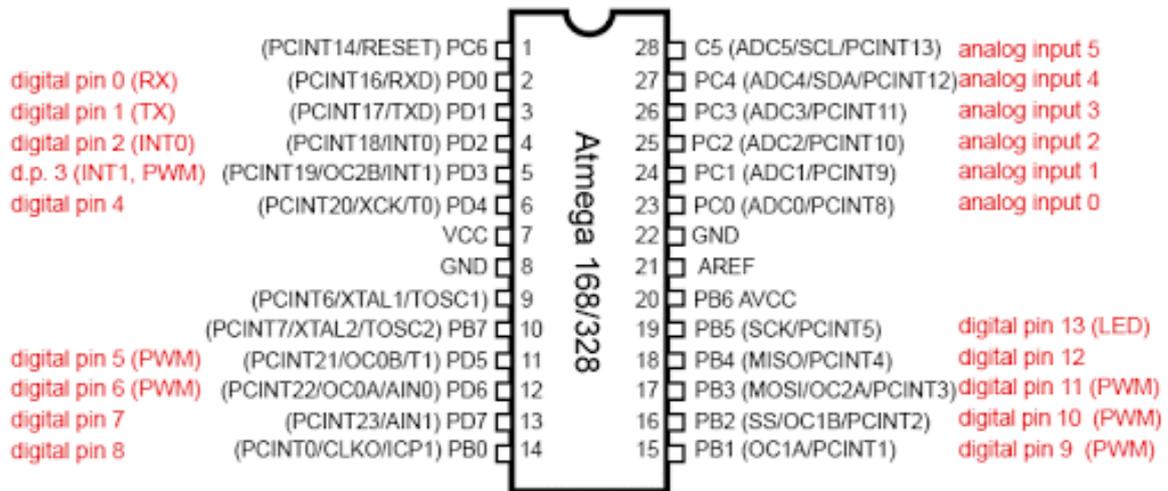


Figura 15 - Pinagem Atmega 328

Fonte: RENATO, 2011

Para tanto fez-se necessário utilizar a plataforma Arduino Uno. Essa plataforma consiste em uma placa de circuito impresso com as mesmas características que foram utilizadas no projeto, ou seja, um microcontrolador, um oscilador de 16 MHz e circuitos para retificação de tensão, a diferença é que a plataforma Arduino possui uma controladora USB.

Tal plataforma foi utilizada por facilitar a migração do microcontrolador para a placa de circuito impresso do monitor, pois basta gravar a programação no Arduino, remover o microcontrolador do Arduino e fixa-lo na placa com o uso de um soquete.

Os pinos que foram utilizados, correspondem aos pinos digitais e analógicos de entrada e saída do microcontrolador (RENATO, 2011). O Quadro 2 retrata a pinagem utilizada bem como a sua aplicação.

PINO	APLICAÇÃO
23	<i>Analógic input voltage</i>
24	<i>Analógic input current</i>
5	<i>Digital output buzzer</i>
6	<i>Digital input button down</i>
11	<i>Digital input button setup</i>
12	<i>Digital input button up</i>
13	<i>Digital output backlight</i>
14 a 19	<i>Digital output lcd</i>

**Quadro 2 - Pinos analógicos e digitais a serem utilizados**

**Fonte: Adaptado de RENATO, 2011**

De acordo com Renato (2011) os pinos 1 (RESET) e 7 (VCC) foram ligados na alimentação, que deve ser no máximo 5 V, já os pinos 8 e 22 (GND) foram ligados ao terra. Foi usado um cristal oscilador de 16 MHz associado aos pinos 9 (XTAL1) e 10 (XTAL2) respectivamente.

### 3.2.3.2 Uso das Portas Analógicas

Uma das etapas mais importantes na aquisição de dados para serem tratados a nível de *software* é a conversão analógica/digital. Esta conversão se dá pela aplicação do sinal analógico do transdutor na porta de entrada analógica de um conversor A/D. Este conversor transformará este sinal elétrico em um sinal discreto no tempo de acordo com o número de *bits* do conversor. Considerando um conversor A/D de  $n$  *bits*, o sinal de entrada analógico será amostrado pela frequência de amostragem definida no conversor e convertido em um valor binário de  $n$  *bits* que representará o valor lido na entrada. Levando em consideração um conversor A/D com faixa dinâmica de  $V^-$  a  $V^+$  volts e  $n$  *bits* de resolução, as saídas desse conversor podem variar de um a  $2^n$  valores. Isto significa que o conversor pode diferenciar  $2^n$  níveis diferentes de tensão e, portanto, a variação de tensão na entrada que será percebida pelo conversor se dá pela equação a seguir (CORSICO; GLIR, 2012):

$$V = \frac{V^+ - V^-}{2^n} \quad (25)$$

O microcontrolador Atmega 328 possui seis entradas/saídas analógicas com um conversor analógico-para-digital de 10 *bits*. Por padrão a referência do conversor AD está ligada internamente a 5 V, isso significa que, o pino analógico pode ler valores de tensão, entre 0 e 5 volts, usando valores inteiros entre 0 (0 V) e 1.023 (5 V) (SOUZA, 2013).

Pela aplicação da Equação 25 foi adotado  $n = 10$  (conversor de dez *bits*) e para  $V^+ - V^- = 5$  V, definido como faixa dinâmica do conversor

$$V = \frac{5}{2^{10}} = 0,00488 \text{ V}$$

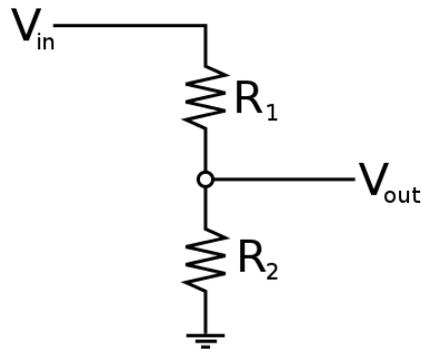
Isso representa uma resolução de 5 V / 1024 unidades, ou 0,0049 V (4,9 mV) por unidade, ou seja, a cada incremento de 4,9 mV na entrada do conversor será compreendido como um novo nível de tensão em sua saída (SOUZA, 2013).

### 3.2.3.2.1 Divisor de Tensão

As portas analógicas do microcontrolador Atmega 328 são limitadas a identificar tensões entre 0 e 5 V (aproximadamente), portanto, para identificar tensões em outras faixas, é necessário primeiro convertê-las para esse intervalo.

Uma das formas mais simples de converter, para tensões positivas, é usar a regra do divisor de tensão, um dos circuitos básicos mais usados em aplicações práticas.

Um divisor de tensão bem simples pode ser composto por 2 resistores (R1 e R2) conectados em série ao terra. A tensão de entrada  $V_{in}$  é conectada a R1, e o segundo terminal de R2 pode ser conectado ao terra, como pode ser observado na Figura 16.



**Figura 16 - Divisor de tensão**

**Fonte: Autoria Própria**

A tensão de saída  $V_{out}$  é obtida na conexão entre  $R_1$  e  $R_2$ , e é sempre uma fração de  $V_{in}$  proporcional à relação entre esses 2 resistores, (CAMPOS, 2015) com base na equação a seguir:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} \quad (26)$$

Isto é: a relação entre  $R_2$  e a soma de  $R_1$  e  $R_2$  comanda a relação entre a tensão de entrada e a de saída.

De acordo com Campos (2015), para se fazer o uso da Equação 26, foi necessário ter o conhecimento de dois critérios adicionais, a fim de selecionar os valores de resistores  $R_1$  e  $R_2$  para as medições de tensões positivas nas portas analógicas do microcontrolador.

1. Quanto maior a soma  $R_1 + R_2$ , menos o circuito de medição irá interferir nas propriedades sendo medidas.
2. O valor de  $V_{out}$  para a maior tensão  $V_{in}$  aceitável no circuito sendo medido deve ser  $\leq 5$  V, para evitar danos à porta analógica ou ao microcontrolador.

Para garantir o 1º critério, foi necessário utilizar um valor de  $R_1$  alto, para tanto, o resistor utilizado foi de 100 k $\Omega$ .

Para atender ao segundo critério, bastou-se resolver a Equação 26, contudo, para se obter uma maior segurança, foi estimado uma folga de 10%, com isso foi considerado que a maior tensão de entrada  $V_{in}$  aceitável seria de 55 V. Sabendo que o valor de  $R_1$  é 100 k $\Omega$ , e que a tensão de saída  $V_{out}$  foi considerada no cálculo

a do limite do microcontrolador, ou seja, 5 V, o cálculo de R2 ficou da seguinte maneira:

$$5 = 55 \cdot \frac{R_2}{(100 \text{ k} + R_2)}$$

$$\frac{5}{55} = \frac{R_2}{(100 \text{ k} + R_2)}$$

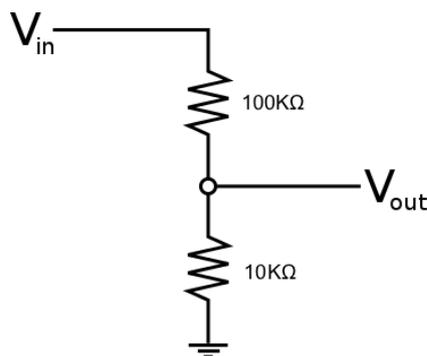
$$55 \cdot R_2 = 500 \text{ k} + 5 \cdot R_2$$

$$50 \cdot R_2 = 500 \text{ k}$$

$$R_2 = \frac{500 \text{ k}}{50}$$

$$R_2 = 10 \text{ k}\Omega$$

A partir do valor obtido com a aplicação da Equação 26, o circuito ficou de acordo com a Figura 17.



**Figura 17 - Divisor de tensão com os respectivos valores dos resistores**  
**Fonte: Autoria Própria**

Pelo cálculo e análises feitos, foi compreendido que qualquer  $V_{in}$  entre 0 V e 55 V vai corresponder a um  $V_{out}$  entre 0 V e 5 V, ou seja, dentro da faixa das portas analógicas do microcontrolador Atmega 328 (CAMPOS, 2015).

### 3.2.3.2.2 Resistor *Shunt*

Para o monitoramento da corrente foi escolhido um resistor *shunt*, o qual é uma resistência de valor baixo, para não atrapalhar a medida, e capaz de suportar correntes de dezenas de ampères. O *shunt* sofre uma queda de tensão entre seus terminais de acordo com a corrente que circula sobre ele, de acordo com a lei de Ohm, (CORSICO; GLIR, 2012) descrita pela equação:

$$V = R.I \quad (27)$$

Onde  $V$  é a diferença de potencial sobre o resistor dada em volts,  $R$  sua resistência dada em ohms ( $\Omega$ ) e  $I$  a corrente que o atravessa dada em ampère (A).

O *shunt* foi escolhido de forma a suportar até 10 A de corrente e fornecer em seus terminais uma diferença de potencial de até 5 V para a referida corrente.

Dessa maneira, substituindo os valores o cálculo do resistor shunt ficou da seguinte maneira:

$$5 = R.10$$

$$R = \frac{5}{10}$$

$$R = 0,5 \Omega$$

Para o cálculo da potência foi utilizado os mesmos valores, resultando em:

$$P = I.U = 0,5.10$$

$$P = 5 W$$

Foi adotado o valor de 0,47  $\Omega$  / 5 W para tal resistor.

### 3.2.3.3 Calibração

O monitor de tensão e corrente pode ser calibrado de forma fácil utilizando-se os três botões táteis (*SETUP*, *UP* e *DOWN*). Para entrar no modo de configuração de calibração, é necessário pressionar e segurar o botão *SETUP* por dois segundos até que a mensagem "*Setup Mode*" seja exibida no visor LCD confirmando por um segundo bip (ELETRONICS-DIY, 2017).

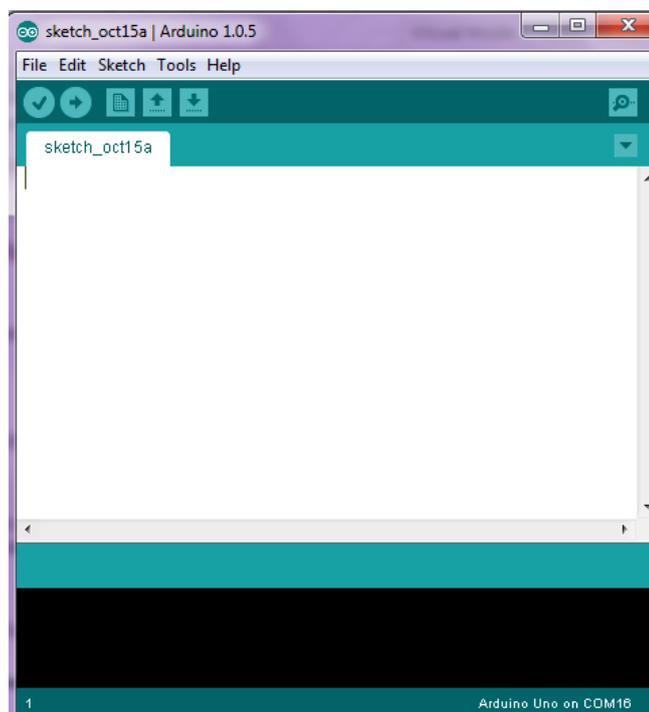
Após a mensagem "*Setup Mode*" desaparecer, é então possível ser feito a calibração das leituras de tensão e da leitura de corrente em tempo real que está sendo exibida no visor. A calibração começa pela tensão, portanto, foi conectado o multímetro em paralelo com a saída para se ter o valor de tensão base, ou seja, foi feito uma comparação entre os valores de tensão do monitor com os valores do multímetro. Usando os botões *UP* e *DOWN* é possível aumentar e diminuir a calibração respectivamente acompanhado por um bip cada vez que um dos botões é pressionado (ELETRONICS-DIY, 2017).

Logo após de se calibrar a tensão, é pressionado o botão *SETUP* novamente para começar a calibrar as leituras de corrente. Nesse momento o multímetro deve ser reajustado para medir corrente e ligado em serie com a carga da saída, mais uma vez será feito uma comparação dos valores de corrente obtidos e utilizando-se dos botões *UP* e *DOWN* aumentar ou diminuir respectivamente a calibração (ELETRONICS-DIY, 2017).

Para terminar a calibração, pressiona-se novamente o botão *SETUP* e as configurações de calibração serão salvas na memória EEPROM não-volátil do microcontrolador Atmega 328. O processo de calibração está agora concluído. A memória EEPROM é mantida mesmo que a fonte de alimentação esteja desconectada. A calibração só precisa ser realizada uma vez. Se necessário alterar novamente as configurações de calibração, pode-se repetir as etapas de calibração quantas vezes forem necessárias (ELETRONICS-DIY, 2017).

### 3.2.3.4 IDE do Arduino

Para que se possa programar o microcontrolador Atmega 328, é necessário a utilização do IDE (*Integrated Development Environment*) do Arduino, ou seja, um ambiente integrado para desenvolvimento de software. O IDE do Arduino é um software livre no qual você escreve o código na linguagem que o microcontrolador compreende (baseado na linguagem C). O IDE permite que se escreva um programa de computador, que é um conjunto de instruções passo a passo, das quais pode-se fazer o upload para o microcontrolador com o uso de um Arduino como já mencionado anteriormente. Após isso, o microcontrolador executará essas instruções interagindo com os componentes a ele conectados (MCROBERTS, 2011). A Figura 16 mostra a interface do IDE do Arduino.



**Figura 18 - IDE Arduino**  
**Fonte: CIRCUIT BASICS, 2017**

Como o hardware e o software do Arduino são de fonte aberta, a tecnologia pode ser usada livremente por qualquer pessoa e com qualquer propósito. Sendo assim inúmeras placas-clone de circuito impresso são encontradas no mercado na maioria das vezes com preços muito mais baixos do que a placa original Arduino. Essas placas genéricas interagem perfeitamente com o IDE do Arduino e são permitidas por lei, podendo atender as necessidades do desenvolvedor sem problema algum (SIQUEIRA, 2014).

## 4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentadas as formas de ondas dos testes realizados analisando a saída do carregador. Tais testes foram feitos adotando-se o carregador como uma fonte CA/CC e na sequência inserindo e carregando as eventuais baterias de 12 V em série.

São apresentados também imagens referente ao protótipo final do projeto, bem como o funcionamento na prática do monitor de corrente e tensão em tempo real.

### 4.1 Protótipo Final do Projeto

Na Figura 19 tem-se o protótipo final do projeto, contendo todo o circuito responsável pelo carregamento das baterias juntamente com o circuito monitor de tensão e corrente.

Basicamente a estrutura externa do protótipo é composta pelos terminais de entrada e saída dispostos a frente, o terminal de alimentação vinda da rede que fica localizado na parte de trás juntamente com um *cooler* responsável por fazer a refrigeração de todo o circuito interno.

Na parte superior (tampa) tem-se a chave gangorra de duas posições para ligar e desligar o circuito e logo a cima um *led* que quando ligado indica o funcionamento do carregador. Foi adicionado uma segunda chave gangorra só que de 3 posições para ser feito o chaveamento da entrada e saída da seguinte forma:

1. Chave para cima: O monitor faz a leitura da tensão e corrente que sai do carregador e o direciona para a saída.
2. Chave na posição meio: Não faz nenhuma leitura conseqüentemente não terá nada na saída, o sistema apenas permanece ligado.
3. Chave para baixo: O monitor irá fazer a leitura da tensão e corrente do que for inserido na sua entrada, ou seja, funcionará como um multímetro mostrando ambos os valores no *display*. Nesta opção o circuito do carregador estará apenas fazendo a alimentação do monitor.

Ainda na parte superior disposto de forma que facilite o acesso visual tem-se o display 16x2 com luz de fundo responsável por indicar de forma fácil para o usuário os valores de tensão e corrente.



**Figura 19 - Protótipo final do projeto**

**Fonte: Autoria Própria**

A Figura 20 mostra a imagem 3D da placa de circuito impresso referente ao circuito do carregador que foi implementado na prática.

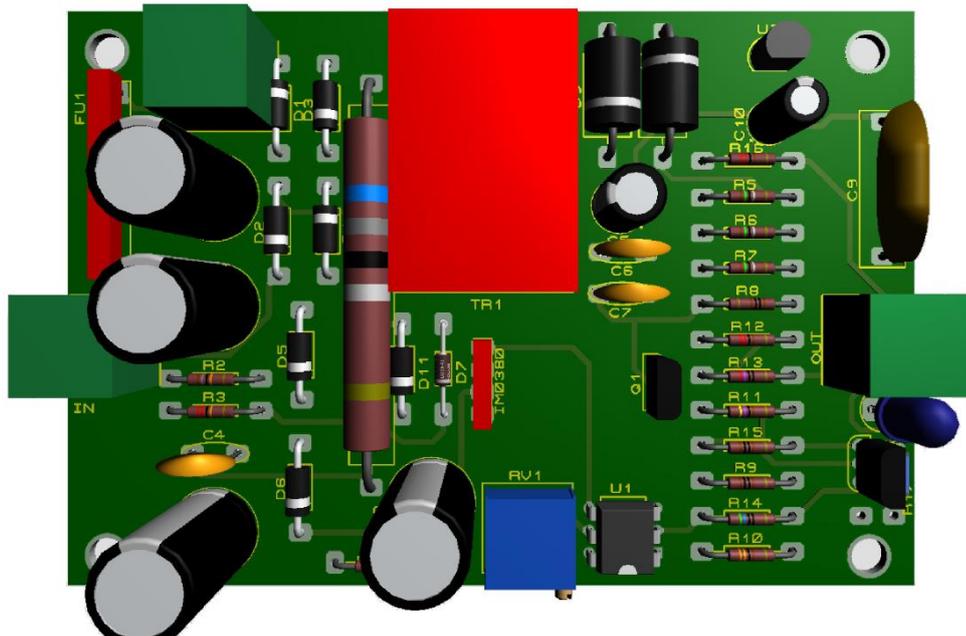


Figura 20 - 3D da placa de circuito impresso do carregador

Fonte: Autoria Própria

A Figura 21 mostra a imagem 3D da placa de circuito impresso referente ao circuito do monitor de tensão e corrente em tempo real que foi implementado na prática.

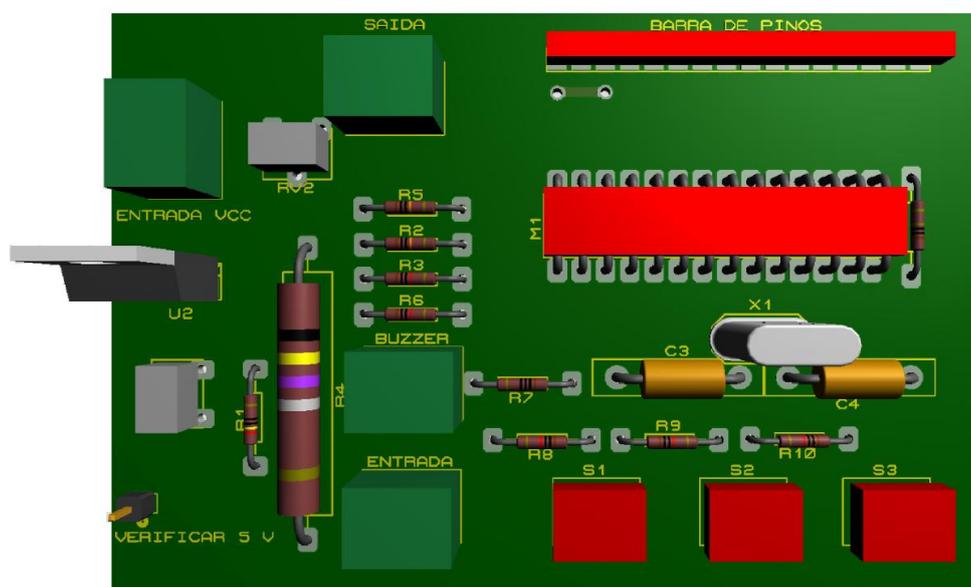
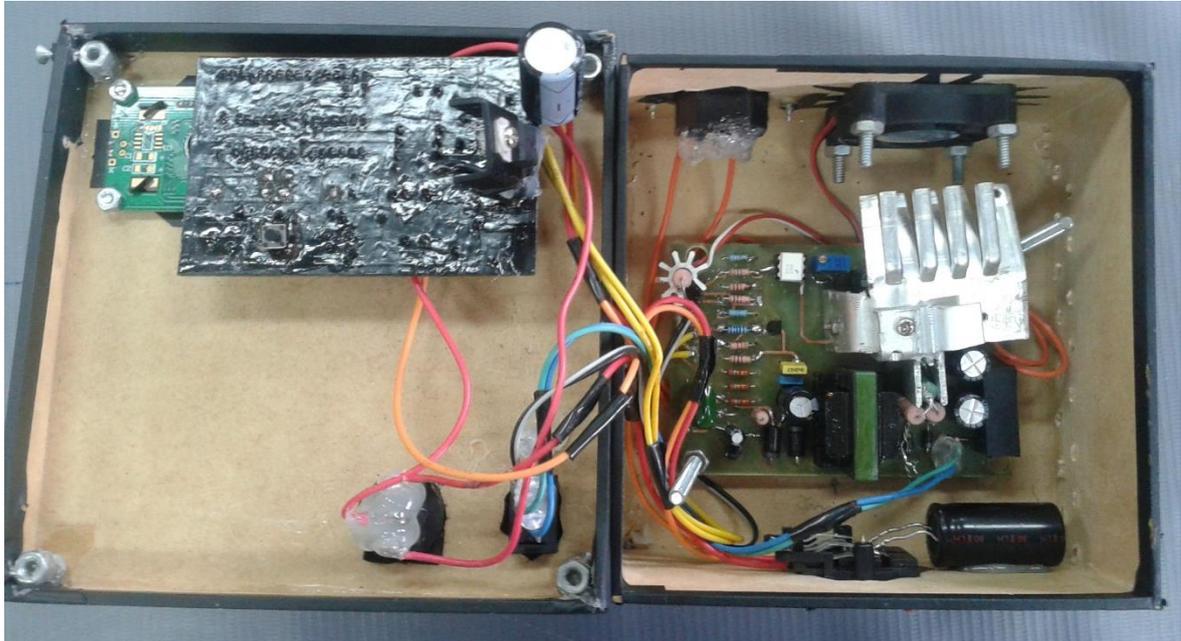


Figura 21 - 3D da placa de circuito impresso do monitor

Fonte: Autoria Própria

A Figura 22 mostra a imagem do circuito interno do protótipo final do projeto.



**Figura 22 - Circuito interno do protótipo**

**Fonte: Autoria Própria**

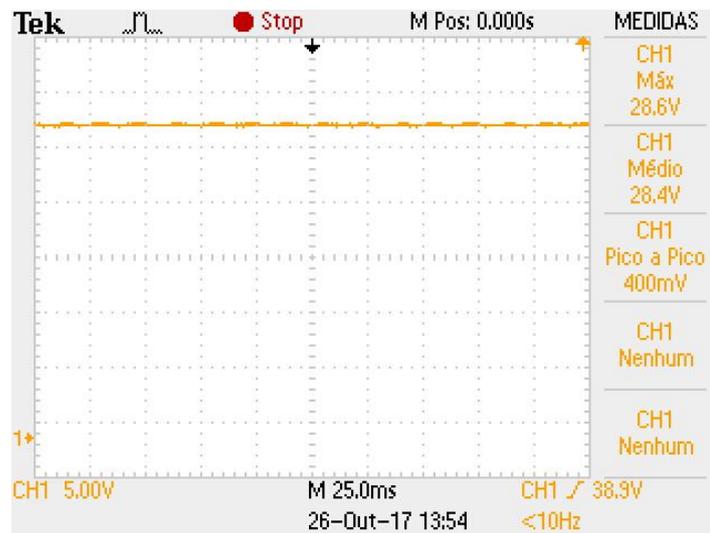
#### 4.2 Carregador Sendo Analisado Como Uma Fonte

Abaixo são apresentados os testes bem como os resultados referente a análise do carregador como uma fonte. Os testes aqui apresentados foram realizados com uma tensão máxima de até 180 Vca na entrada e uma corrente de até 400 mA na saída. Os resultados obtidos foram extraídos da saída do mesmo utilizando-se do osciloscópio e de uma carga resistiva variável.

#### 4.2.1 Formas de Onda

As formas de onda da tensão de saída foram extraídas com o carregador sendo alimentado com a tensão da rede de aproximadamente 127 Vca, calibrou-se então, a tensão de saída medindo-a através de um multímetro, obtendo uma tensão de cerca de 28,5 V.

A Figura 23 apresenta a forma de onda da tensão de saída do carregador com uma carga fixa de 560  $\Omega$  afim de se obter a uma corrente de 50 mA. Tal forma de onda pode ser observada a seguir:



**Figura 23 - Forma de onda da saída do carregador para com uma carga de 560  $\Omega$  e corrente de 50 mA**

**Fonte: Autoria Própria**

A Figura 24 apresenta a forma de onda da tensão de saída do carregador com uma carga fixa de 280  $\Omega$  afim de se obter a uma corrente de 100 mA. Tal forma de onda pode ser observada a seguir:



**Figura 24 - Forma de onda da saída do carregador para com uma carga de 280  $\Omega$  e corrente de 100 mA**

**Fonte: Autoria Própria**

A Figura 25 apresenta a forma de onda da tensão de saída do carregador com uma carga fixa de 93  $\Omega$  afim de se obter a uma corrente de 300 mA. Tal forma de onda pode ser observada a seguir:



**Figura 25 - Forma de onda da saída do carregador para com uma carga de 93  $\Omega$  e corrente de 300 mA**

**Fonte: Autoria Própria**

A Figura 26 apresenta a forma de onda da tensão de saída do carregador com uma carga fixa de  $68 \Omega$  afim de se obter a uma corrente de 400 mA. Tal forma de onda pode ser observada a seguir:



**Figura 26 - Forma de onda da saída do carregador para com uma carga de  $68 \Omega$  e corrente de 400 mA**

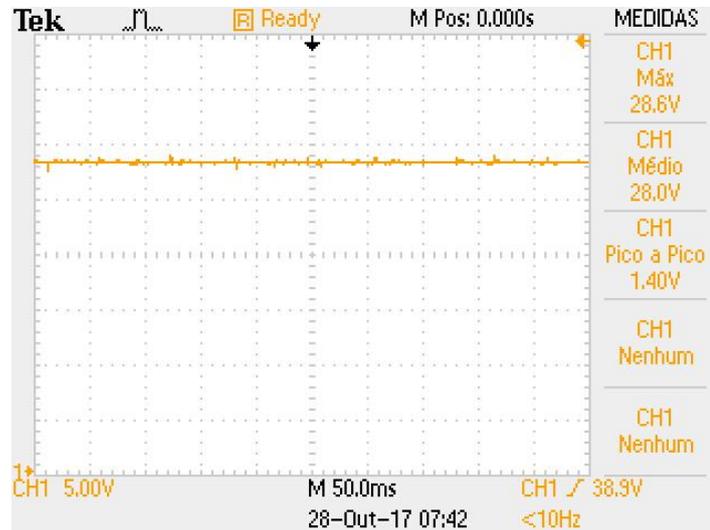
**Fonte: Autoria Própria**

É observado uma pequena queda de tensão conforme vai aumentando a corrente na saída.

#### 4.1.2 Regulação Estática

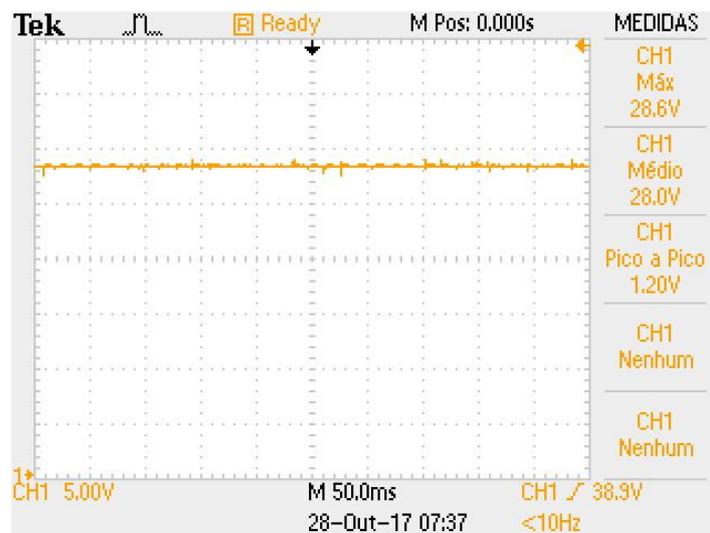
No teste de regulação estática, a tensão de alimentação do carregador foi variada através de um variac e calibrada medindo-a através de um multímetro, obtendo as tensões de: 100 Vca, 127 Vca, 150 Vca e 180 Vca. A tensão de saída do carregador também foi calibrada por um multímetro e estabelecido a faixa de tensão de 28 V. Para esse teste foi mantido na saída uma corrente de 50 mA como *pré-load*.

A Figura 27 apresenta a forma de onda da tensão de saída do carregador dado que o mesmo está sendo alimentado por uma tensão de entrada de 100 Vca.



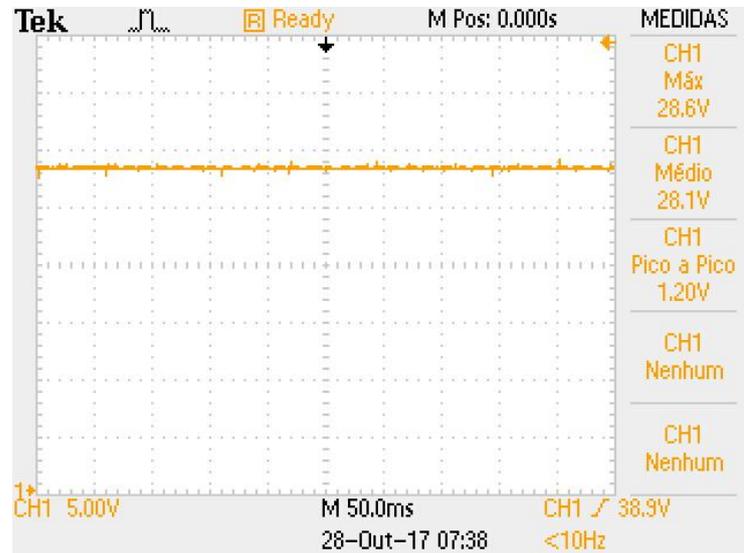
**Figura 27 - Forma de onda da saída do carregador durante uma tensão de entrada de 100 Vca**  
**Fonte: Autoria Própria**

A Figura 28 apresenta a forma de onda da tensão de saída do carregador dado que o mesmo está sendo alimentado por uma tensão de entrada de 127 Vca.



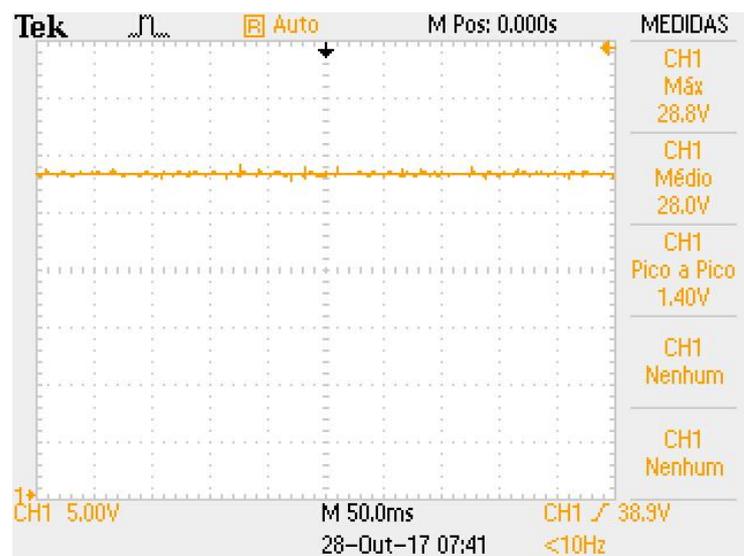
**Figura 28 - Forma de onda da saída do carregador durante uma tensão de entrada de 127 Vca**  
**Fonte: Autoria Própria**

A Figura 29 apresenta a forma de onda da tensão de saída do carregador dado que o mesmo está sendo alimentado por uma tensão de entrada de 150 Vca.



**Figura 29 - Forma de onda da saída do carregador durante uma tensão de entrada de 150 Vca**  
Fonte: Autoria Própria

A Figura 30 apresenta a forma de onda da tensão de saída do carregador dado que o mesmo está sendo alimentado por uma tensão de entrada de 180 Vca.



**Figura 30 - Forma de onda da saída do carregador durante uma tensão de entrada de 180 Vca**  
Fonte: Autoria Própria

É observável que não houve notórias alterações nas formas de onda, o que quer dizer que, ainda que a tensão de entrada (rede concessionária) varie de 100 Vca a 180 Vca a tensão de saída estará estabilizada dentro da faixa desejada de 28 V.

A regulação ocorre devido ao funcionamento do controle em malha fechada, tal efeito protege as baterias quanto à variação de tensão da rede da concessionária.

#### 4.2.3 Tempo de Estabilização Estática

De acordo com a Figura 31, o tempo de estabelecimento o qual a tensão se encontra definitivamente dentro da margem do valor final desejado de 28 V é de aproximadamente 2 s.

Para esse teste foi mantido na saída uma corrente de 50 mA como *pré-load*.

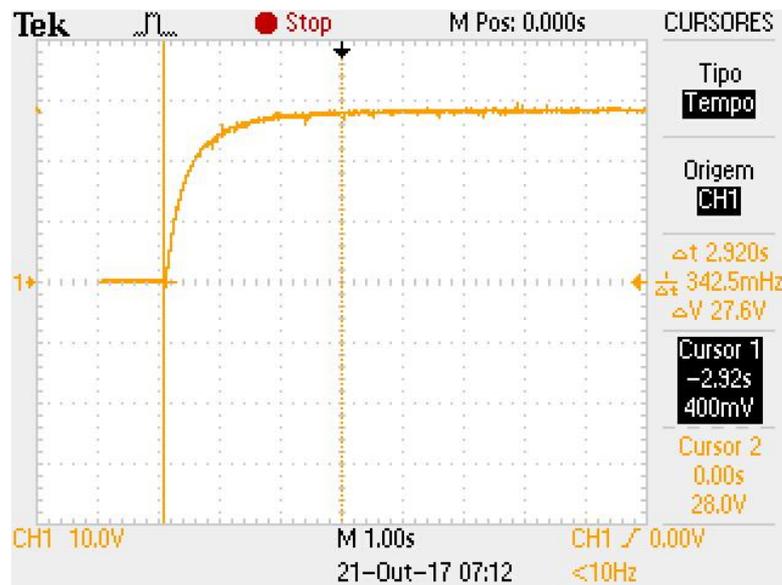


Figura 31 - Tempo de estabilização de partida

Fonte: Autoria Própria

O sistema implementado não apresentou *overshoot* o que quer dizer que a tensão de saída não passou do limite de 28 V e com isso não gerou picos de tensão, preservando as baterias, comprovando a eficácia do circuito de controle.

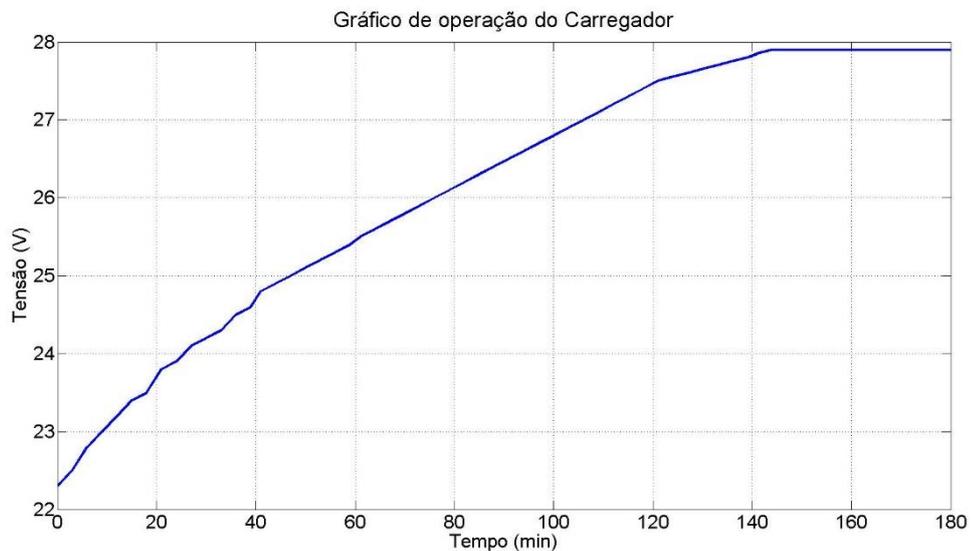
### 4.3 Carga das Baterias

O Gráfico 1 representa a curva de carga obtida durante o processo de carga das duas baterias 12 V / 3,3 Ah em série.

Inicialmente as baterias apresentavam uma tensão interna de aproximadamente 22,3 Vcc. Ao iniciar o processo de carga foi observado que a corrente requerida para carregar tais baterias era em torno de 340 mA o que com o passar do tempo foi diminuindo de modo que as baterias ganhavam carga.

De acordo com o gráfico as baterias estavam carregadas após um tempo de aproximadamente 140 minutos fixando uma tensão de 27,9 Vcc e uma baixa corrente de manutenção, menor que 50 mA.

Tais valores são satisfatórios dado que tais baterias só serão utilizadas caso ocorra uma interrupção no fornecimento de energia, caso contrário elas estarão sempre sendo carregadas sem dano algum para as mesmas.



**Gráfico 1 - Curva de carga**

**Fonte: Autoria Própria**

#### 4.4 Funcionamento do Monitor de Tensão e Corrente em Tempo Real em Comparação com o Multímetro

Analisando a Figura 32 pode-se observar o correto funcionamento do monitor em tempo real se comparado aos dois multímetros digitais (direita tensão e esquerda corrente).

Nesse teste foi inserido uma carga de aproximadamente  $95 \Omega$  na saída do protótipo em funcionamento, e ao mesmo tempo foram feitas as comparações dos respectivos valores tanto do monitor quanto dos multímetros, como pode ser visto na imagem abaixo, podendo ser verificado que o erro é muito pequeno o que o torna desprezível.



**Figura 32 - Comparação de operação do monitor em tempo real com o multímetro para corrente e tensão**

**Fonte: Autoria Própria**

## 5 CONCLUSÃO

Deste modo, pode-se concluir que o conversor *flyback* foi projetado para fornecer à saída uma tensão de aproximadamente 28 V, para carregar as baterias, contando ainda com uma proteção contra curto circuito, pois baterias com baixa carga ou descarregadas possuem valores de tensão bem abaixo do valor nominal da saída do circuito e possuem ainda grande capacidade de absorver corrente, o que poderia ser muito prejudicial a um circuito sem tal proteção.

Para o controle utilizou-se um integrado dedicado ao controle de conversores *forward* e *flyback*, para o transformador, utilizou-se um núcleo EE 30/15/7 com 50 espiras de fio 26 AWG no primário, 12 espiras com dois fios 24 AWG e 6 espiras de fio 25 AWG no terciário, que alimenta o circuito integrado 1M0380. Para o capacitor utilizou-se um de 470  $\mu\text{F}$ , sendo o mesmo mais que suficiente para a implementação realizada.

Sobre o monitor de corrente e tensão em tempo real pode-se concluir que o mesmo foi projetado para medir tensões de 0-50 V com resolução de 100 mV e 0-10 A de corrente com resolução de 10 mA. Graças à calibração acionada através dos botões *setup*, *up* e *down* foi possível calibrar o monitor eliminando as variações conhecidas como “erros”.

O monitor foi implementado através de um microcontrolador Atmel Atmega328 que possui conversores analógicos/digitais (ADC) embutidos. Para a alimentação de tal circuito faz-se uso do LM317 garantindo a correta tensão de até 5 V recomendada pelo fabricante.

Os dados de tensão e corrente, podem ser visualizados através do *display* 1602A retro iluminado, podendo ser facilmente analisados.

Dessa forma, tem-se que o projeto teve o resultado esperado, apresentando o correto carregamento do banco de baterias, proporcionando uma recarga suficiente com níveis apropriados de tensão e corrente evitando com isso variações na temperatura de operação, descargas profundas e problemas de sulfatação.

Além disso, o circuito *flyback* foi implementado em uma placa única, o que proporcionará uma montagem modular do projeto completo do *nobreak* futuramente.

## REFERÊNCIAS

ARDUINO. **What is arduino?** 2017. Disponível em <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 13 set 2017.

BOCCHI, Nerilso; FERRACIN, Luiz Carlos; BIAGGIO, Sonia Regina. **Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental.** Química Nova na Escola, v. 11, n. 3, 2000. Disponível em: <<http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc11/v11a01.pdf>>. Acesso em: 28 set 2016.

BONA, Daniel Dezan; GARCIA, Luís Fernando; FULLGRAF, Roberto Philippi. **Projeto de Fonte Chaveada com Conversor Flyback.** 2010. Disponível em: <[http://www.professorpetry.com.br/Bases\\_Dados/Relatorios\\_Alunos/Fonte%20Flyback\\_Relatorio\\_Dezan.pdf](http://www.professorpetry.com.br/Bases_Dados/Relatorios_Alunos/Fonte%20Flyback_Relatorio_Dezan.pdf)> Acesso em: 26 out 2016.

CAMPOS, Augusto. **Do LED ao Arduino: aprendendo eletrônica no século 21.** 2015. Disponível em: <<https://br-arduino.org/2015/06/voltmetro-com-arduino-como-montar-programa-r-e-calibrar.html>>. Acesso em: 30 set 2017.

CIRCUIT BASICS. **Getting Started With The Arduino – Installing The Ide.**2017. Disponível em: < <http://www.circuitbasics.com/arduino-basics-installing-software/>>. Acesso em: 14 set 2017.

COELHO, Kefas Damazio et al. **Estudo de uma fonte ininterrupta de corrente contínua de baixa potência gerenciada por um microcontrolador.** 2001. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/81657/PEEL0670D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 28 set 2016.

CORSICO, Cesar Augusto; GLIR, Guilherme Hatschbach. **Medidor de Potência Elétrica.** 2012. Disponível em: < [http://www.eletr.ufpr.br/marlio/te149/exemplo\\_relatorio.pdf](http://www.eletr.ufpr.br/marlio/te149/exemplo_relatorio.pdf)>. Acesso em: 19 set 2017

CUNHA, Livia. **Ups qualidade de energia**. 2009. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/edicoes/120-ups-qualidade-deenergia.html>>. Acesso em: 02 set 2016.

DATASHEET1M0380. Disponível em: <[html.alldatasheet.com/html-pdf/FAIRCHILD/KA1M0380RB.html](http://html.alldatasheet.com/html-pdf/FAIRCHILD/KA1M0380RB.html)>. Acesso em: 22 set 2016.

DATASHEET EE30/15/7. Disponível em: <<http://www.thornton.com.br/produtos/nee.htm>>. Acesso em: 19 jul 2017.

DATASHEETLM317. Disponível em: <<http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet/texasinstruments/lm317.pdf>>. Acesso em: 12 set 2017.

DATASHEETTL431. Disponível em: <[html.alldatasheet.com/html-pdf/28811/TI/TL431/19/1/TL431.html](http://html.alldatasheet.com/html-pdf/28811/TI/TL431/19/1/TL431.html)>. Acesso em: 22 set 2016.

ELETRONICS-DIY. **Voltmeter Ammeter**. 2017. Disponível em: <[http://electronics-diy.com/70v\\_pic\\_voltmeter\\_amperemeter.php](http://electronics-diy.com/70v_pic_voltmeter_amperemeter.php)>. Acesso em: 03 jun 2017.

FERREIRA, Danton Diego. **Análise de Distúrbios Elétricos em Sistemas de Potência**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufrj.br/teses/textocompleto/2010121401.pdf>>. Acesso em: 02 set 2016.

LAZZARIN, Telles Brunelli et al. **Estudo e implementação de um carregador de baterias com uma técnica de avaliação de sua vida útil**. 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/103148/232187.pdf?sequencia=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 06 set 2016.

MCROBERTS, Michael. **Arduino Básico**. São Paulo: Novatec, 2011.

NORMA, A. B. N. T. NBR-15014. **Conversor a semicondutor–Sistema de alimentação de potência ininterrupta, com saída em corrente alternada (nobreak)–Terminologia**, 2003.

PEIXOTO, Rafael Lima. **Monitoramento da Descarga de Bateria com o uso de Microprocessador ARM**. 2012. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10005184.pdf>> Acesso em: 29 set 2016.

RENATO. **Volt-Amperímetro com Arduino**, 2011. Disponível em: <<http://repirando.blogspot.com.br/2011/01/volt-amperimetro-com-arduino-parte-1.html>>. Acesso em: 02 set 2016.

SCHIAVON, Gilson Junior. **No-Break 1,2 KVA, senoidal, operando em malha fechada: circuito de potência, circuito de controle analógico e circuito de controle digital com DSC**. 2007. Dissertação (Mestrado Engenharia Elétrica)- Universidade Estadual de Londrina, Londrina. Disponível-em: <<http://la2i.com/meel/gilson07nobreak.pdf>> . Acesso em: 27 ago 2016.

SIQUEIRA, Wallace Vilas Boas. **O microcontrolador Arduino como uma central de monitoramento de consumo de energia elétrica**. 2014. Disponível-em: <[http://www3.ifmg.edu.br/site\\_campi/v/TCCwallace.pdf](http://www3.ifmg.edu.br/site_campi/v/TCCwallace.pdf)> . Acesso em: 14 set 2017.

SOUZA, Fábio. **Arduino Uno** 2013. Disponível-em: < <https://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>> . Acesso em: 19 set 2017.

STA. **Manual das baterias recarregáveis, pilhas e carregadores**. Disponível em:<<http://www.sta-eletronica.com.br/resources/downloads/manual.pdf>> Acesso em: 02 out 2016

## APÊNDICES

### APÊNDICE A - Programação do Microcontrolador

Fonte: Adaptado de Renato,2011

```
//CÓDIGO MONITOR DE CORRENTE E TENÇÃO EM TEMPO REAL.
//pins
const int PIN_BACKLIGHT = 7;
const int PIN_BUZZER = 3;
const int PIN_VOLTAGE = A0;
const int PIN_CURRENT = A1;
const int PIN_BUTTON_UP = 6;
const int PIN_BUTTON_SETUP = 5;
const int PIN_BUTTON_DOWN = 4;

// includes
#include <LiquidCrystal.h>
#include <EEPROM.h>

//Define os pinos que serão utilizados para ligação ao display
LiquidCrystal lcd(13, 12, 11, 10, 9, 8);

//Variaveis

//Tensão
int VOLTAGE_CURRENT;
int VOLTAGE_LAST=99999;
unsigned long VOLTAGE_MILLIS;
float VOLTAGE_CALCULATED;
float VOLTAGE_MAP = 50; //Map da tensão padrão

//corrente
int CURRENT_CURRENT;
int CURRENT_LAST=99999;
unsigned long CURRENT_MILLIS;
float CURRENT_CALCULATED;
```

```
float CURRENT_MAP = 2; //Map da corrente padrão

//botão
boolean BUTTON_PRESSED = false;
unsigned long BUTTON_MILLIS = false;
byte BUTTON_LAST;
boolean SETUP_MODE = false;
byte SETUP_ITEM;
boolean SETUP_DELAYBEEP;
//...
unsigned long MILLIS;
unsigned long SETUP_BLINKMILLIS;
boolean SETUP_BLINKSTATE;

//parametros
const int SENSOR_INTERVAL = 500;
const int BUTTON_HOLDTIME = 2000;
const int SETUP_MAXITEMS = 2;
const int SETUP_BLINKINTERVAL = 300;
const byte EEPROM_VALIDATOR = 73; //Número randomico
const float VOLTAGE_STEP = 0.1;
const float CURRENT_STEP = 0.1;

//configuração
const byte EEPROM_CONFIGADDRESS = 0;

struct config_t
{
    byte Validator;

    float VOLTAGE_MAP;
    float CURRENT_MAP;

    byte ValidatorX2;
} EEPROM_DATA;

void setup() {
    //Configuração dos pinos
    pinMode(PIN_BACKLIGHT, OUTPUT);
    pinMode(PIN_BUZZER, OUTPUT);
```

```
pinMode(PIN_VOLTAGE, INPUT);
pinMode(PIN_CURRENT, INPUT);
pinMode(PIN_BUTTON_UP, INPUT);
pinMode(PIN_BUTTON_SETUP, INPUT);
pinMode(PIN_BUTTON_DOWN, INPUT);

//Define o número de colunas e linhas do LCD
lcd.begin(16, 2);

//Mensagem Inicial
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Igor Ransolin");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("TCC 2 ");

//Acender luz LCD
digitalWrite(PIN_BACKLIGHT, HIGH);

//Carregar a configuração
loadConfiguration();

//Tempo da mensagem inicial, em seguida limpa o LCD e soa um sinal
delay(2000);
lcd.clear();
showLabels();

//beep
beepStart();
}

void loop() {
  processButtons();
  MILLIS = millis();
  if ( (MILLIS - VOLTAGE_MILLIS) >= SENSOR_INTERVAL ){
    readVoltage();

    if (!SETUP_MODE || SETUP_ITEM!=1) {
      showVoltage();
    }
  }
  VOLTAGE_MILLIS = MILLIS;
}
```

```
}

if ( (MILLIS - CURRENT_MILLIS) >= SENSOR_INTERVAL ){
  readCurrent();

  if (!SETUP_MODE || SETUP_ITEM!=2) {
    showCURRENT();
  }
  CURRENT_MILLIS = MILLIS;
}

if (SETUP_MODE) {
  if ( (MILLIS - SETUP_BLINKMILLIS) >= SETUP_BLINKINTERVAL ){

    if (SETUP_BLINKSTATE){
      if (SETUP_ITEM==1)
        showVoltage();

      else if (SETUP_ITEM==2)
        showCURRENT();

      SETUP_BLINKSTATE = false;
    }
    else {
      if (SETUP_ITEM==1)
        hideVoltage();

      else if (SETUP_ITEM==2)
        hideCURRENT();

      SETUP_BLINKSTATE = true;
    }
    SETUP_BLINKMILLIS = MILLIS;
  }
}

void processButtons(){
  if (digitalRead(PIN_BUTTON_UP) == HIGH){
```

```

if (!BUTTON_PRESSED){
  BUTTON_LAST = PIN_BUTTON_UP;
  BUTTON_PRESSED = true;
}
}
else if (digitalRead(PIN_BUTTON_SETUP) == HIGH){

if (!BUTTON_PRESSED){
  beepButton();
  BUTTON_LAST = PIN_BUTTON_SETUP;
  BUTTON_MILLIS = millis();
  BUTTON_PRESSED = true;
  SETUP_DELAYBEEP = false;
}
else {
  if ((millis() - BUTTON_MILLIS) > BUTTON_HOLDTIME)
    if (!SETUP_DELAYBEEP){
      beepButton();
      SETUP_DELAYBEEP = true;
    }
}
}
else if (digitalRead(PIN_BUTTON_DOWN) == HIGH){
  if (!BUTTON_PRESSED){
    BUTTON_LAST = PIN_BUTTON_DOWN;
    BUTTON_PRESSED = true;
  }
}
else {
  if (BUTTON_PRESSED) {
    if (BUTTON_LAST == PIN_BUTTON_SETUP){

      if (!SETUP_MODE && (millis() - BUTTON_MILLIS) > BUTTON_HOLDTIME) {
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(" Setup Mode ");
        SETUP_MODE = true;
        SETUP_ITEM = 1;
      }
      else {
        if (SETUP_ITEM == SETUP_MAXITEMS) {

```

```
    showLabels();
    SETUP_MODE = false;
    SETUP_ITEM = 0;
    saveConfiguration();
}
else {
    SETUP_ITEM++;
}
showVoltage();
showCURRENT();
}
}
else if (BUTTON_LAST == PIN_BUTTON_UP) {
    if (SETUP_MODE) {
        beepButton();

        if (SETUP_ITEM==1) { //Tensão
            VOLTAGE_MAP+=VOLTAGE_STEP;
            readVoltage();

        } else if (SETUP_ITEM==2) { //Corrente
            CURRENT_MAP+=CURRENT_STEP;
            readCurrent();

        }
    }
}
else if (BUTTON_LAST == PIN_BUTTON_DOWN) {

    if (SETUP_MODE) {
        beepButton();

        if (SETUP_ITEM==1) { //Tensão
            VOLTAGE_MAP-=VOLTAGE_STEP;
            readVoltage();

        } else if (SETUP_ITEM==2) { //Corrente
            CURRENT_MAP-=CURRENT_STEP;
            readCurrent();

        }
    }
}
```

```
    }  
  }  
  BUTTON_PRESSED = false;  
}  
}  
}  
  
void showLabels(){  
  lcd.setCursor(0, 1);  
  lcd.print("Volts   Amps");  
}  
  
void showVoltage(){  
  
  lcd.setCursor(0, 0);  
  lcd.print(VOLTAGE_CALCULATED, 2);  
  lcd.print(" V");  
  
  if (VOLTAGE_CALCULATED<10)  
    lcd.print(" ");  
}  
  
void hideVoltage(){  
  
  lcd.setCursor(0, 0);  
  lcd.print("   ");  
}  
  
void showCURRENT(){  
  
  lcd.setCursor(9, 0);  
  
  if (CURRENT_CALCULATED<10)  
    lcd.print(" ");  
  
  lcd.print(CURRENT_CALCULATED, 2);  
  lcd.print(" A");  
}  
  
void hideCURRENT(){
```

```
    lcd.setCursor(9, 0);
    lcd.print("    ");
}

void beepStart(){
  for (int i=0; i<300; i++) {
    digitalWrite(PIN_BUZZER, HIGH);
    delayMicroseconds(200);
    digitalWrite(PIN_BUZZER, LOW);
    delayMicroseconds(200);
  }
}

void beepButton(){
  for (int i=0; i<20; i++) {
    digitalWrite(PIN_BUZZER, HIGH);
    delayMicroseconds(700);
    digitalWrite(PIN_BUZZER, LOW);
    delayMicroseconds(700);
  }
}

void readVoltage(){
  VOLTAGE_CURRENT = analogRead(PIN_VOLTAGE);
  if ( VOLTAGE_CURRENT != VOLTAGE_LAST || SETUP_MODE ) {
    VOLTAGE_LAST = VOLTAGE_CURRENT;
    VOLTAGE_CALCULATED = fmap(VOLTAGE_CURRENT, 0, 1023, 0.0, VOLTAGE_MAP);
  }
}

void readCurrent(){
  CURRENT_CURRENT = analogRead(PIN_CURRENT);
  if ( CURRENT_CURRENT != CURRENT_LAST || SETUP_MODE ) {
    CURRENT_LAST = CURRENT_CURRENT;
    CURRENT_CALCULATED = fmap(CURRENT_CURRENT, 0, 1023, 0.0, CURRENT_MAP);
  }
}

float fmap(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max){
  return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}
```

```
}

```

```
int EEPROM_writeConf(){
    byte Address = EEPROM_CONFIGADDRESS;

    const byte* p = (const byte*)(const void*)&EEPROM_DATA;
    int i;
    for (i = 0; i < sizeof(EEPROM_DATA); i++)
        EEPROM.write(Address++, *p++);
    return i;
}

```

```
int EEPROM_readConf(){
    byte Address = EEPROM_CONFIGADDRESS;

    byte* p = (byte*)(void*)&EEPROM_DATA;
    int i;
    for (i = 0; i < sizeof(EEPROM_DATA); i++)
        *p++ = EEPROM.read(Address++);
    return i;
}

```

```
void loadConfiguration(){

    //Lê os dados da eeprom
    EEPROM_readConf();

    //Verificar validators
    if (EEPROM_DATA.Validator == EEPROM_VALIDATOR && EEPROM_DATA.ValidatorX2 ==
    EEPROM_VALIDATOR*2){

        //Copiar dados
        VOLTAGE_MAP = EEPROM_DATA.VOLTAGE_MAP;
        CURRENT_MAP = EEPROM_DATA.CURRENT_MAP;
    }
}

```

```
void saveConfiguration(){

```

```
if ( EEPROM_DATA.VOLTAGE_MAP != VOLTAGE_MAP || EEPROM_DATA.CURRENT_MAP !=  
CURRENT_MAP){  
  
    //Copiar validators  
    EEPROM_DATA.Validator = EEPROM_VALIDATOR;  
    EEPROM_DATA.ValidatorX2 = EEPROM_VALIDATOR*2;  
  
    //Copiar dados  
    EEPROM_DATA.VOLTAGE_MAP = VOLTAGE_MAP;  
    EEPROM_DATA.CURRENT_MAP = CURRENT_MAP;  
  
    //Salvar dados na eeprom  
    EEPROM_writeConf();  
}  
}
```