

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA DE
ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Marcio Luís Munhoz Amorim

Fonte inteligente para aplicações de *Data logger*.

São Carlos 2023

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA DE
ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Marcio Luis Munhoz Amorim

Mestre em Ciências, Programa de Engenharia Elétrica

Fonte inteligente para aplicações de *Data logger*

Dissertação à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências no Programa de Pós-graduação da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento de Sinais e Instrumentação

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Pereira do Carmo.

São Carlos 2023

Trata-se da versão corrigida da dissertação. A versão original se encontra disponível na EESC/USP que aloja o Programa de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **MÁRCIO LUÍS MUNHOZ AMORIM.**

Título da dissertação: "Fonte inteligente para aplicações de Data logger".

Data da defesa: 24/02/2023.

Comissão Julgadora

Resultado

Prof. Associado **João Paulo Pereira do Carmo**
(Orientadora)
(Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP)

APROVADO

Prof. Dr. **Oswaldo Hideo Ando Junior**
(Universidade Federal Rural de Pernambuco/UFRPE)

APROVADO

Prof. Dr. **José Augusto Afonso**
(Universidade do Minho/Portugal)

APROVADO

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica:
Prof. Dr. **João Bosco Augusto London Junior**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Titular **Murilo Araujo Romero**

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

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

Amorim, Marcio
AA524f / Fonte inteligente para aplicações de Data logger
/ Marcio Amorim; orientador João Paulo Pereira do
Carmo. São Carlos, 2023.

Dissertação (Mestrado) - Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Área de
Concentração em Processamento de Sinais e
Instrumentação -- Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo, 2023.

1. Fonte simétrica. 2. Nobreak. 3.
Microprocessada. 4. Data Logger. I. Título.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a minha esposa Luciana por sempre acreditar em mim e por me incentivar a realizar meus sonhos. Também agradecer ao meu Professor João Paulo Pereira do Carmo que me deu a oportunidade de crescer e contribuir junto à universidade permitindo buscar o conhecimento e na área de engenharia elétrica; agradecer aos alunos do laboratório de alta tensão pelo apoio e ajuda durante esse pedido; também ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, pelo apoio técnico e acadêmico.

Resumo

AMORIM, M. L. M. **Fonte inteligente para aplicações de *Data logger***. 2023. Dissertação (Mestrado em Processamento de Sinais e Instrumentação – Escola de Engenharia Elétrica de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023

Os data loggers são equipamentos baseados em processadores digitais. São dispositivos eletrônicos que registram dados ao longo do tempo em relação a um instrumento ou sensor. Esses dispositivos requerem uma fonte de energia limpa confiável e sem interrupção. O objetivo deste mestrado é desenvolver uma fonte inteligente para data logger, com componentes de baixo custo, desenhada e montada com partes feitas em impressoras 3D, possuindo abundantes no mercado; apresentar proteção contra queda de energia, possuindo *nobreak* interno (tipo Offline); possuir reguladores de precisão nas saídas DC, permitindo suporte para vários tipos de experimentos como: biosinais que requerem fontes simétricas de tensão positiva e negativa (-12V, +12V), circuito transistorizados e digitais (5V) e microeletrônica (+3.3V); e ser microprocessado. Características importantes da fonte envolvem a capacidade de informar eventos como o nível de bateria baixo, presença de tensão AC ou DC, excesso de temperatura, desligamento de emergência por motivo maior, também desligar por solicitação mecânica através do botão frontal, ou por solicitação lógica de sinal digital enviado por outro micro controlador; possuir comunicação externa UART; ser reprogramável, com capacidade de receber firmware remotamente e efetuar updates sem a necessidade de sua remoção ou abertura da fonte

Palavras-chave: Fonte simétrica, Nobreak, Microprocessada, data logger.

Abstract

AMORIM, M. L. M. **Smart Power Supply for *Data logger* applications**. 2023. Dissertação (Mestrado em Processamento de Sinais e Instrumentação – Escola de Engenharia Elétrica de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023

Data loggers are equipment based on digital processors. They are electronic devices that record data over time in relation to an instrument or sensor. These devices require clean, reliable power source without interruption. The objective of this masters is to develop an open hardware power supply, with low cost components, designed and assembled with parts made on 3D printers, having components that are abundant in the market; provide protection against power failure by having an internal UPS (Offline type); have precision regulators on the DC outputs, allowing support for various types of experiments such as: biosignals that require symmetrical sources of positive and negative voltage (-12V, +12V), digital and transistorized circuits (5V) and microelectronics (+3.3V); and be microprocessed. Important features of the power supply involve the ability to report events such as low battery level, presence of AC or DC voltage, excess temperature, emergency shutdown, and shutdown by mechanical request through the front button, or by logical request of digital signal sent by another micro controller; have external UART communication; be reprogrammable, with the ability to receive firmware remotely and perform updates without having to remove it or open power supply.

Keywords: Symmetrical Power Source, UPS, Microprocessor, data logger.

Sumário

Agradecimentos	05
Resumo	06
Abstract.....	07
Sumário.....	08
Lista de figuras	10
Lista de tabelas	13
Abreviaturas.....	12
Simbolos	14
1 Capítulo 1 Introdução	15
1.1 Introdução.....	15
1.2 Plataformas de desenvolvimento	15
1.3 Aplicações de open hardware	19
1.4 Motivação e Objetivo	22
1.4.1 Motivação	22
1.4.2 Objetivo	24
1.5 Estrutura da dissertação	26
1.6 Referências	27
2 Capítulo 2 Revisão Bibliográfica	29
2.1 Introdução.....	29
2.2 Corrente Alternada	29
2.3 Corrente Continua.....	30
2.4 Fontes	32
2.5 Tipos de fontes	33
2.6 Nobreaks – Uninterruptible Power Supply.....	35
2.7 Fundamentos UPS	35
2.8.1 UPS Offline	36
2.8.2 UPS Online.....	36
2.8.3 UPS Line Interactive	37
2.9 Baterias	37
2.9.1 Tipos de Baterias	38
2.9.2 Baterias Primarias.....	38
2.9.3 Bateria secundarias	39
2.10 Reguladores de Tensão DC	40
2.10.1 Reguladores Lineares	41
2.11 Reguladores DC-DC.....	43
2.12 Referências	47
3 Capítulo 3 Matérias e Métodos.....	50
3.1 Introdução.....	50

3.2	Visão Geral.....	50
3.3	Circuito 1 – Entrada AC.....	50
3.4	Circuito 2 – Entrada DC.....	51
3.5	Circuito 3 – Saídas.....	53
3.6	Circuito 4 – Controle.....	54
4	Capítulo 4 Manufatura Aditiva, Prototipação e Programação.....	58
4.1	Introdução.....	58
4.2	Circuito Impresso.....	58
4.2.1	Circuito 1 - Entradas e Saídas de Tensão.....	59
4.2.2	Circuito 2 Microcontrolador.....	60
4.2.3	Circuito 3 Saídas Reguladas.....	61
4.2.4	Circuito Entradas/Saídas Lógicas e Auxiliares.....	62
4.2.5	Circuito 5 Miscelâneas.....	63
4.3	Circuito Impresso.....	63
4.4	Desenho CAD.....	65
4.5	Desenho 3D da Fonte.....	66
4.6	Código Firmware.....	68
5	Capítulo 5 Resultados Iniciais.....	70
5.1	Introdução.....	70
5.2	Arquivos de Impressão.....	70
5.3	Impressão.....	70
5.4	Circuito Impresso.....	72
5.5	Montagem da Fonte.....	74
5.6	Fonte Concluída.....	77
5.7	Teste de chaveamento.....	79
5.8	Teste de curva de tensão.....	83
5.9	Perfil da corrente.....	86
5.10	Curva de descarga da bateria.....	87
5.11	Tempo de carga.....	89
5.12	Comunicação serial.....	90
5.13	Referencias.....	92
6	Capitulo 6.....	93
6.1	Considerações finais.....	93

Lista de Figuras

Figura 1.1- (a) Símbolo original do Open hardware, (b) novo símbolo unificado open source [2-3].....	15
Figura 1.2 Primeira versão comercial do Arduino UNO	16
Figura 1.3: Neuroduino (Arduino modificado) para aplicações médicas	17
Figura 1.4 (a) Intel Edsion Development board [9], (b) Texas Instruments Launchpad [10], (c) STM32 Morph board para Arduino devices [1-3]	18
Figura 1.5 – Exemplos de sensores e módulos de desenvolvimento para o Arduino [14]	18
Figura 1.6 visão explodida do dispositivo de Terapia Fotodinâmica [15].....	19
Figura 1.7 smartphone comunicando com o dispositivo [15]	19
Figura 1.8 Placa principal do detector de hepatite C [16].....	20
Figura 1.9 Sistema de medição para hepatite C [16]	20
Figura 1.10 Sistema de medição de incidência de luz [17].....	21
Figura 1.11 Sistema fotodetector [18]	21
Figura 1.12 Concepção do <i>Nexus</i> em 3D.....	22
Figura 1.13: Placa de aquisição de biosinais.	23
Figura 1.14 <i>Nexus</i> com cartão de Biosinais conectado ao barramento principal	23
Figura 1.15- Início da prototipagem da fonte, primeira placa feita no protoboard.....	24
Figura 1.16 a - Fonte microprocessada, b - Carregador de baterias inteligente	25
Figura 2.1(a) Indução entre dois ímãs, (b) Senoide formada pela indução, (c) como a senoide é formada segundo a frequência angular, (d) forças envolvidas na geração da corrente alternada	29
Figura 2.2 (a), Onda senoidal, (b) Onda rampa, (c) Onda quadrada, (d) Onda triangular	30
Figura 2.3 Sentido da corrente em relação ao campo magnético.....	31
Figura 2.4 Ponte retificadora e transformação de Tensão AC em DC	32
Figura 2.5 Diagramas de blocos de uma fonte chaveada	33
Figura 2.6 Diagrama de fonte não regulada	33
Figura 2.7 Diagrama da fonte linear	34
Figura 2.8 Diagrama da fonte chaveada	34
Figura 2.9 – Diagrama de Funcionamento do Nobreak na rede AC.....	35
Figura 2.10 – Diagrama de Funcionamento do <i>Nobreak</i> na bateria em DC	35
Figura 2.11 Diagramas de blocos de um UPS <i>Offline</i>	36
Figura 2.12: Diagrama do <i>nobreak Online</i>	37
Figura 2.13 Diagrama de blocos do UPS line interactive.....	37
Figura 2.14. Fundamento básico da bateria.....	38
Figura 2.15 Regulador Linear Shunt (a) e com seguidor de tensão (b).....	41
Figura 2.16(a) regulador em série, (b) regulador em série com feedback negativo interno.....	42

Figura 2.17 Esquema elétrico do conversor DC-DC	44
Figura 2.18 Reguladores DC-DC bidirecional	44
Figura 2.19 DC-DC tipo Buck.....	44
Figura 2.20 Regulador DC-DC Boost.....	45
Figura 2.21 Regulador Buck-Boost inverter.....	46
Figura 3.1 Visão geral simplificada da fonte ilustrando as três funções	50
Figura 3.2 Diagramas da função 1, entrada da fonte	51
Figura 3.3 Diagrama da função 2, entradas DC.....	51
Figura 3.4(a) Resistor de 6 ohm 50W 3.4(b) placa controladora de carga.....	52
Figura 3.5 Diagrama da função 3 onde são alimentados os reguladores DC-DC.....	53
Figura 3.6 Módulos de conversão DC-DC e carga de bateria	54
Figura 3.7 Diagrama da função 4, discretos da placa	54
Figura 3.8 Chave combinada lógico-mecânica.....	55
Figura 3.9(a) Vista superior da placa de controle, (b) vista inferior.....	56
Figura 3.10 Todas as funções que compõem a fonte	56
Figura 4.1(a) Eagle-CAD Esquema elétrico. (b) Eagle-CAD desenho físico	59
Figura 4.2 Desenho elétrico da entrada primária da placa microprocessada.....	59
Figura 4.3 Esquema elétrico do Microcontrolador ATMEGA328PB	60
Figura 4.4 Esquema elétrico da entrada e saída das tenções reguladas	62
Figura 4.5 Barramentos de entrada e saídas auxiliares.....	62
Figura 4.6 Componentes mistos	63
Figura 4.7 Vistas superior da placa microprocessada	63
Figura 4.8 Primeira tentativa de organizar os componentes para montagem.....	64
Figura 4.9 (a) Ilustração 3D da placa microprocessada parte superior (b) inferior.....	64
Figura 4.10 Visão geral da interface Fusion 360	65
Figura 4.11 Desenhos 3D da fonte e do <i>Nexus</i> em diferentes ângulos.....	65
Figura 4.12 Carcaça vazia da fonte	66
Figura 4.13(a) (b) Tampa traseira, (c) tampas frontal com e sem componentes.....	66
Figura 4.14 Fonte com todos os componentes internos	67
Figura 4.15 Visão geral do Arduino IDE	67
Figura 4.16 Diagrama geral do código.....	68
Figura 4.17 Abas do código dividido em funções.....	68
Figura 5.1 Diferença visual entre STL e GCODE.....	70
Figura 5.2(a) Impressora Ender 3 pro (b) Ender 5 plus	71
Figura 5.3 Interface do Cura.....	71
Figura 5.4 Parte Main sendo impressa	72
Figura 5.5 Inspeção do microcontrolador na placa	73
Figura 5.6 Placa microprocessada montada	73
Figura 5.7 Ângulos diferentes a versão e teste dimensional da fonte.....	74

Figura 5.8 Montagens pela parte de trás da fonte	75
Figura 5.9 Área dos reguladores.....	76
Figura 5.10 Bateria pronta para a conexão.....	76
Figura 5.11 Placa microprocessada instalada na fonte.....	77
Figura 5.12 Componentes instalados na fonte	78
Figura 5.13 Tampas da fonte instalada, detalhe dos conectores de saída.....	78
Figura 5.14 Visão frontal e traseira da fonte	79
Figura 5.15 Teste de chaveamento, Fonte de alimentação(A) e cargas eletrônicasC e D).80	
Figura 5.16 Gráfico mostrando todas as comutações entre as fontes: (a) Comutação entre AC e bateria em 12V com 0A, (b) Comutação entre bateria e AC em 12V com 0 A, (c) Comutação entre AC e bateria 5V com 0A, (d) Comutação entre bateria e AC em 5V com 0A, (e) Comutação entre AC e bateria em 3.3V com 0 A, (b) Comutação entre bateria e AC em 3.3Vcom 0A.....	81
Figura 5.17: Gráfico, Comutação entre CA e bateria em 12V com 1A (a), Comutação entre bateria e CA em 12V com 1A (b), Comutação entre CA e bateria em 5V com 1A (c), Comutação entre bateria e CA em 5V com 1A (d), Comutação entre CA e bateria em 3.3 V com 1A(e), Comutação entre bateria e CA em 3.3 V com 1A (f).....	82
Figura 5.18: Gráfico, Comutação entre CA e bateria em 12V com 2ª (a), Comutação entre bateria e CA em 12V com 2ª (b), Comutação entre CA e bateria em 5V com 2ª (c), Comutação entre bateria e CA em 5V com 2ª (d), Comutação entre CA e bateria em 3.3V com 2ª (e) , Comutação entre bateria e CA em 3.3V com 2ª (f).....	83
Figura 5.19: Configuração de teste de curva de tensão: Fonte de alimentação (A), Carga eletrônica (B),(C), Multímetro (D)	84
Figura 5.20: Gráficos da curva de tensão: (a) Tensão vs corrente - 12V (a), Tensão vs corrente - 5V (b),Tensão vs corrente – 3.3V (c).....	85
Figura 5.21: A configuração para testar o perfil de corrente: A - Placa MCU, B - Sensor de efeito Hall, C Regulador simétrico bipolar, D - Fonte de alimentação, E - Carga eletrônica.....	86
Figura 5.22: Gráficos da Curva de eficiência de corrente (a), Porcentagem de eficiência de corrente (b).....	87
Figura 5.23: Teste de queda de tensão: Fonte a ser testada(A), Carga eletrônica (B)(A), Arduino Uno(D).....	88
Figura 5.24: Gráfico da curva de descarga da bateria.....	88
Figura 5.25. Configuração do teste de carga da bateria: Saída do regulador(A), conectores do sensor (B) e conectores OLED e UART (C).....	89
Figura 5.26. Gráfico do tempo de carga da bateria.....	90
Figura 5.27: Configuração do teste de comunicação serial Porta de comunicação UART da fonte de alimentação (A), Conversor UART-USB (B), Interface do usuário CoolTerm (C).....	90

Lista de Tabelas

Tabela 1 Exemplo de baterias primárias [58].....	39
Tabela 2 Exemplo de baterias secundárias [58].....	40
Tabela 3 mostra todos os componentes utilizados na fonte	57
Tabela 4 Pinagem do microcontrolador e circuito associado.....	61
Tabela 5 Descreve partes, tempo e custos utilizados no corpo da fonte.....	72
Tabela 6 Descreve partes, descrição e custos utilizado na placa logica	74
Tabela 7 Cronograma de desenvolvimento	94

Abreviaturas

A	Ampere
AC	Alternating Current
A-REF	Analog Reference
AWG	American Wire Gauge
BMS	Battery Management System
CAD	Computer Aided Design
CMOS	Complementary Metal-Oxide- Semiconductor
CNC	Computer Numeric Control
DC	Direct Current
ESP32	Espressif Systems 32
FDM	Fused Deposition Material
FET	Field Effect Transistor
GND	Ground
HCV	Hepatitis C Virus
HDD	Hard Drive Disk
HEV	Hybrid Electrical Vehicle
I2C	Inter-Integrated Circuit
IDE	Integrated Development Environment
IND	Inductor
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
MPS	Mixed Signal Processor
NC	Normally Close
NO	Normally Open
OLED	Organic Light Emitting Diode
PC	Personal Computer
PCB	Printed Circuit Board
PCI	Peripheral Component Interconnect
PICOM	RaspberryPi's Communication.
PLA	Polylactic acid
PWM	Pulse Width Modulation
RS232	Recommended Standard 232
RTC	Real Time Clock
SATA	Serial Advanced Technology Attachment
SBC	Single Board Computer

SCL	Serial Clock
SD	Secure Digital
SDA	Serial Data
SMD	Surface Mount Device
SoC	System on Chip
SPI	Serial peripheral Interface
SSD	Solid State Drive
ST	Thomson Semiconducteurs
STL	Standard Triangle Language
STM	Thomson Semiconducteurs Microelectronica
TEMP	Temperature
THT	Through Hole Technology
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
UPS	Uninterruptible Power Supply
USB	Universal Serial Bus
V	Voltage
VCC	Voltage Common Collector
W	Watts
Wh/kg	Watts hora por kilograma

Letras Gregas

Φ	Phi
Ω	Omega
Π	Pi
ω	Omega
θ	Theta
μ	Micron
ρ	Rho

Capítulo 1

Introdução

1.1 Introdução

Este capítulo apresenta uma introdução à pesquisa corrente, descrevendo o problema, a motivação e a tecnologia para alcançar o desenvolvimento e otimização de uma fonte chaveada, para o projeto *Nexus data logger*. *Este projeto* que será descrito durante esse capítulo, para suprir tal necessidade.

1.2 Plataformas de Desenvolvimento

O criador da *Open Source Definition* e co-fundador da *Open Source* Bruce Perens, em 1997, lançou o programa de certificação de hardware aberto: *Open Hardware Certification Program* [1], Figura 1.1(a)(b), "Hardware aberto" ou "hardware de código aberto" refere-se às especificações de design de um objeto físico, onde ambos são licenciados de forma que tal objeto possa ser estudado, modificado, criado e distribuído por qualquer pessoa [2]. O objetivo era permitir que os fabricantes de hardware tivessem uma opção de vender módulos de hardware simples, com as placas expostas, e pudessem classificar ou certificar seus produtos como abertos. E para isso, o pré-requisito seria disponibilizar a documentação técnica necessária como esquemas elétricos, desenhos técnicos, drivers e bibliotecas do funcionamento.

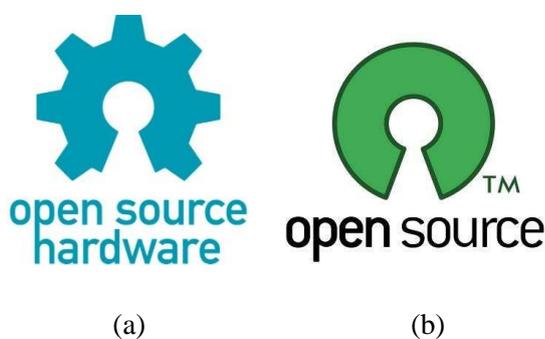


Figura 1.1: Símbolo original do Open hardware (a), novo símbolo unificado open source (b)[2-3].

Open Hardware Certification Program era gratuito para os fornecedores e fabricantes de equipamentos, com isso, eles tinham o direito de aplicar o logotipo de hardware aberto em seus produtos, e também o direito de anunciar em publicidade que seus dispositivos eram certificados como hardware aberto. Os consumidores que compravam equipamentos de hardware aberto certificados tinham a certeza de que teriam acesso a todos os recursos para poderem desenvolver seu próprio dispositivo sem precisar de licença ou pagar por royalties. Open Hardware Certification Program foi uma das primeiras tentativas de expandir o código aberto do software para o hardware [3]. O hardware aberto proporcionou uma mudança de cultura, na forma de pensar e do desenvolvimento na criação de equipamentos, e essa cultura

veio do software gratuito e se expandiu em direção ao hardware aberto [4], onde módulos e sistemas que antes eram reservados apenas a grandes laboratórios ou indústrias com custos elevados por causa de licenças e royalties se tornaram acessíveis e baratos, isso permitiu que usuários, estudantes e pesquisadores tivessem acesso a essa tecnologia, tornando-a muito popular, tanto pela diversidade como pelo custo, promovendo um avanço no desenvolvimento nas áreas acadêmicas, startups e entusiastas. O hardware aberto permitiu aos alunos a criação e o desenvolvimento de projetos que até então eram economicamente inviáveis, facilitando a aprovação de projetos acadêmicos com custos reduzidos e auxiliando Startups a desenvolverem seu próprio material sem a dependência de outras empresas no ramo. Hoje, a maioria dos projetos, tanto de ensino fundamental, graduação e pós-graduação nas áreas de desenvolvimento utilizam algum equipamento de hardware aberto, e o desenvolvimento de equipamentos de pesquisa se tornou mais barato e prático [5].

O projeto pioneiro do hardware aberto e provavelmente o mais popular desse universo é o Arduino. O projeto Arduino [6] teve início em 2005 no Interaction Design Institute Ivrea, Itália, como uma ferramenta para alunos e professores para fornecer um dispositivo que interage com sensores e atuadores de uma maneira fácil e de baixo custo, acessível à iniciantes e profissionais, permitindo criar robôs, brinquedos, pequenas automações e sensores diversos, como representado na Figura 1.2 por um dispositivo simples, sem acabamento, permitindo o baixo custo.

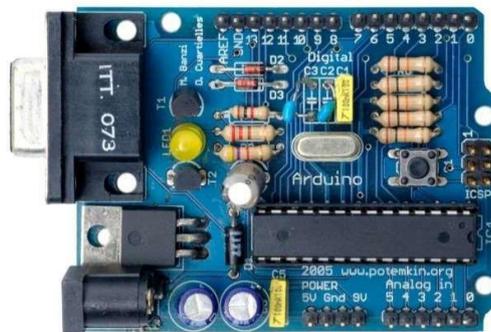


Figura 1.2: Primeira versão comercial do Arduino UNO.

O nome Arduino vem de um bar em Ivrea, na Itália, onde os fundadores do projeto costumavam se reunir para discutir o desenvolvimento do projeto [6]. O bar recebeu o nome de Arduin de Ivrea, que foi um marquês da Marcha de Ivrea e rei da Itália de 1002 a 1014 [6]. Um exemplo do bom uso do hardware aberto está na Figura 1.3, que representa um Arduino alterado para desenvolvimento de Shields (expansão) voltado para aplicações médicas. Ele possui isolamento galvânico e é certificado pela CE60601 (certificação para dispositivos médicos) que garante proteção do usuário contra surtos elétricos até 4.7 kV, LEDs de indicação de nível de sinal, saída para servo motor, relé, entre outras funções embarcadas, além da pinagem padrão do Arduino.



Figura 1.3: Neuroduino (Arduino modificado) para aplicações médicas.

Através de observação empírica notou-se que hoje, após vários anos do início do hardware aberto, a maioria dos fabricantes que utilizavam o logo de hardware aberto pararam de utilizar o mesmo, talvez devido à popularização dos módulos de desenvolvimentos genéricos vindos da China, como os Arduinos genéricos produzidos por outras empresas, e das comunidades que acabam hackeando e abrindo o código e esquema elétricos de outros dispositivos não marcados como hardware aberto facilitando o uso desses produtos; Esse movimento de hackear e compartilhar levou a criação de comunidades onde entusiastas, professores e engenheiros se uniram para criar, colaborar e hackear (alterar) dispositivos, dando início ao movimento Maker [7]. Esse movimento combina vários fatores como a utilização das plataformas e dispositivos de hardware aberto, juntamente ao de software aberto, combinados com impressão 3D, programas gratuitos e Maker Spaces, que são lugares onde as pessoas podem ter acesso a várias ferramentas e tecnologias que seria inviável ao indivíduo comum ter em casa, como cortadora à laser, máquinas CNC, centros de usinagem, também estações de solda e todo o tipo de equipamento de microeletrônica, além do compartilhamento do conhecimento dos próprios usuários. Isso tudo permite que os Makers ou entusiastas consigam criar e desenvolver seus próprios projetos de forma simples, barata e amigável.

As plataformas de desenvolvimento de hardware [8] são fabricadas pela maioria dos grandes fabricantes de microchips, que possuem suas próprias plataformas de desenvolvimento para atrair o consumidor para seus produtos, como, por exemplo, Intel com o Edson [9] na Figura 1.4(a), Texas Instruments com MSP430 [10] mostrado na Figura 1.4(b), ST com o STM32 [11] na Figura 1.4(c), entre muitos outros fabricantes como Raspberry Pi Foundation, Arduino.cc e Beaglebone. As plataformas, de certa forma, criam uma ponte entre elas e o Arduino, podendo ser programados via Arduino IDE ou sendo conectados direto ao próprio padrão de pinagem do Arduino.

Além das plataformas de desenvolvimento, existem inúmeros módulos que dão suporte a esses sistemas, como mostrado na Figura 1.5. Eles foram também responsáveis por alavancar o Movimento Makers já que a maioria dos sensores e módulos estão disponíveis de forma fácil e documentada para serem utilizados pelos Makers. Existem placas, fonte reguláveis, módulos de baterias, placas com vários tipos de sensores [14], LEDs, telas de LCD e OLED, motores e servo motores entre uma infinidade de módulos.

1.3 Aplicações de Open Hardware

Os dispositivos de hardware aberto são utilizados integralmente, sem alterações ou em partes menores, em muitos experimentos e publicações, como podemos observar no dispositivo de Terapia Fotodinâmica [15] utilizado para destruição seletiva de células cancerosas, utilizando fármaco fotossensibilizador e luz de LED. A Figura 1.6 mostra a visão explodida do dispositivo em que é possível observar dentro as placas PCB customizadas, uma com as luzes de LED, a outra placa principal onde está acoplado o ESP32, e outros periféricos.

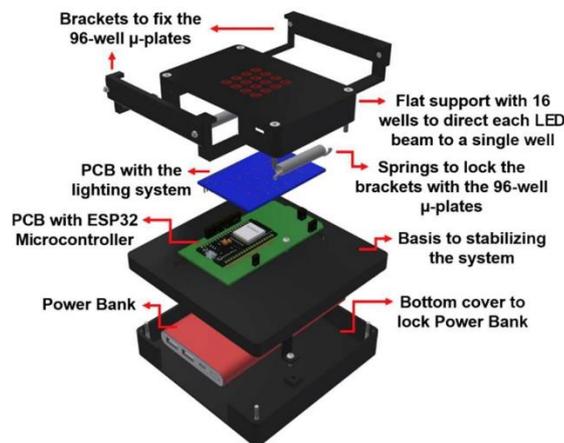


Figura 1.6: visão explodida do dispositivo de Terapia Fotodinâmica[15].

Os ensaios utilizam células previamente coletadas por biópsia, e através do sensor é possível determinar a melhor combinação de dose de luz e concentração de fármaco fotossensibilizador. Esses dados são transmitidos via Bluetooth para um Smartphone que analisa e mostra os resultados, facilitando a operação e o transporte. A Figura 1.7 ilustra a comunicação entre o dispositivo e um Smartphone, pelo aplicativo é possível ajustar o tempo de luz.



Figura 1.7: smartphone comunicando com o dispositivo[15].

O dispositivo utiliza ESP32-DevKitC, um módulo composto por micro controlador com entradas analógicas e com conectividade Bluetooth e WIFI. Esta unidade também contém outros hardwares e periféricos, como banco de bateria, corpo 3D, entre outros. O projeto para detecção de hepatite C [16] é uma plataforma laboratorial portátil com biosensores eletroquímicos para a detecção do vírus da hepatite C (HCV). A Figura 1.8 mostra a placa principal do dispositivo, dentre os componentes, destaca-se o módulo Bluetooth e a placa Teensy 3.2

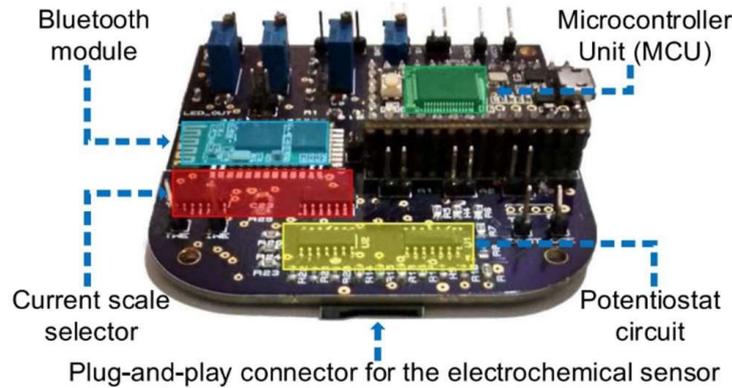


Figura 1.8: Placa principal do detector de hepatite C [16].

Utilizando uma gota de sangue em um sensor descartável, através de diferença de potencial, é possível saber se o paciente possui hepatite C em segundos. O dispositivo é conectado a um Smartphone que recebe os dados analisados e exibe na tela, como podemos observar na Figura 1.9 que ilustra o processo como um todo, da aplicação da gota no sensor até a comunicação e exibição na tela. Este dispositivo é composto por uma unidade controladora Teensy3.2, um módulo Bluetooth HC05, e ambos são hardware aberto. Essa unidade também contém outros hardwares e periféricos.

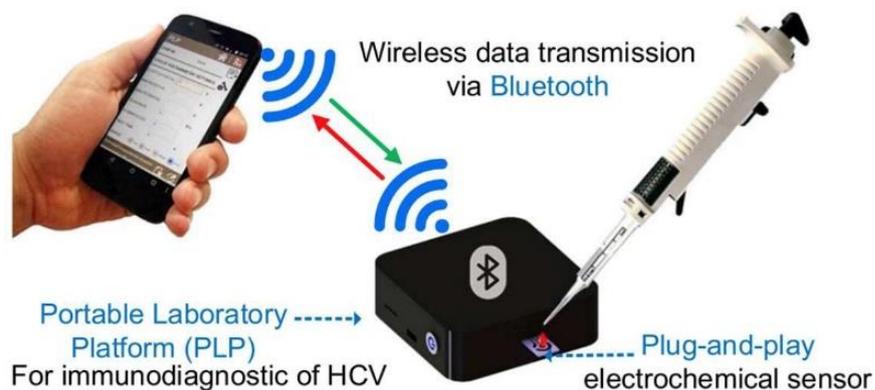


Figura 1.9: Sistema de medição para hepatite C[16].

O Sensor fotovoltaico [17] apresenta um submódulo com um sensor óptico para medições angulares de luz incidente. O sensor óptico é um microdispositivo CMOS para rastreamento preciso do ângulo de incidência solar para aplicação em sistemas fotovoltaicos. As medições feitas em laboratório e em ambientes abertos de campo real confirmaram a

adequação para rastrear com boa precisão o ângulo máximo de incidência do sol na faixa $[0^\circ, 180^\circ]$. A Figura 1.10 mostra a visão explodida do dispositivo que contém o módulo RTC (relógio em tempo real), leitor de cartão SD e Arduino Mega, dispositivos de hardware aberto, entre outros módulos como placa customizada e sensor CMOS.

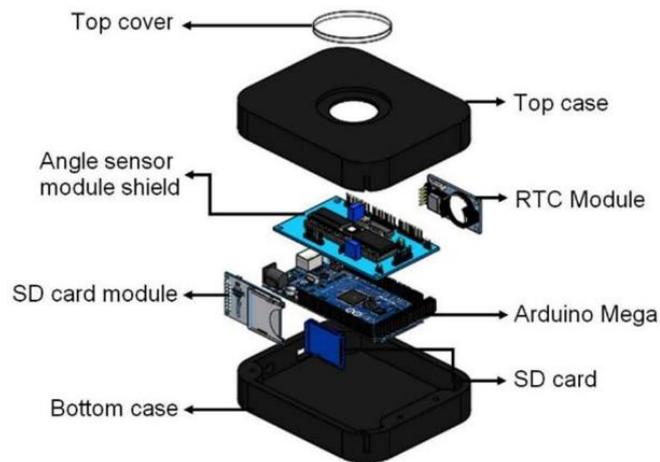


Figura 1.10: Sistema de medição de incidência de luz [17].

O dispositivo é capaz de rastrear a melhor incidência de luz em um determinado ponto, permitindo a melhor aplicação de placas solares e sistemas fotovoltaicos. O dispositivo apresenta uma plataforma flexível de baixo custo [18] para medir e caracterizar fotodetectores. Este dispositivo pode caracterizar simultaneamente até 16 fotodetectores e é composto por duas placas de circuito eletrônico principais: uma placa amplificadora de transimpedância e uma placa de desenvolvimento composta por um Arduino Mega, de hardware aberto. Podemos observar na Figura 1.10 a placa com o sensor e o Arduino ao fundo.

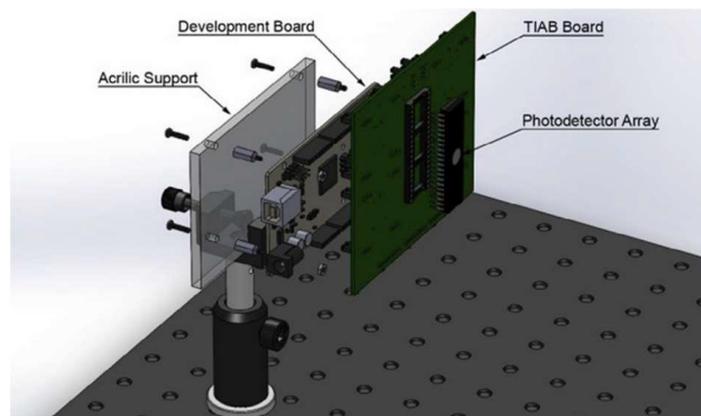


Figura 1.11: Sistema fotodetector [18].

Os dados medidos são transmitidos ao LabView, em tempo real, que permite o monitoramento das fotocorrentes com exibição gráfica. A intensidade da luz pode ser definida por 8 saídas digitais permitindo 256 incrementos/passos de intensidade de luz. Este dispositivo pode ser usado na indústria para fazer o controle de qualidade e validação para diferentes condições.

1.4 Motivação e Objetivos

1.4.1 Motivação

Os *data loggers* são baseados em processadores digitais. São dispositivos eletrônicos que registram dados ao longo do tempo em relação a um instrumento ou sensor embutido ou a vários instrumentos e sensores externos. O *data logger* pode coletar dados automaticamente 24 horas por dia, ou durante um experimento ou ensaio, e esses dados podem ser recuperados, processados e analisados [19].

Com o intuito de desenvolver um dispositivo de aquisição de dados baseado em hardware aberto, e, ao mesmo tempo, uma plataforma onde projetos desenvolvidos na engenharia pudessem ser integrados a esse dispositivo, para facilitar a captura de dados e acelerar o processo de desenvolvimento dos projetos, surgiu a ideia do *Nexus Data logger*. O *Nexus* do inglês: *a connection or series of connections linking two or more things* (“uma conexão ou série de conexões ligando duas ou mais coisas”) [20]. Trata-se de um sistema de coleta de dados baseado em hardware aberto [19,21], com suporte para a maioria dos protocolos de comunicação, capacidade de conectividade com dispositivos externos via USB, Ethernet, WIFI e Bluetooth, e armazenamento interno de grande volume de dados. A Figura 1.6 mostra uma visão 3D do projeto final do *Nexus* que será desenvolvida durante o doutorado



Figura 1.12: Concepção do *Nexus* em 3D.

O *Nexus data logger* é um dispositivo modular, podendo suportar vários tipos de cartões, que podem ser ligados em paralelo, conforme a necessidade do experimento e capaz de obter atualizações de hardware de modo fácil e simplificado. Além disso, ele suporta a maioria dos projetos uma vez feito no formato do cartão de aquisição de dados. A Figura 1.13 mostra uma placa de aquisição de biosinais para o *Nexus*, uma placa completa e configurável com vários canais de entrada e diferentes tipos de filtros. Ela também é microprocessada e tem a capacidade de testar todos os protocolos e vias de comunicação disponíveis no *Nexus*.

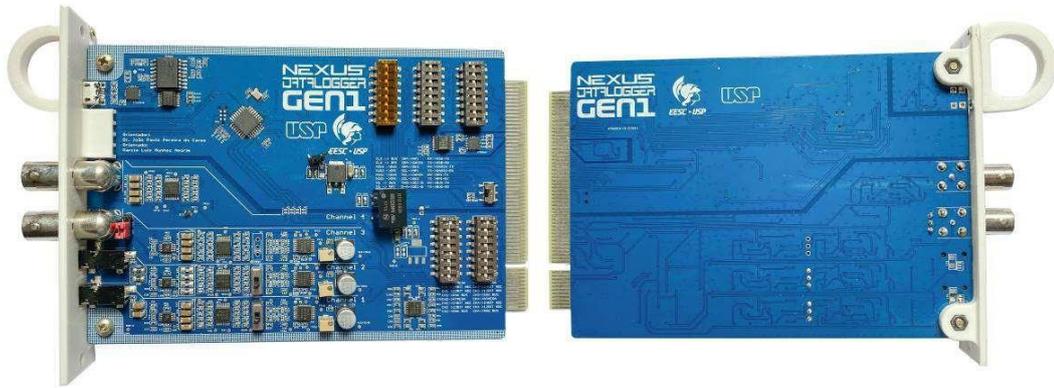


Figura 1.13: Placa de aquisição de biosinais.

O *Nexus* suporta desde simples sensores de temperatura, gases e tensão, até sensores de alta complexidade, que requerem fonte simétrica, isolamento galvânico e filtros complexos de múltiplas ordens [21], como aqueles que detectam biosinais. O *Nexus* utiliza uma arquitetura mecânica e eletrônica própria, desenvolvida e prototipada dentro da universidade, onde todos os alunos podem ter acesso ao dispositivo e ter seu próprio projeto no formato do cartão, economizando tempo e dinheiro durante seus projetos. Seu sistema microprocessado possui: 2x Micro controladores SAM32, 2x Coprocessadores ATmega328pb e um RaspberryPi 4b [22] como unidade de processamento primária, além de um cartão de troca rápida para HDD ou SSD SATA de 2,5 polegadas permitindo um armazenamento interno não compartilhado com o sistema operacional de até 2 TeraByte de memória. Ele suporta os principais protocolos de comunicação, como SPI, I2C, UART, USB [23]. Entre outras funções, há conversores analógicos para digital de até 1 Mega sample por segundo, placa de expansão de retorno que suporta canais RAW SPI e I2C direto sem necessidade do circuito interno, e tela touch-screen para utilização e configuração do dispositivo. A Figura 1.8 mostra a placa de biosinais de teste conectada à placa principal, ela utiliza um formato PCI-120, são 120 pinos de comunicação energia e outras funções, permitindo a troca rápida e fácil do cartão.

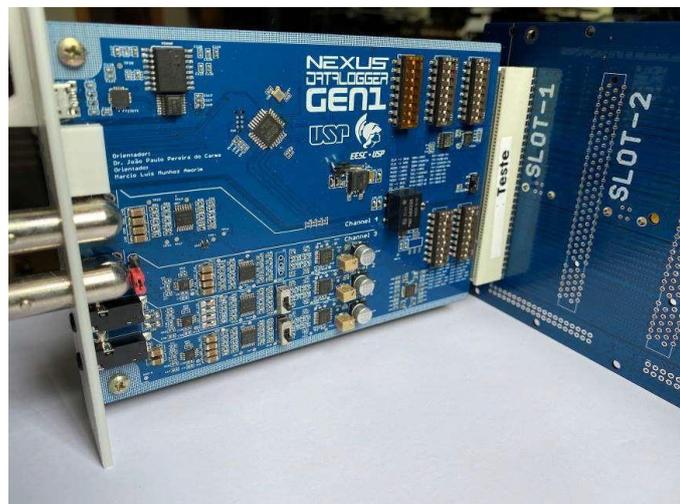


Figura1.14: *Nexus* com cartão de Biosinais conectado ao barramento principal [11].

1.4.2 Objetivo

O objetivo deste projeto de mestrado é viabilizar e desenvolver uma fonte baseada em hardware aberto, que seja confiável, otimizada (menor desperdício energético possível) e com saídas DC compatíveis com a maioria dos experimentos, projetos e componentes disponíveis no mercado, proteção em caso de queda de energia, microprocessada e com capacidade de comunicação digital com o *Nexus* ou qualquer dispositivo que suporte RS232 [24], projetada, desenvolvida e construída na própria universidade. Sua função primária é alimentar o Data logger Nexus, e ser capaz de funcionar independentemente dele, sendo universal para qualquer dispositivo, como uma fonte de bancada fixa, sendo portátil, de pequeno formato e capaz de operar sem a necessidade de outros equipamentos.

Figura 1.15 mostra o começo da prototipagem do circuito da placa principal da fonte, onde será incorporado ao circuito um microprocessador, relés, sensores, barramentos de entrada e saída, proteções contra curto-circuito e outras funções.

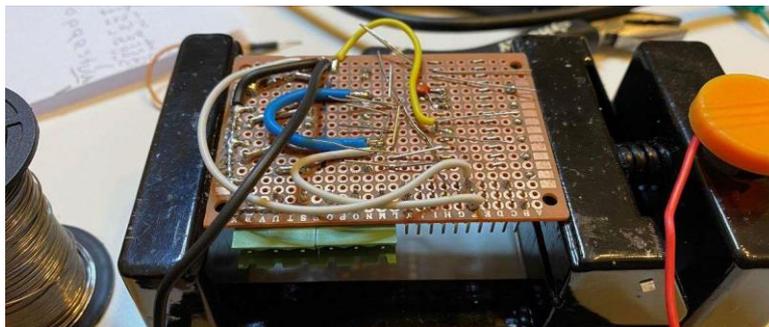


Figura 1.15: Início da prototipagem da fonte, primeira placa feita no protoboard.

A fonte deve ser 3D compatível, ser desenhada de forma que possa ser impressa em uma impressora 3D de forma simples e que qualquer pessoa possa fazer; possuir componentes de hardware aberto e que sejam abundantes no mercado, sendo de fácil acesso e fácil substituição; ser Standalone - não requerendo nenhum outro hardware ou equipamento para operar, sendo capaz de acionar suas funções básicas com apenas um cabo de energia; ter o formato Easy Swap - capaz de ser substituída em caso de pane, problemas ou queima, de forma rápida e fácil e sem requerer nenhuma ferramenta para a sua troca; apresentar proteção contra queda de energia - UPS - Possuir nobreak interno para que em caso de pane de energia, os dados não sejam perdidos ou o experimento seja interrompido (UPS do inglês: Uninterruptible Power Supply); possuir vários níveis de saídas DC (-12v, 0, +3.3v, +5v, +12v), dando suporte para vários tipos de experimentos como: biosinais que requerem fontes simétricas de tensão positiva e negativa (-12V, +12V), sistemas digitais e USB (5V) e microeletrônica (+3.3V) e suprir pelo menos 2 Ampere para cada saída; ser microprocessada, com processador Microchip ATMEGA328pb, rodando firmware e bootloader ARDUINO-IDE (software aberto) com multi-processos (Multitask através de contador com timer de

eventos), capacidade de monitorar carga, temperatura, origem da tensão (AC ou DC). A Figura 1.10 mostra dois exemplos de fonte microprocessada, como tela indicativa. A Figura 1.10(a) mostra uma fonte de bancada profissional com 3 saídas reguláveis de 0V a 30V suportado 3A por saída, e na Figura 1.10(b) um carregador inteligente para todos os tipos de bateria recarregável ele consegue carregar de simples bateria AAA até 24 células de 4.1V cada.



Figura 1.16: Fonte microprocessada (a), Carregador de baterias inteligente (b).

A fonte deve ser capaz de informar eventos como o nível de bateria baixo, presença de tensão AC ou DC, excesso de temperatura, ou desligamento de emergência por motivo maior, também desligar por solicitação mecânica, através do botão frontal, ou por solicitação lógica de sinal digital enviado por outro micro controlador; possuir comunicação externa, ser capaz de comunicar via UART (comunicação serial RS232) todas as leituras e responder a requisições e valores sob demanda; ser reprogramável, com capacidade de receber um Firmware remotamente e sofrer update sem a necessidade de sua remoção ou abertura da fonte; possuir tela indicativa de status informando: origem da tensão, níveis de bateria, temperatura, índice de refrigeração, mensagens de erro e aviso como de desligamento e alertas; possuir carregador da bateria em paralelo (by-pass), microprocessado que monitora a carga mesmo quando a fonte desliga e há a necessidade de continuar a carga após o desligamento; possuir alerta sonoro com o intuito de alertar os principais eventos ou erros quando e se ocorrer; possuir arrefecimento inteligente ativo sob demanda para controlar os ventiladores internos, mantendo o menor consumo de carga com a menor temperatura (usar PID caso haja espaço na memória do micro controlador); possuir sistemas de fusíveis de proteção e de troca rápida, um na entrada AC, geral, para bloqueio global da rede AC em caso de pane, um na ativação do circuito secundário entre AC e DC caso a placa principal ou secundária entre em curto e um na saída direta da bateria para evitar curto-circuito direto na bateria e risco de explosão ou incêndio.

1.5 Estrutura da Dissertação

Nesta seção será descrita a estrutura do projeto através de 6 capítulos, cada tópico de capítulo descreve brevemente o que será abordado durante esse trabalho.

O capítulo 1 trata da introdução da dissertação, em que são enunciados os aspectos primários do hardware aberto e a motivação do projeto, e exemplos relacionados.

No capítulo 2 apresenta os fundamentos e as teorias e as tecnologias envolvidas para o desenvolvimento do sistema da fonte.

O capítulo 3 trata do processo de desenvolvimento da fonte, os materiais e métodos envolvidos, o diagrama de blocos da fonte e suas principais funções.

O capítulo 4 apresenta implementação e desenvolvimento do circuito integrado utilizando Eagle CAD, da programação do hardware do dispositivo utilizando a programação C+ e da montagem utilizando Fusion360 e impressão 3D.

O capítulo 5 apresenta os resultados práticos, sendo eles a montagem da fonte, a montagem da placa microprocessada e da impressão 3D, testes e resultados.

O capítulo 6 conclui o texto e abrange os próximos passos da pesquisa, conforme os resultados obtidos até o momento.

1.6 Referências

- 1 PERENS, Bruce. Software in the Public Interest announces THE OPEN HARDWARE CERTIFICATION PROGRAM. 1997. Disponível em: <http://lists.debian.org/debian-announce/1997/msg00026.html>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- 2 OPENSOURCE.COM. [1] What is Open hardware. 2013. Disponível em: <https://opensource.com/resources/what-open-hardware>. Acesso em: 21 mar. 2022.
- 3 OSHWA.ORG. Brief history of open source hardware organizations and definitions. 2022. Disponível em: <https://www.oshwa.org/research/brief-history-of-open-source-hardware-organizations-and-definitions>. Acesso em: 22 mar. 2022.
- 4 POWELL, Alison. Democratizing production through open source knowledge: from open software to open hardware. *Media, Culture & Society*, [S.L.], v. 34, n. 6, p. 691-708, 30 ago. 2012. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0163443712449497>.
- 5 PEARCE, Joshua. OPEN-SOURCE LAB: how to build your own hardware and reduce serearch costs. United States: Sciencedirect, 2013. 271 p. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780124104624/open-source-lab>. Acesso em: 21 mar. 2022.
- 6 ARDUINO.CC. What is Arduino? 2018. Disponível em: https://www.arduino.cc/en/about#_what-is-arduino. Acesso em: 23 mar. 2022.
- 7 TANENBAUM, Theresa Jean; WILLIAMS, Amanda M.; DESJARDINS, Audrey; TANENBAUM, Karen. Democratizing technology. *Democratizing technology: pleasure, utility and expressiveness in DIY and maker practice*, [S.L.], p. 2603-2612, 27 abr. 2013. ACM. <http://dx.doi.org/10.1145/2470654.2481360>.
- 8 RAZA, Ali; IKRAM, Ataul Aziz; AMIN, Asfand; IKRAM, Ahmad Jamal. A review of low cost and power efficient development boards for IoT applications. 2016 Future Technologies Conference (Ftc), [S.L.], p. 1-5, dez. 2016. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/ftc.2016.7821693>.
- 9 SUPORTE, Intel. Cabeçalhos de jumper para o Kit Intel® Edison para Arduino*. 2017. Disponível em: <https://www.intel.com.br/content/www/br/pt/support/articles/000006021/boards-and-kits.html>. Acesso em: 23 mar. 2022.
- 10 RESOURCES, Design. MSP430FR5994: msp430fr5994 launchpad development kit. MSP430FR5994 LaunchPad Development Kit. 2022. Disponível em: <https://www.ti.com/tool/MSP-EXP430FR5994>. Acesso em: 23 mar. 2022.
- 11 NUCLEO-F410RB. 2022. Disponível em: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f410rb.html>. Acesso em: 23 mar. 2022.
- 12 MITCHELL, G. The Raspberry Pi single-board computer will revolutionise computer science teaching. *Engineering & Technology*, v. 7, n. 3, p. 26–26, 1 abr. 2012.
- 13 SALEH, R.; WILTON, S.; MIRABBASI, S.; HU, A.; GREENSTREET, M.; LEMIEUX, G.; PANDE, P.P.; GRECU, C.; IVANOV, A.. System-on-Chip: Reuse and Integration: pre-designed and pre-verified hardware and software blocks can be combined on chips for many different applications they promise large productivity gains.. *Proceedings Of The Ieee: IEEE Xplore*, United States, v. 6, n. 94, p. 1050-1069, 2006.
- 14 ARDUINO. Gravity: 37 Pcs Sensor Set for Arduino. 2022. Disponível em: <http://store-usa.arduino.cc/products/gravity-37-pcs-sensor-set-for-arduino>. Acesso em: 24 mar. 2022.
- 15 GOUNELLA, R. H. et al. Wireless Portable Evaluation Platform for Photodynamic Therapy: In vitro Assays on Human Gastric Adenocarcinoma Cells. *IEEE Sensors Journal*, v. 20, n. 23, p. 13950–13958, 1 dez. 2020.
- 16 DE CAMPOS DA COSTA, J. P. et al. Portable Laboratory Platform With Electrochemical Biosensors for Immunodiagnostic of Hepatitis C Virus. *IEEE Sensors Journal*, v. 19, n. 22, p. 10701–10709, 15 nov. 2019.
- 17 DA COSTA, J. P. DE C. et al. Photovoltaic Sub-Module With Optical Sensor for Angular Measurements of Incident Light. *IEEE Sensors Journal*, v. 19, n. 8, p. 3111–3120, 15 abr. 2019.

- 18 GOMES, J. M.; CORREIA, J. H.; CARMO, J. P. A Low-Cost Flexible-Platform (LCFP) for characterization of photodetectors. *Measurement*, v. 61, p. 206–215, fev. 2015.
- 19 BADHIYE, Sagarkumar S.; CHATUR, Dr. P. N.; WAKODE, B. V.. Data Logger System: A Survey. *International Journal Of Computer Technology And Electronics Engineering*: BAPURAO DESHMUKH COLLEGE OF ENGINEERING, Sevagram - India, p. 3-4, 2011.
- 20 MERRIAM-WEBSTER. Definition of Nexus. 2022. Disponível em: https://www.merriam-webster.com/dictionary/nexus?utm_campaign=sd&utm_medium=serp&utm_source=jsonld#synonyms. Acesso em: 21 mar. 2022.
- 21 ZIMA, A.; DUPRAT, S.; FRANGI, J.-P. Framework of a New Low-Cost Multipurpose Building Operation Data logger Measurement Network. 2016 IEEE Intl Conference on Computational Science and Engineering (CSE) and IEEE Intl Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC) and 15th Intl Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering (DCABES), ago. 2016.
- 22 PEARCE, Joshua. OPEN-SOURCE LAB: how to build your own hardware and reduce serearch costs. United States: Sciencedirect, 2013. 271 p. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780124104624/open-source-lab>. Acesso em: 21 mar. 2022.
- 23 BAKER, Ed. Open source data logger for low-cost environmental monitoring. *Biodiversity Data Journal*, [S.L.], v. 2, p. 1-6, 11 fev. 2014. Pensoft Publishers. <http://dx.doi.org/10.3897/bdj.2.e1059>.
- 24 BLESSINGTON, T. Praveen; MURTHY, B. Bhanu; GANESH, G. V.; PRASAD, T. S. R.. Optimal implementation of UART-SPI Interface in SoC. 2012 International Conference On Devices, Circuits And Systems (Icdcs), [S.L.], p. 1-5, mar. 2012. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/icdcsyst.2012.6188657>.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

2.1 Introdução

Este capítulo apresenta as teorias dos sistemas que compõem os elementos da fonte, os grupos que pertencem, os tipos e opções disponíveis de módulo, a teoria por trás dos componentes, as capacidades, as suas vantagens e desvantagens.

2.2 Corrente Alternada

O engenheiro e físico sérvio-americano Nikola Tesla [25] (1856-1943) foi responsável por dezenas de avanços na produção, transmissão e aplicação de energia elétrica. Ele inventou o primeiro motor de corrente alternada (AC) [26] e desenvolveu a tecnologia de geração e transmissão da corrente alternada [27]. A sinal AC é constituída por uma onda senoidal e o fundamento básico para se gerar energia é através do movimento mecânico, através de indução eletromagnética e esse dispositivo é chamado gerador de corrente alternada [28]. Ele é composto por uma espira de fio que gira mecanicamente em torno de um eixo posicionado entre dois ímãs entre o polo norte e sul como ilustrado na Figura 2.1(a). Enquanto a espira gira no campo magnético, o fluxo magnético através dela muda e as cargas são forçadas através do fio, dando origem a uma tensão efetiva ou tensão induzida. O fluxo magnético através da espira é uma função do ângulo da espira em relação à direção do campo magnético, como mostra a Figura 2.1(b).

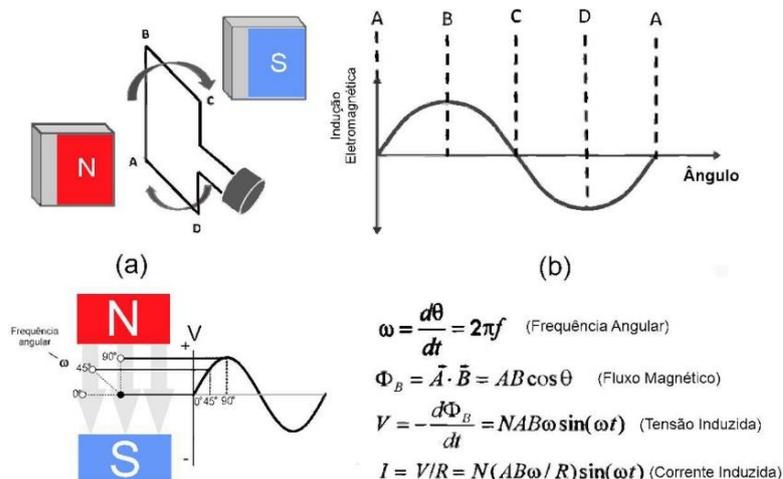


Figura 2.1: Indução entre dois ímãs (a), Senoide formada pela indução (b), como a senoide é formada segundo a frequência angular (c), forças envolvidas na geração da corrente alternada (d). Adaptado de Practical Electronics for Inventors.[29]

A tensão induzida resultante é senoidal [29], com frequência angular ω (radianos por segundo). Podemos observar na Figura 2.1(c) a frequência angular gerada pelo movimento do rotor em relação ao ímã. Os parâmetros envolvidos na geração da corrente alternada são: frequência angular ω , fluxo magnético ϕ , tensão induzida V e corrente induzida I , estas estão representadas na Figura 2.1. (d)

O tipo mais comum de AC é a onda senoidal [30]. A corrente alternada comercial, ou seja, utilizada pelas empresas produtoras de energia também é onda senoidal, ela é fornecida pelas empresas em 60 ou 50 Hertz, porém existem muitos outros tipos de corrente alternada, elas possuem várias formas [31]. Podemos observar na Figura 2.2(a) a onda senoidal, na Figura 2.2(b) observamos uma onda em formato de rampa. A forma de onda consiste em uma tensão que aumenta linearmente com o tempo até atingir um valor final predeterminado e retorna instantaneamente a zero repetindo o ciclo.

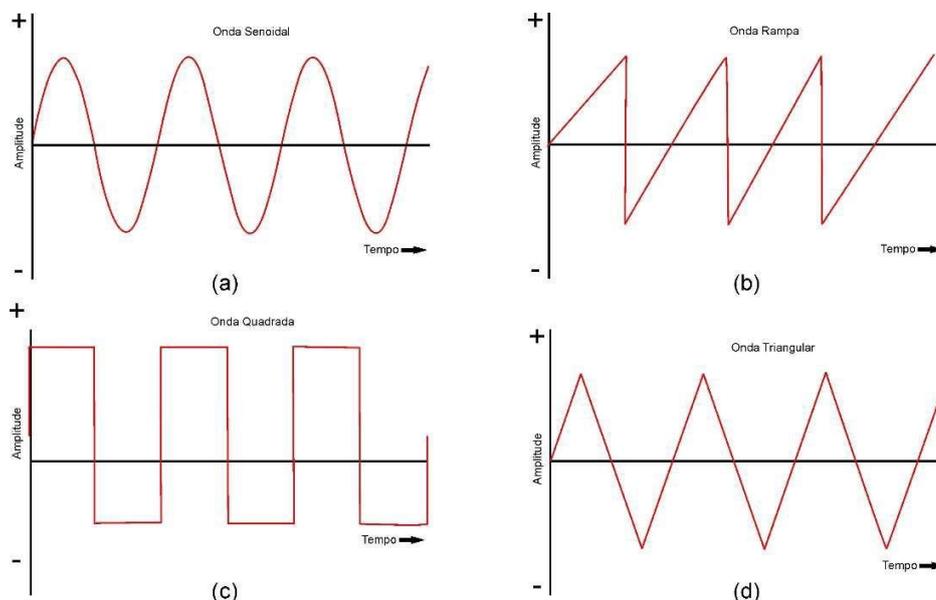


Figura 2.2: Onda senoidal (a), Onda rampa (b), Onda quadrada (c), Onda triangular (d).

Na Figura 2.2(c), a forma de onda quadrada é encontrada em muitas aplicações como saídas digitais, barramentos de comunicação e timer digitais. Quando há oscilação negativa ou positiva da forma de onda, a duração de cada oscilação é sempre igual e, portanto, é uma onda simétrica. As ondas quadradas, ao contrário das ondas senoidais, têm subidas e descidas verticais com topo plano no nível de amplitude de pico, em vez da forma de onda progressivamente crescente com picos agudos que caracteriza a onda senoidal. Elas são basicamente chamadas ondas quadradas por causa dos ângulos de 90 graus. A Figura 2.2(d) mostra as ondas triangulares, que têm uma borda de pico mais nítida em comparação com a onda senoidal. Elas têm um tempo de ascensão e decaimento iguais. A forma de onda consiste em uma tensão que aumenta linearmente com o tempo até atingir um valor final máximo predeterminado, retorna linearmente no mesmo período mínimo, repetindo o ciclo.

2.3 Corrente Contínua

O físico italiano Alessandro Volta [32], inventou a pilha voltaica em 1799 e publicou seus resultados em 1800 através de uma carta dividida em duas partes ao presidente da *Royal Society (Royal Society of London for Improving Natural Knowledge)* [33]. Volta conseguiu provar com sua invenção que a eletricidade poderia ser gerada quimicamente e refutou a teoria

predominante de que a eletricidade era gerada apenas em seres vivos. A invenção de Volta levou ao desenvolvimento do campo da eletroquímica, despertou grande entusiasmo científico e levou outros a realizarem experimentos semelhantes.

O físico francês André-Marie Ampère[34] conjecturou inicialmente que a corrente viajava em uma direção do positivo para o negativo, e quando o fabricante de instrumentos francês Hippolyte Pixii[35] em 1832 construiu o primeiro gerador elétrico de dínamo, ele percebeu que, à medida que o ímã usado passava pelas voltas do fio a cada meia volta, o fluxo de eletricidade invertia, gerando uma corrente alternada. Ampère sugeriu que fosse instalado um comutador, um tipo de "interruptor" onde os contatos no eixo funcionam com contatos de "escova" para produzir corrente contínua.

Ampère observou que fios paralelos com correntes fluindo na mesma direção se atraem e correntes em direções opostas se repelem, como mostrado na Figura 2.3.

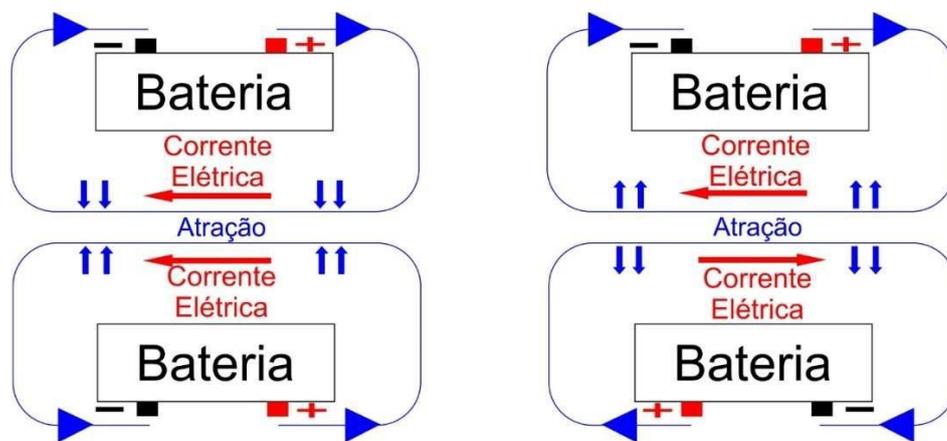


Figura 2.3: Sentido da corrente em relação ao campo magnético.

Ampère conseguiu produzir atração e repulsão magnética na completa ausência de ímãs. Todo o magnetismo foi gerado eletricamente e hoje é conhecido como campo eletromagnético.

A Lei de Ampère[36] relaciona a corrente (constante) que atravessa um circuito S com a circulação sobre este circuito do campo B criado pela corrente A. A corrente na Lei de Ampère é a corrente total, que consiste da soma de correntes positivas e negativas, dependendo da direção, que atravessam o circuito. A Lei de Ampère é uma das Equações de Maxwell[37] e, portanto, uma lei fundamental do eletromagnetismo. Podemos trivialmente verificar que a Lei de Ampère vale para um fio infinito de corrente, em que $B = \mu_0 i / 2\pi r$ a uma distância r do fio. Neste caso temos, para um circuito C circular ao fio, onde sabemos que B tem o mesmo valor, e aponta na direção de dl como visto na equação:

$$\int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I \quad (2.1)$$

2.4 Fontes

As fontes ou Power Supply são responsáveis por converter o sinal AC normalmente 120Vrms ou 220Vrms de Corrente Alternada, em DC ou corrente contínua [38]. Essa conversão é feita através de uma ponte retificadora de onda completa [39] ou de um transformador center-tapped e dois diodos: uma configuração de quatro diodos que permite que a tensão coletada do secundário do transformador seja transformada em corrente contínua pulsante. Conforme Figura 2.4, a tensão ao passar pelo diodo (0.6/0.7 V em cada um, se for diodo de silício) terá pelo menos uma queda de 1,2 V em relação ao pico de tensão de entrada na ponte retificadora para o pico de tensão de saída, pois há duas quedas de 0,6 V através do par de diodos durante cada meio ciclo. Considerando V_{D0} como a queda de tensão de cada diodo, V_o como a tensão de pico na carga e V_p como o valor de pico na fonte, tem-se:

$$V_o = V_p - V_{D0} \quad (2.2)$$

A tensão de ripple, para o retificador de onda completa, é dada pela equação:

$$V_r = \frac{V_o}{2fCR} \quad (2.3)$$

Onde V_r é a tensão de Ripple pico a pico, V_o é a tensão de pico na carga e f é a frequência da fonte CR é o produto do capacitor e do resistor. Observa-se que a frequência no denominador está multiplicada por dois, pois a frequência dobrada existente na carga, em relação à fonte de sinal [40].

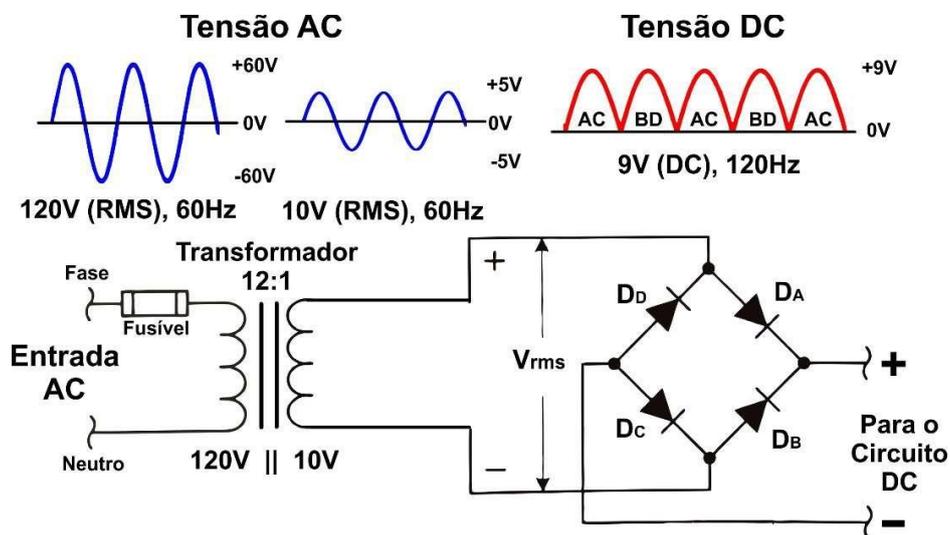


Figura 2.4: Ponte retificadora e transformação de Tensão AC em DC.

Os aparelhos eletrônicos modernos são baseados em rede DC. A tensão necessária para a operação pode variar entre ± 24 Volts, total 48V, e equipamentos mais modernos dentro do padrão internacional USB utilizam 5V [41], enquanto microeletrônica e nano eletrônica utilizam 3.3V e 1.8V. Para essa conversão e adequação da tensão são utilizadas as fontes, que são divididas em três grupos: fontes não reguladas, fontes lineares e fontes chaveadas. A

Figura 2.5 mostra o diagrama de blocos de uma fonte chaveada [42], na qual podemos observar a entrada AC, a ponte retificadora, o comutador de alta frequência, o transformador, os filtros, a realimentação negativa para qualidade do sinal e a saída DC. Falaremos mais das fontes chaveadas nesse capítulo.

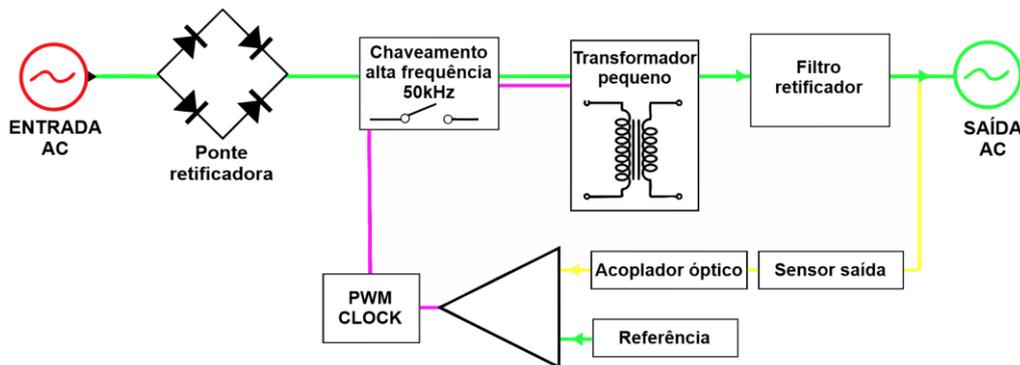


Figura 2.5: Diagramas de blocos de uma fonte chaveada.

2.5 Tipos de Fontes

As fontes transformadoras de AC em DC são divididas em 3 grupos principais: as fontes não reguladas, as fontes lineares e as fontes chaveadas.

As fontes não reguladas [43] são fontes rudimentares, muito pouco utilizadas, constituídas basicamente por um transformador, uma ponte retificadora e um filtro passa baixa [44] como mostra a Figura 2.6. Sua grande desvantagem é que ela transfere diretamente qualquer oscilação de tensão na rede AC, inclusive picos de energia, e a maior parte do ruído é transferido entre a rede AC e DC. Suas vantagens são baixo custo e fácil de fazer.

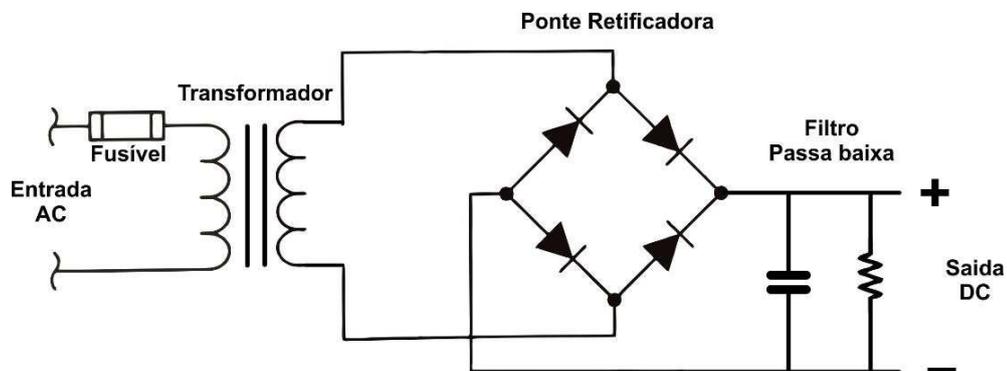


Figura 2.6: Diagrama de fonte não regulada.

As fontes Lineares [45] são basicamente fontes não reguladas com um circuito transistorizado operando de forma linear, daí seu nome. Esse circuito tem como objetivo manter a saída constante, compensando variações na entrada. Essa variação é compensada através de dissipação de calor, caso a tensão seja maior, esse excesso é transformado em calor, e se ele for muito elevado o circuito pode queimar. Se for muito baixa o circuito regulador pode perder a capacidade de regulação, essa variação é chamada Work Range, ou faixa de trabalho. Quando a tensão está abaixo dessa faixa o regulador entra na zona de Voltage

Dropout, ou tensão mínima de operação [46], que é a tensão mínima que o circuito regulador consegue operar. Esse valor é definido pela equação:

$$V_T = V_O + T_d \quad (2.4)$$

Onde V_T é a tensão mínima de operação, V_O é a tensão de saída da ponte retificadora e T_d é a tensão de Dropout do regulador. A tensão de Dropout varia de alguns microvolts até vários volts, e quanto melhor e mais preciso o regulador, menor é a tensão de Dropout requerida. A Figura 2.7 mostra a presença do regulador linear em formato de pacote ou microchip. Ele pode também aparecer em esquemas elétricos no formato de transistores. Suas desvantagens envolvem o aquecimento frequente, a necessidade de dissipadores térmicos e o fato de que a transferência de corrente é a mesma através do circuito, sendo de baixa eficiência. Sua vantagem é que ela é muito estável e de baixo custo.

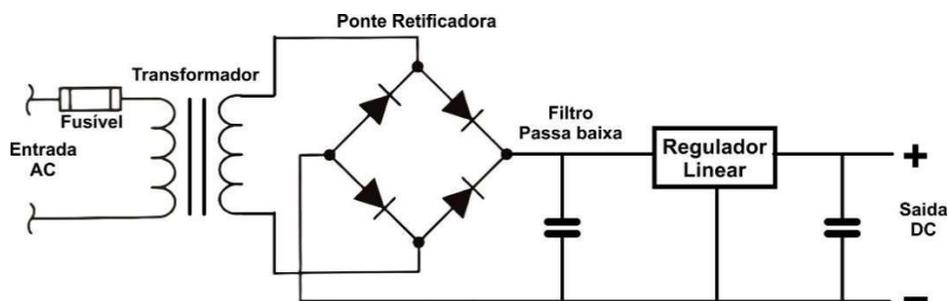


Figura 2.7: Diagrama da fonte linear.

A fonte chaveada [47] (por comutação) é a combinação entre a fonte não regulada e a fonte linear. As fontes chaveadas funcionam retificando a tensão AC de entrada em DC e reconvertendo em AC de onda quadrada em alta frequência, utilizando um oscilador, através de um circuito transistorizado operados como um interruptor liga / desliga (daí o nome chaveada) e transformando novamente em rede DC. Podemos observar na Figura 2.8 que o transformador está ligado a um Mosfet, e devido a esse chaveamento o transformador pode ser menor, pois converte em alta frequência, e isso permite a grande eficiência energética. Outra vantagem da fonte chaveada é que ela é conhecida como universal, podendo operar com qualquer tensão comercial, geralmente entre 90 e 240 Volts, e em qualquer frequência 50Hz e 60Hz. Vantagens: são universais, mais baratas que as não reguladas devido ao transformador menor. Desvantagens: possuem muito ruído devido ao chaveamento de alta frequência.

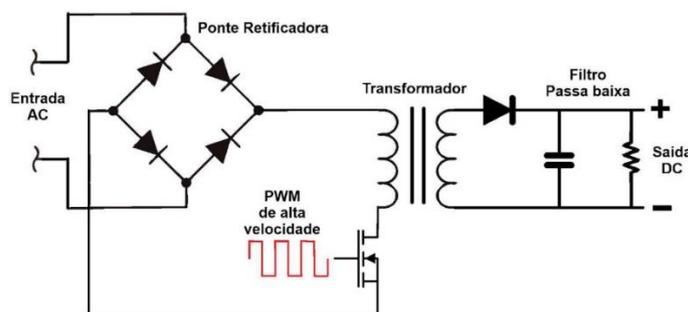


Figura 2.8: Diagrama da fonte chaveada.

2.6 Nobreaks - Uninterruptible Power Supply (UPS)

A energia elétrica nos trouxe conforto e comodidade com a luz elétrica, os bens de consumo, e uma infinidade de produtos elétricos [48], e para vários desses equipamentos é importante que não haja interrupção no fornecimento de energia, pois esses equipamentos são sensíveis à variação de tensão e até mesmo a queda abrupta sem o procedimento adequado de desligamento, existem vários fatores que influenciam a qualidade da energia elétrica, tais como, variação de frequência, oscilação de tensão, sub e sobre tensão, desalinhamento de fase, queda de tensão e múltiplas quedas e religamentos em curto período de tempo [49]. Os equipamentos mais sensíveis não conseguem lidar com esse tipo de problema no fornecimento da energia, e caso aconteça, o trabalho que esse dispositivo esteja executando pode ser perdido, e em alguns casos o equipamento pode ser danificado sem a possibilidade de reparo, além de causar outros problemas. Esses equipamentos são dispositivos sensíveis. Exemplos de dispositivos sensíveis são os equipamentos hospitalares, informática, monitoramento aeroespacial entre outros, portanto, há a necessidade de um dispositivo que faça o controle dessas cargas, que seja capaz de manter o dispositivo funcionando por um determinado tempo e também capaz de manter a qualidade do sinal na entrada AC no dispositivo. Logo, existe a necessidade de utilizar os UPS (Uninterruptible Power Supply), que são dispositivos que fornecem energia de qualidade, limpa, regulada e de forma ininterrupta.

2.7 Funcionamento UPS

Os UPS são constituídos basicamente de três partes, um circuito de alimentação ligado à rede elétrica, um circuito inversor e uma bateria. Na Figura 2.9 podemos observar o circuito operando pela rede AC, marcado pela linha verde, mantendo a tomada energizada e a bateria carregada. Em caso de falta de energia, o circuito inversor aciona e mantém funcionando via bateria, conforme ilustra a Figura 2.10.

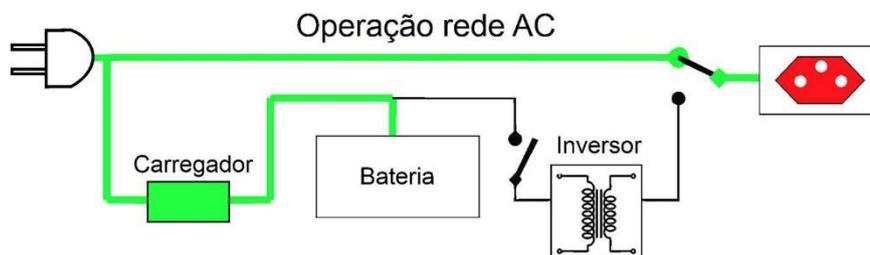


Figura 2.9: Diagrama de Funcionamento do Nobreak na rede AC.

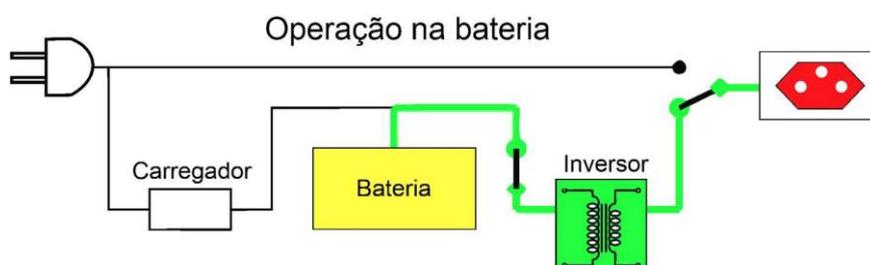


Figura 2.10: Diagrama de Funcionamento do Nobreak na bateria em DC.

Os sistemas UPS de pequeno porte possuem tempo de autonomia limitada, porém, o suficiente para garantir o desligamento dos equipamentos em segurança e de forma correta. Alguns sistemas não podem ser desligados e precisam ser alimentados constantemente requerendo UPS maiores. Esses são conectados a bancos de bateria que permitem várias horas de autonomia. Alguns sistemas suportam trabalhar em paralelo ou em série com geradores a combustão que podem manter o sistema funcionando por tempo indeterminado. Por exemplo, em datacenters, os sistemas UPS são usados por apenas alguns minutos até que os geradores elétricos assumam o controle [50].

2.8.1 UPS *Offline*

O UPS *Offline* [51] é o mais comum e popular por ser mais barato, operando com dois circuitos básicos: um de alimentação e estabilização pela rede, e o outro circuito inversor que funciona direto pela bateria. Ele possui também um detector de sub/sobre tensão e ruído, e caso ocorra algum evento fora dos padrões pré-determinados, ele sai da rede e entra em operação via bateria. Essa comutação é realizada por um relé que atua em questão de milissegundos, mas não há interação entre os dois circuitos, e por curto período tempo em milissegundos, o circuito fica totalmente sem energia [51]. Conforme podemos observar na Figura 2.11 os dois circuitos são distintos sendo selecionados pelo relé.

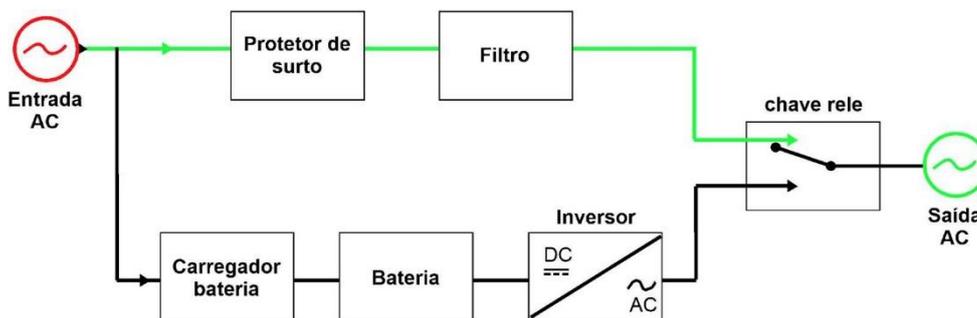


Figura 2.11: Diagramas de blocos de um UPS *Offline*.

2.8.2 UPS *Online*

O UPS *online* [52] é o mais avançado e mais caro. O inversor está continuamente fornecendo energia limpa da bateria. A bateria, por sua vez, possui um carregador dando carga constantemente conectado a ela. O equipamento conectado ao UPS nunca está recebendo energia diretamente da tomada AC, criando uma camada extra de proteção ao dispositivo. É mais caro, pois, a vida da bateria é menor, requerendo uma bateria de melhor qualidade, o equipamento é preparado para uma maior demanda com melhores componentes e o circuito interno opera em maior stress, já que não há comutação entre os circuitos, e por estar em constante uso, esse sistema requer refrigeração ativa, podendo se tornar um equipamento barulhento [52]. O diagrama de blocos da Figura 2.12 mostra o sistema do nobreak Online, onde todos os módulos estão constantemente operando em série.

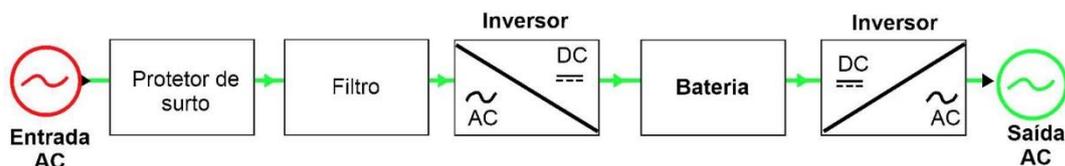


Figura 2.12: Diagrama do nobreak Online.

2.8.3. Line Interactive

O UPS *line interactive* [53] é uma combinação do *Offline* e *Online*. Ele tem duas grandes vantagens: é mais barato que o Online e mais eficiente que o *Offline*. Nesse sistema, o inversor tem duas funções: dar carga na bateria enquanto a rede está operando normalmente e regular a tensão de saída. Quando a rede não está presente, ele aciona a bateria funcionando como o inversor também regulando a saída. Não há interrupção no fornecimento como no sistema *Offline*.

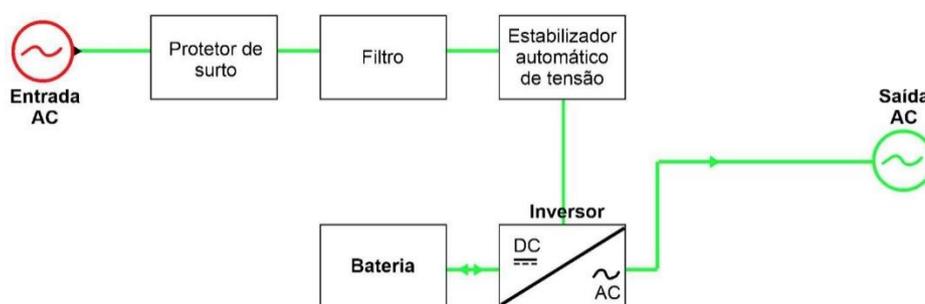


Figura 2.13: Diagrama de blocos do UPS line interactive.

O UPS Line Interactive oferece proteção de energia aprimorada em relação aos Offline, fornecendo condicionamento de linha adicional. A Figura 2.13 mostra o diagrama de blocos do line interactive. Ele é muito semelhante ao Online, porém, demanda menos stress à bateria e aos componentes por não ser um sistema ativo a todo momento.

2.9 Baterias

A “Bateria de Bagdá” – ou “bateria de pote de cerâmica” [54] é a mais antiga do mundo e foi descoberta nos restos de Khu jut Rabu, uma vila nos arredores da capital iraquiana Bagdá. Esta bateria tem mais de 2.000 anos. Acreditava-se que ela era usada para revestimento metálico (galvanização), e não como fonte para gerar eletricidade. A tensão teria sido entre 1.5V à 2V. Não se sabe exatamente qual teria sido a solução eletrolítica, mas podemos imaginar que eles podem ter usado vinagre ou vinho [54]. A bateria é uma forma de armazenar e transportar energia elétrica, ela basicamente consiste em um recipiente com uma solução eletrolítica e dois metais condutores, como cobre e zinco, como foi a primeira bateria de Alessandro Volta em 1799 [55]. A Figura 2.14 mostra o princípio básico de uma bateria, dois metais diferentes, como cobre e zinco, mergulhado em uma solução ácida.

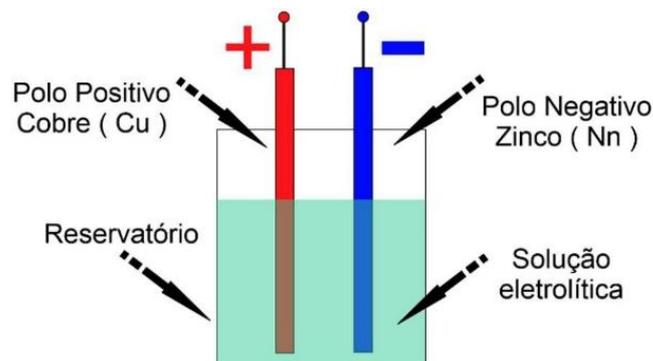


Figura 2.14: Fundamento básico da bateria.

2.9.1 Tipos de Baterias

As baterias de células eletroquímicas [56] são divididas em dois grupos, apesar de existirem várias outras categorias, as duas principais são: primária, que são baterias não recarregáveis, isso significa que elas não podem ser recarregadas com eletricidade; e secundária que são as recarregáveis, podendo armazenar energia após seu uso, através de carregadores.

2.9.2 Baterias Primárias

As baterias primárias [57] são uma fonte de energia fácil, muito utilizada para eletrônicos e dispositivos portáteis, como relógios, controles e lanternas. Esse tipo de bateria é conhecido como bateria descartável, sua grande vantagem é a baixíssima taxa de autodescarga, permitindo que ela fique armazenada por longos períodos e funciona quando preciso, sua desvantagem é que elas não podem ser recarregadas quando ficam sem energia. As baterias primárias são baratas, leves e fáceis de usar, e livres de manutenção. Geralmente são do tipo de célula única, ou seja, apenas uma célula sem ser agrupada. As baterias primárias têm forma cilíndrica, longa, como as pilhas alcalinas, que possuem esse nome devido à solução eletrolítica presente nelas: hidróxido de potássio – uma substância alcalina pura. A composição de uma bateria primária é zinco (Zn) e dióxido de manganês (MnO_2). Tem uma densidade de potência de 100 Wh/kg. Outros formatos e tamanhos podem incluir forma de moeda (botão), também conhecida como baterias de célula tipo botão. Elas são frequentemente usadas em controles remotos, relógios e pequenos aparelhos portáteis. A composição das células tipo botão são alcalinas, porém, elas contêm compostos com melhor rendimento, como prata ou lítio, aumentando muito sua eficiência, tornando o fornecimento de energia constante e estável. Sua densidade de potência é de 270 Wh/kg [57]. Algumas baterias primárias são agrupadas como baterias de 9V, possuindo 6 células de 1.5V; ou a bateria A23 de 12V, que contém 8 células de 1.5V. Na Tabela 1 podemos observar outros tipos de baterias primárias, suas tensões por célula e tipos de aplicação.

Tabela 1: Exemplo de baterias primárias [58].

Composto químico	Tensão célula	Informações
Zinco-carbono	1.5V	Aplicações de baixa demanda , Bateria de custo baixo
Cloreto de zinco	1.5V	Aplicações de alta demanda , Bateria de custo médio
Alcalina - (dióxido de zinco-manganês)	1.5V	Aplicações de alta drenagem , Média Densidade de energia, Bateria de custo elevado
Hidróxido de óxido de níquel dióxido de zinco-manganês	1.7V	Aplicações de alta drenagem , Média Densidade de energia Bateria de custo elevado, e aplicações específicas
Lítio (óxido de lítio-cobre) Li-CuO	1.7V	Aplicações de baixíssima demanda, por longo período, alta densidade. Não é mais fabricada devido ao elevado custo, substituída por óxido de prata
Lítio (dissulfeto de lítio-ferro) LiFeS ₂	1.5V	Aplicações de alta drenagem ou demanda , Bateria conhecida como Alcalina Plus ou Extra
Lítio (dióxido de lítio-manganês)	3V	Aplicações de alta descarga ou de longa duração devido a sua baixa autodescarga , Bateria de custo elevado
LiMnO ₂ (Óxido de mercúrio)	1.35V	Aplicações de corrente constante , Bateria proibida na maioria dos países por ser tóxica
Zinco-ar	1.35V à 1.65V	Aplicações para micro dispositivos devido ao seu tamanho , Bateria de alto valor, utilizada em relógios, e aparelhos auditivos
Óxido de prata (prata-zinco)	1.55V	Aplicações de longa duração , Bateria de valor elevado, conhecida também como “Botão”

2.9.3 Baterias Secundárias

As baterias secundárias [57] tem como principais vantagens o fato de elas pode ser recarregadas e reutilizadas por vários ciclos, sendo conhecidas como também como baterias recarregáveis. As baterias secundárias geralmente têm um custo mais elevado que as primárias. Mas, considerando que elas permitem vários ciclos de carga, elas podem ter uma vida útil mais longa. As baterias secundárias podem ser utilizadas de duas formas básicas: para dispositivos de armazenamento de energia em loop e aplicações de carga primária.

As baterias de armazenamento em loop fornecem e armazenam energia para dispositivos como fontes de alimentação ininterruptas (UPS), veículos elétricos híbridos (HEV) ou mesmo a bateria dos carros convencionais que fornecem energia e são carregadas pelo mesmo circuito, sem a necessidade de dispositivo adicional. Isso significa que eles são usados como dispositivos de armazenamento de energia em loop, onde são conectados eletricamente à fonte de energia principal. Ao mesmo tempo, eles são carregados por essa fonte, formando um loop fechado.

As baterias de carga secundária são as baterias recarregáveis, utilizadas em um dispositivo e carregadas por outro dispositivo. Elas geralmente são baterias de eletrônicos portáteis como celulares, laptops, brinquedos, controles remotos, entre outros. Quando estiverem completamente ou quase descarregadas, podem ser recarregadas com um mecanismo de carregamento externo, como carregadores via cabo USB ou fontes AC/DC.

Como exemplo, nas baterias de smartphones, a maioria dos modelos utiliza bateria de íons de lítio, que possuem uma vida útil grande e são facilmente recarregadas. Este tipo de bateria atua como sua principal fonte de energia, mas, ao contrário das baterias em loop, precisam de uma fonte externa para realizar a recarga, necessitando do carregador USB.

As baterias de chumbo-ácido são encontradas na maioria dos carros, UPS e sistemas solares. Elas podem ser sólidas (estacionárias), em gel, ou líquidas, dependendo da aplicação. Ela vem com uma tensão nominal de 6V a 24V e com uma densidade de potência de 7 Wh/kg. Na Tabela 2 podemos observar outros tipos de baterias secundárias, suas tensões por célula e tipos de aplicação.

Tabela 2: Exemplo de baterias secundárias [58].

Composto químico	Tensão célula	Informações
NiCd - níquel cádmio	1.2v	Aplicações de Altíssima demanda , Bateria baixo custo. Sofre com efeito memória, alta taxa de auto descarga. Vida útil reduzida, sendo substituídas por lítio ou NiMH
Pb- Chumbo ácido	2.2v	Aplicação de média Alta demanda , Bateria de baixo custo. Não sofre efeito memória, baixa taxa de auto descarga, baixa descarga em ambientes frios, utilizada em veículos
NiMH - Níquel-hidreto metálico	1.2v	Aplicações de média baixa demanda , Bateria de médio custo. Não sofre efeito memória, baixa taxa de auto descarga. Vendida com bateria Premium
Lithium ion	3.6v	Aplicações de alta demanda , Bateria de custo elevado. Não sofre efeito memória, baixa taxa de auto descarga, usada em laptops, e dispositivos eletrônicos, altamente inflamável
Lithium Cobalt Oxide (LiCoO ₂)	3.6v	Aplicações de alta demanda de corrente , Bateria de custo elevado e reservada a aplicações específicas. Bateria 1C
Lithium Iron Phosphate (LiFePO ₄)	3.3v	Aplicações de média demanda , Bateria de médio custo, excelente vida útil, perde capacidade eletroquímica no frio, alta taxa de auto descarga, Bateria 1C
Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (LiNiMnCoO ₂)	3.7v	Aplicações de alta demanda de corrente , Bateria de baixo custo, excelente vida útil, baixa taxa de descarga, Bateria 1-5C
Lithium Manganese Oxide (LiMn ₂ O ₄)	3.8v	Aplicações de altíssima demanda de corrente , Bateria de alto custo, resistente à variação térmica Bateria 5-10C
Lithium Titanate (Li ₂ TiO ₃)	2.4v	Aplicações de média demanda , Bateria de alto custo, altamente estável e muito segura, resistente à variação térmica, vida útil elevada Bateria de 1-5C

2.10 Reguladores de Tensão DC

Os reguladores de tensão DC [59] tem como função primária adequar a tensão principal do circuito para um uso específico, podendo elevar ou reduzir a tensão, acomodando as necessidades de um determinado circuito, como por um exemplo, o Arduino Uno, que contém uma entrada de 3.5mm que permite alimentá-lo com 7V até 18V. Porém, a tensão de operação do micro controlador se limita a 5V e 3.3V, e nessa situação é utilizado um regulador para manter constante a tensão de 5V e outro para 3.3V independente da tensão aplicada na entrada.

Os reguladores de tensão são divididos em vários grupos, porém os dois principais são: os Lineares e Switching.

2.10.1 Reguladores Lineares

Os reguladores lineares [59] têm como função limitar a tensão de saída para um valor específico. Eles funcionam como um resistor, variando seu valor conforme a entrada, e dissipando o excesso de energia em forma de calor. Eles podem ser construídos usando componentes passivos, mas são geralmente encontrados em formas de circuitos integrados. Os reguladores de tensão podem ser fixos ou variáveis. Os reguladores fixos têm a saída pré-determinada, onde não é possível ajustar esse valor. Já os reguladores variáveis possuem uma referência conectada ao ponto central de um divisor de tensão, realimentado pela saída do regulador, e isso permite que o regulador tenha a capacidade de alterar a saída, tendo uma maior opção de ajuste [59]. Esse divisor de tensão pode ser fixo utilizando dois resistores ou pode ser variado contendo um potenciômetro que permite a alteração do valor na saída de forma fácil e rápida. Os reguladores de tensão mais comuns no mercado são a série LM78xx para tensões positivas, e a série LM79xx para tensões negativas. Os reguladores de tensão possuem várias características, como a tensão de operação, cujo valor varia entre dois números. A mínima tensão de operação, também conhecida como Dropout [46], é o menor valor de entrada antes que ele perca a capacidade de regulação; e a tensão máxima, que é o valor máximo que ele suporta antes de queimar. Por ser um regulador que dissipa o excesso de energia de forma térmica, quanto mais perto do valor máximo a entrada for, mais ele esquentará, independente da corrente demandada, porém aumento da corrente acarretará maior dissipação.

A corrente nominal é o valor da corrente máxima que o regulador linear consegue fornecer. Acima dessa corrente, além de superaquecer, ele perde a capacidade de manter a tensão, que cai linearmente com o aumento da corrente. As tensões fixas mais comuns são 1,8 V, 2,5 V, 3,3 V para circuitos lógicos CMOS de microeletrônica; 5 V para circuitos lógicos baseados em transistor; 12 V para motores DC, comunicação, redes, entre outros periféricos.

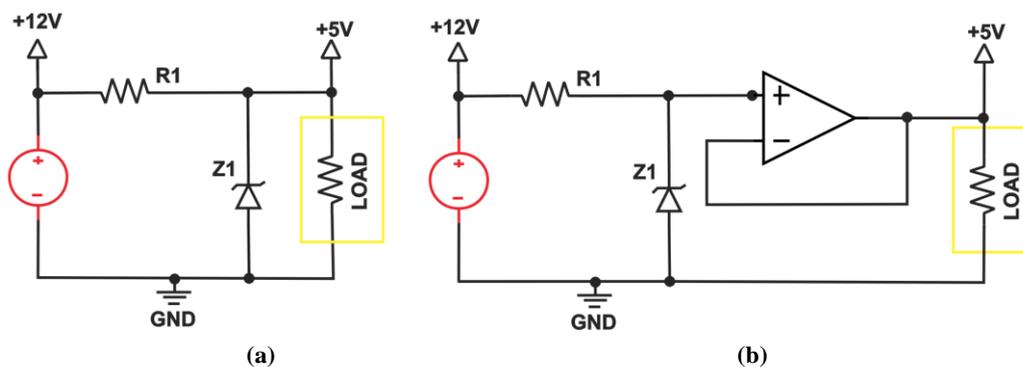


Figura 2.15: Regulador Linear Shunt (a) e com seguidor de tensão (b).

O regulador Shunt[60] na Figura 2.15 representa um regulador linear Figura 2.15(a), a mais simples configuração utilizando dois componentes na configuração shunt, operando por meio de um diodo Zener Z1 que mantém uma tensão constante. O resistor R1 limita a corrente entre o diodo e a fonte. Esse formato de regulador é usado para aplicações de baixa potência, geralmente seguido por um amplificador operacional no formato de seguidor de tensão ou Buffer Figura 2.15(b) onde as correntes envolvidas são muito pequenas e a carga LOAD está permanentemente conectada ao circuito. A equação para o cálculo do regulador é o resistor R1 é o produto da tensão da fonte V_s , menos a tensão do Diodo Zener V_{Z1} dividido pela corrente do Zener I_z mais a corrente da carga I_{Load} .

$$R1 = \frac{V_s - V_{Z1}}{I_z + I_{Load}} \quad (2.5)$$

A regulação desse tipo de circuito sem um seguidor de tensão é muito ruim, pois se a corrente da carga I_{Load} exceder a corrente do diodo I_z , a tensão regulada irá cair abaixo do ideal, podendo queimar o diodo e, conseqüentemente, perdendo a regulação e passando a tensão de entrada direto para a carga I_{Load} .

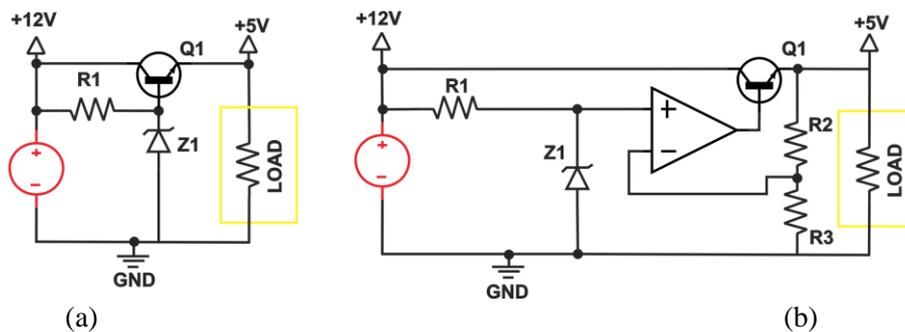


Figura 2.16: regulador em série (a), regulador em série com feedback negativo interno (b).

O regulador linear [61] em série simples apresenta a adição de um estágio seguidor emissor ao regulador shunt, figura 2.16(a). Nesse arranjo, o regulador de tensão tem uma melhora significativa na regulação do circuito. Dessa forma, a corrente da carga Load é fornecida pelo transistor onde a base agora está conectada ao diodo Zener. Assim, a corrente de base do transistor (I_B) forma a corrente de carga para o diodo Zener, e é muito menor que a corrente através da carga Load. Este regulador é classificado como "série" porque o elemento regulador transistor está em série com a fonte e a carga.

$$R1 = \frac{V_s - V_{Z1}}{I_z + KI_B} \quad \text{Onde } I_B = \frac{I_{Load}}{H_{Fe}(\min)} \quad (2.6)$$

A equação para o cálculo do regulador em série equivale ao valor do resistor R1, que é o produto da tensão da fonte V_s menos a tensão do Diodo Zener V_{Z1} , dividido pela corrente do Zener I_z mais a constante K (de 1.2 à 2) corrente da base do transistor I_B , que é o produto de corrente da carga I_{Load} dividida pelo ganho mínimo do transistor $H_{Fe}(\min)$.

O circuito linear em série é mais estável e tem melhor performance que o regulador shunt, pois a corrente de base do transistor requer menos corrente do Zener, minimizando, assim, a variação na tensão no Zener e minimizando o risco de queima. Um fator que deve ser levado em consideração é que a tensão de saída será sempre de 0,65 V, menor que o valor do Zener devido à queda VBE (Tensão base emissor) do transistor. O circuito linear pode ser aprimorado e se tornar mais estável e sensível à variação de alimentação, utilizando um circuito de feedback negativo, esse circuito tem um amplificador operacional na base do transistor e sendo alimentado negativamente através de um divisor de tensão na saída do transistor como podemos observar na Figura 2.16(b). Esse circuito de feedback negativo permite maior variação de tensão na entrada do regulador, tornando-o mais estável.

Os reguladores de tensão com saída variável têm os resistores da realimentação negativa externos, onde o engenheiro desenvolvedor decide a tensão necessária para o circuito utilizando dois resistores ou um resistor e um potenciômetro para ajustes finos na saída, caso o regulador seja de saída fixa esse divisor de tensão é interno, com valores fixos e definidos pelo próprio fabricante.

2.11 Reguladores DC-DC

Os conversores DC-DC [62] chaveados ou Switching convertem um nível de tensão DC em outro, a entrada DC é transformada em AC de alta frequência e transformada novamente em DC. Esse nível de tensão pode ser maior ou menor que a tensão de entrada, esse tipo de conversor armazena a energia de entrada em eletromagnetismo utilizando indutores ou transformadores e depois libera essa energia para a saída em uma tensão diferente.

A conversão por chaveamento tem por característica a alta eficiência energética, geralmente superior à dos reguladores lineares, que são em média de baixo desempenho com fator de aproveitamento abaixo de 75% de eficiência [59], já os chaveados estão em média entre 75% a 98% de eficiência [62]. A maior eficiência do conversor DC-DC permite reduzir a dissipação de calor e aumentar a durabilidade da bateria de equipamentos portáteis. Essa eficiência é devido ao uso de FETs de potência, que são capazes de chavear de forma mais eficiente, com frequências mais altas do que os transistores bipolares de potência, e com isso podem usar circuitos de acionamento mais rápidos, melhorando a performance.

Os conversores DC-DC [62] são projetados para mover a energia em apenas uma direção, porém, todas as topologias de reguladores de comutação podem ser bidirecionais e capazes de mover a potência em qualquer direção, substituindo todos os diodos por retificação ativa através de MOSFETs, controlando-os de forma independente.

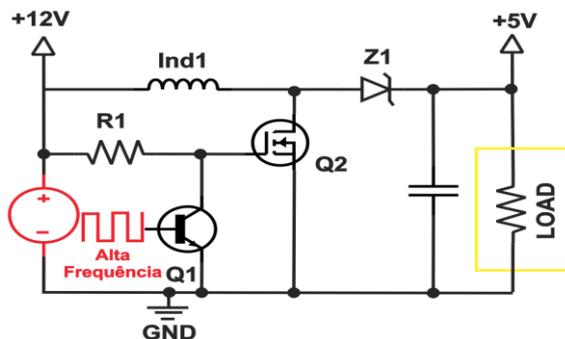


Figura 2.17: Esquema elétrico do conversor DC-DC.

A Figura 2.17 mostra o esquema elétrico do DC-DC. Nele podemos observar o uso do MOSFET, que ao ser acionado pelo transistor Q4 em alta frequência, aterriza o indutor IND1 a cada meio ciclo, fazendo com que a corrente seja elevada dentro do indutor, e na outra metade do ciclo, o transistor Q4 desacopla fazendo com que essa corrente passe pelo diodo Z1 e siga na direção da carga. O capacitor na saída C1 ajuda a estabilizar essa tensão após o diodo.

Um conversor bidirecional [63] é muito útil e utilizado em aplicação de descarga e carga de baterias, como por exemplo, em frenagem regenerativa de veículos elétricos, onde a energia é fornecida às rodas durante a condução, mas fornecida pelas rodas durante a frenagem. A Figura 2.18 ilustra um regulador bidirecional operado com 4 MOSFETs que atuam em ambas direções através de um microcontrolador. Esse arranjo é muito similar a uma ponte H.

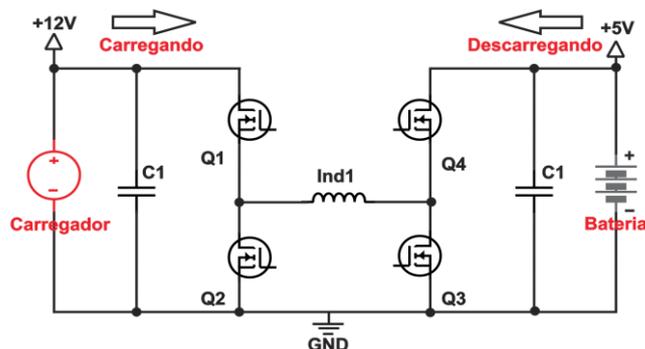


Figura 2.18: Reguladores DC-DC bidirecional.

Os reguladores DC-DC, apesar de aparentarem ser simples, requerem alguns cuidados devido ao chaveamento de alta frequência. Os componentes devem ser cuidadosamente escolhidos e fisicamente organizados, respeitando as especificações do fabricante, para manter o ruído baixo o suficiente para não afetar o resto do sistema. Existem vários tipos de conversores DC-DC disponíveis no mercado, dentre eles daremos destaque ao Buck, Boost e Buck-Boost.

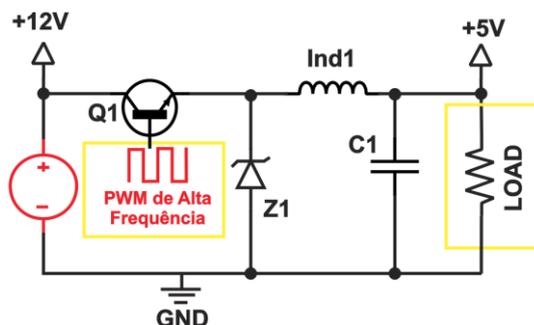


Figura 2.19: DC-DC tipo Buck.

O regulador DC-DC mais usado é o Buck [64], que é usado para converter uma tensão DC para DC de tensão mais baixa de mesma polaridade, ou seja, se a tensão precisar ser reduzida mantendo a mesma polaridade. O conversor Buck usa um transistor como chave que conecta e desconecta alternadamente a entrada da tensão para um indutor.

A Figura 2.19 mostra o regulador tipo Buck. Quando o transistor Q1 liga, a tensão de entrada é conectada ao indutor, e a diferença entre a entrada e as tensões de saída são forçadas através do indutor, fazendo com que a corrente aumente, e durante o tempo ligado, a corrente do indutor flui tanto para a carga quanto para o capacitor de saída, quando o transistor Q1 é desligado, a tensão de entrada aplicada ao indutor é removida, e como a corrente em um indutor não pode mudar instantaneamente, a tensão no indutor se ajustará para se manter constante; o indutor é forçado negativamente pela corrente decrescente, eventualmente atingindo a tensão do diodo, e a corrente do indutor então flui através da carga e através do diodo. O capacitor descarrega durante o tempo desligado ajudando a nivelar a tensão.

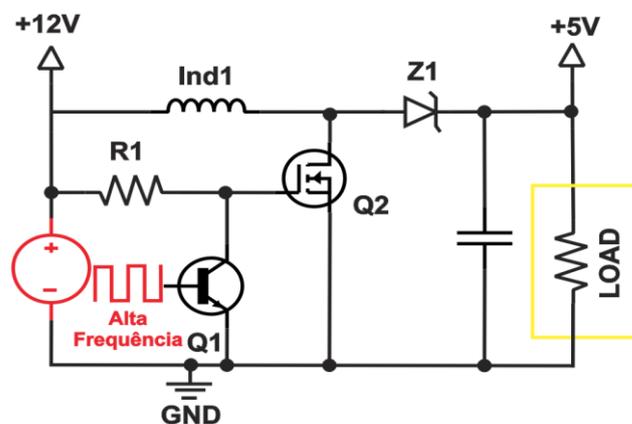


Figura 2.20: Regulador DC-DC Boost.

O regulador DC-DC tipo Boost [65] recebe uma tensão de entrada DC e produz uma tensão de saída DC maior que o valor de entrada, também de mesma polaridade. Esse regulador é mostrado na Figura 2.20. Nele observamos que, quando o interruptor está ligado, a tensão de entrada é forçada através do indutor, o que faz com que a corrente através dele aumente. Quando o interruptor está desligado, a corrente decrescente do indutor força o transistor do indutor a oscilar positivo, esta polarização direta do diodo permite que o capacitor carregue até uma tensão que é maior do que a tensão de entrada. Durante a operação em regime permanente, a corrente do indutor flui tanto para o capacitor de saída quanto para a carga durante o tempo de desligamento. Quando a chave está ligada, a corrente de carga é fornecida apenas pelo capacitor.

O regulador Buck-Boost Inverting [66] recebe uma tensão de entrada DC e produz uma tensão de saída DC que é o oposto em polaridade à entrada. Isso cria uma tensão de saída negativa que pode ser maior ou menor em magnitude do que a tensão de entrada.

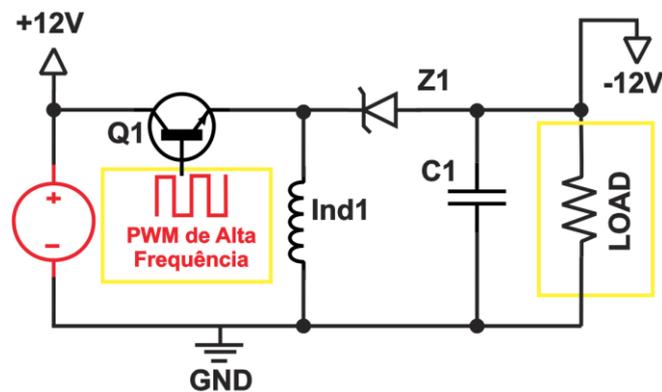


Figura 2.21: Regulador Buck-Boost inverter..

O regulador Buck-boost opera da seguinte forma: quando a chave está ligada, a tensão de entrada é forçada através do indutor causando um fluxo de corrente crescente através dele. Durante o tempo ligado, a descarga do capacitor de saída é a única fonte de corrente de carga, isso requer que a carga perdida do capacitor de saída durante o tempo de ativação seja reabastecida durante o tempo desligado, quando o transistor desliga, o fluxo de corrente decrescente no indutor faz com que a tensão no diodo oscile negativo. Esta ação liga o diodo, permitindo que a corrente no indutor alimente tanto o capacitor de saída quanto a carga. A corrente de carga é fornecida pelo indutor quando a chave está desligada e pelo capacitor de saída quando o interruptor está ligado.

O regulador Buck-Boost pode estar disponível na versão não invertida, permitindo que a saída seja positiva maior ou menor que a tensão de entrada, sua configuração é a combinação dos dois circuitos Buck e Boost.

2.12. Referências

- 25 HADZIGEORGIU, Yannis. Biographical Profiling of Nikola Tesla for the Creation of an Engaging Story. *Education Sciences*, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 12, 28 dez. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/educsci12010012>.
- 26 JARVIS, C. Mackechnie. Nikola Tesla and the induction motor. *Electronics And Power*, [S.L.], v.15, n. 12, p. 436, 1969. Institution of Engineering and Technology (IET). <http://dx.doi.org/10.1049/ep.1969.0438>
- 27 TESLA, N.; ANDERSON, L. I. Nikola Tesla on his work with alternating currents and their application to wireless telegraphy, telephony, and transmission of power : an extended interview. Breckenridge, Colo.: Twenty-First Century Books, 2002.
- 28 WALKER, J.H.. The theory of the inductor alternator. *Journal Of The Institution Of Electrical Engineers - Part II: Power Engineering*, [S.L.], v. 89, n. 9, p. 227-241, jun. 1942. Institution of Engineering and Technology (IET). <http://dx.doi.org/10.1049/ji-2.1942.0037>.
- 29 SCHERZ, Paul; MONK, Simon. *Practical Electronics for Inventors*. 3. ed. United States: McGraw-Hill, 2013. 1013 p.
- 30 VALENTINUZZI, M.e.. Nikola Tesla: why was he so much resisted and forgotten?. *Ieee Engineering In Medicine And Biology Magazine*, [S.L.], v. 17, n. 4, p. 74-75, 1998. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/51.687968>.
- 31 SYMONS, P. *Digital waveform generation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- 32 CECCHINI, R.; PELOSI, G.. Alessandro Volta and his battery. *Ieee Antennas And Propagation Magazine*, [S.L.], v. 34, n. 2, p. 30-37, abr. 1992. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/74.134307>.
- 33 THE Royal Society: History of the Royal Society. *History of the Royal Society*. 2022. Disponível em: <https://royalsociety.org/about-us/history/>. Acesso em: 25 maio 2022.
- 34 WILLIAMS, L. P. André-Marie Ampère. *Scientific American*, v. 260, n. 1, p. 90–97, 1989.
- 35 DOPPELBAUER, M. The invention of the electric motor 1800-1854. Disponível em: <<http://www.sze.hu/~szenasy/VILLVONT/vill%20vont%20bevezhez/History%20-%20The%20invention%20of%20the%20electric%20motor%201800-1854.html>>. Acesso em: 25 maio 2022.
- 36 BARCHIESI, D. Didactical formulation of the Ampère law. *European Journal of Physics*, v. 35, n. 3, p. 038001, 27 mar. 2014.
- 37 HILL, S. Eric. Reanalyzing the Ampère-Maxwell Law. *The Physics Teacher*, [S.L.], v. 49, n. 6, p. 343-345, set. 2011. American Association of Physics Teachers (AAPT). <http://dx.doi.org/10.1119/1.3628256>
- 38 SINGH, Bhim; SINGH, Sanjeev; CHANDRA, Ambrish; AL-HADDAD, Kamal. Comprehensive Study of Single-Phase AC-DC Power Factor Corrected Converters With High-Frequency Isolation. *Ieee Transactions On Industrial Informatics*, [S.L.], v. 7, n. 4, p. 540-556, nov. 2011. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tii.2011.2166798>.
- 39 RIM, G.; KRISHNAN, R. AC to DC power conversion with unity power factor and sinusoidal input current. [Proceedings] APEC '91: Sixth Annual Applied Power Electronics Conference and Exhibition, [s.d.]. <http://dx.doi.org/10.1109/APEC.1991.146203>
- 40 SCHERZ, Paul; MONK, Simon. *Practical Electronics for Inventors*. 3. ed. United States: McGraw-Hill, 2013. 613 p.
- 41 FAN HE. USB Port and power delivery: An overview of USB port interoperability. 2015 IEEE Symposium on Product Compliance Engineering (ISPC), <http://dx.doi.org/10.1109/ISPC.2015.7138710>
- 42 ZHOU, Xiang; XU, Jianping; ZHONG, Shu; LIU, Yan-Fei. Soft Switching Symmetric Bipolar Outputs DC-Transformer (DCX) for Eliminating Power Supply Pumping of Half-Bridge Class-D Audio Amplifier. *Ieee Transactions On Power Electronics*, [S.L.], v. 34, n. 7, p. 6440-6455, jul. 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tpe1.2018.2873234>.

- 43 AMARAL, A. M. R.; CARDOSO, A. J. M. Unregulated AC-DC power supply under heavy load operation: Simulation and design. 2017 IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), jun. 2017.
- 44 TAE-HAK LEE; BOYOUNG LEE; LEE, J. First-order reflectionless lumped-element lowpass filter (LPF) and bandpass filter (BPF) design. 2016 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS), maio 2016, <http://dx.doi.org/10.1109/ISIE.2017.8001367>
- 45 CARNITI, P.; CASSINA, L.; GOTTI, C.; MAINO, M.; PESSINA, G.. A low noise and high precision linear power supply with thermal foldback protection. *Review Of Scientific Instruments*, [S.L.], v. 87, n. 5, p. 054706, maio 2016. AIP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1063/1.4948390>.
- 46 SHIN, H. J. et al. Low-dropout on-chip voltage regulator for low-power circuits. *Proceedings of 1994 IEEE Symposium on Low Power Electronics*, [s.d.]. Agosto 2002 <http://dx.doi.org/10.1109/LPE.1994.573210>
- 47 CHAMIM, A. N. N. et al. Uninterruptable Power Supply based on Switching Regulator and Modified Sine Wave. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, v. 7, n. 3, p. 1161, 1 jun. 2017.
- 48 **A história da eletricidade e de cientistas que mudaram o mundo [vídeo]**. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/ciencia/122576-historia-eletricidade-cientistas-mudaram-mundo-video.htm>>.
- 48 GUERRERO, Josep M.; VICUNA, Luis Garcia de; UCEDA, Javier. Uninterruptible power supply systems provide protection. *Ieee Industrial Electronics Magazine*, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 28-38, 2007. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/mie.2007.357184>.
- 49 CAMPELO DE MELO, M. O. B. Avaliação do impacto da qualidade de energia elétrica na produção industrial: proposta de metodologia. **Produto & Produção**, v. 9, n. 3, 24 out. 2008.
- 50 KARPATI, A. et al. Uninterruptible Power Supplies (UPS) for data center. 2012 IEEE 10th Jubilee International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, set. 2012. <http://dx.doi.org/10.1109/SISY.2012.6339543>
- 51 MARTINEZ, S.; CASTRO, M.; ANTORANZ, R.; ALDANA, F.. Off-line uninterruptible power supply with zero transfer time using integrated magnetics. *Ieee Transactions On Industrial Electronics*, [S.L.], v. 36, n. 3, p. 441-445, 1989. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/41.31508>.
- 52 AAMIR, Muhammad; MEKHILEF, Saad. An Online Transformerless Uninterruptible Power Supply (UPS) System With a Smaller Battery Bank for Low-Power Applications. **Ieee Transactions On Power Electronics**, [S.L.], v. 32, n. 1, p. 233-247, jan. 2017. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tpel.2016.2537834>.
- 53 KWON, Bong-Hwan; CHOI, Jin-Ha; KIM, Tae-Won. Improved single-phase line-interactive UPS. **Ieee Transactions On Industrial Electronics**, [S.L.], v. 48, n. 4, p. 804-811, 2001. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/41.937413>.
- 54 HANDORF, DR. D. E. V. The Baghdad Battery—Myth or Reality? Technical Article, **Plating & Surface Finishing**, maio 2002.
- 55 CECCHINI, R.; PELOSI, G. Alessandro Volta and his battery. **IEEE Antennas and Propagation Magazine**, v. 34, n. 2, p. 30–37, abr. 1992. <http://dx.doi.org/10.1109/74.134307>
- 56 RUBENBAUER, Hubert; HENNINGER, Stefan. Definitions and reference values for battery systems in electrical power grids. **Journal Of Energy Storage**, [S.L.], v. 12, p. 87-107, ago. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.est.2017.04.004>.
- 57 M BARAK. **Electrochemical power sources : primary and secondary sources**. Stevenage: Peregrinus, 1980.
- 58 **Primary and Rechargeable Battery Chemistries with Energy Density**. Disponível em: <<https://www.epectec.com/batteries/chemistry/>>.
- 59 BROWN, Marty. An Introduction to the Linear Regulator. **Power Sources And Supplies**, [S.L.], p. 1-12, 2008. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-7506-8626-6.00001-6>
- 60 GAO, J.; LI, D. Robust design on sequential switching shunt regulator circuit. **Proceedings of the 33rd**

- 61 BONTEMPO, G.; SIGNORELLI, T.; PULVIRENTI, F. Low supply voltage, low quiescent current, ULDO linear regulator. **ICECS 2001. 8th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (Cat. No.01EX483)**, [s.d.]. <http://dx.doi.org/10.1109/ICECS.2001.957766>
- 62 XU PENG et al. A family of novel interleaved DC/DC converters for low-voltage high-current voltage regulator module applications. **2001 IEEE 32nd Annual Power Electronics Specialists Conference (IEEE Cat. No.01CH37230)**, [s.d.]. <http://dx.doi.org/10.1109/PESC.2001.954332>
- 63 GARCIA, O.; ZUMEL, P.; CASTRO, A. de; COBOS, A.. Automotive DC-DC bidirectional converter made with many interleaved buck stages. **Ieee Transactions On Power Electronics**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 578-586, maio 2006. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tpel.2006.872379>.
- 64 SILVA-ORTIGOZA, Ramon; HERNANDEZ-GUZMAN, Victor Manuel; ANTONIO-CRUZ, Mayra; MUNOZ-CARRILLO, Daniel. DC/DC Buck Power Converter as a Smooth Starter for a DC Motor Based on a Hierarchical Control. **Ieee Transactions On Power Electronics**, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 1076-1084, fev. 2015. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tpel.2014.2311821>.
- 65 HASANEEN, B. M.; MOHAMMED, Adel A. Elbaset. Design and simulation of DC/DC boost converter. **2008 12Th International Middle-East Power System Conference**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 335-340, mar. 2008. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/mepcon.2008.4562340>.
- 66 GABORIAULT, M.; NOTMAN, A. A high efficiency, non-inverting, buck-boost DC-DC converter. **Nineteenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2004. APEC '04.**, [s.d.]. <http://dx.doi.org/10.1109/APEC.2004.1296049>

Capítulo 3

Materiais e métodos

3.1 Introdução

Este capítulo trata do processo de desenvolvimento da fonte, incluindo as matérias utilizadas e métodos envolvidos, o diagrama de blocos da fonte e suas principais funções e conexões. Ele explica como a fonte será montada, como serão feitas as conexões e o motivo dos componentes presentes na fonte. Serão descritos os modelos e as características básicas dos seus componentes

3.2 Visão Geral

A fonte é dividida em 4 funções distintas: entrada, processamento, saída e controle. Cada uma das funções é divididas em subgrupos que serão definidos nesse capítulo. A Figura 3.1 representa o diagrama de blocos básico da fonte, onde se observa a entrada vinda da rede AC do lado esquerdo, passando do conversor entre AC para DC, depois pelo processamento e controle das funções internas da fonte, dos reguladores de tensão DC-DC e a saída da fonte para o *Data logger Nexus*. A fonte também pode ser utilizada como uma fonte fixa de bancada, uma vez que ela é capaz de operar sozinha.



Figura 3.1: Visão geral simplificada da fonte ilustrando as três funções.

3.3 Função 1 – Entrada AC

A entrada da fonte consiste em um cabo e conector Tipo 8 não aterrado. O cabo de 1.8 metros possui um anel de ferrete para supressão de ruído na base do conector (ele foi escolhido por ser amplamente utilizado em eletrônicos e abundante no mercado). O conector fêmea de entrada da fonte possui um fio conectado diretamente a um terminal do conversor DC 24V, o outro em um dos terminais da chave ON/ON de 250V 3A modelo KDC11(essa chave foi escolhida pelo tamanho pequeno e por atender a especificação do projeto que é de 60W). O outro terminal da chave está conectado a um dos terminais do suporte de fusível de vidro 5x20 mm de 3A de rosca externo (o suporte e o fusível de vidro foram escolhidos pelo baixo custo e pela facilidade de troca), o outro terminal do suporte do fusível está conectado ao conversor DC de 24V 2.5A 60W modelo M5-60-24 (esse conversor foi escolhido pelo tamanho pequeno, por ser chaveado e esquentar pouco, e por atender a necessidade de corrente do circuito).

Podemos observar com maior facilidade o diagrama conforme a Figura 3.2

A chave ON/OFF permite que o conversor DC 24V seja completamente desligado ou mantenha o conversor DC de 24V ligado para a carga da bateria. O fusível garante proteção ao circuito caso o conversor DC de 24V entre em curto ou pane.

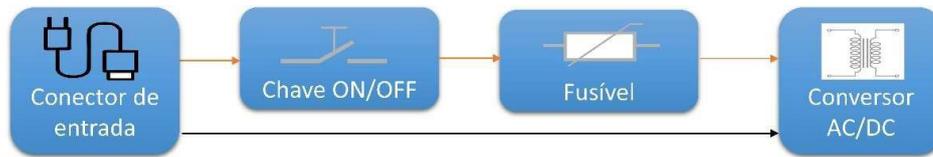


Figura 3.2: Diagramas da função 1, entrada da fonte.

3.4 Função 2 – Entrada DC

A função 2 contempla as entradas DC. Nela, há o circuito monitor da carga da bateria, seletor de origem de alimentação, monitor de temperatura e detector de nível de bateria e presença de tensão AC.

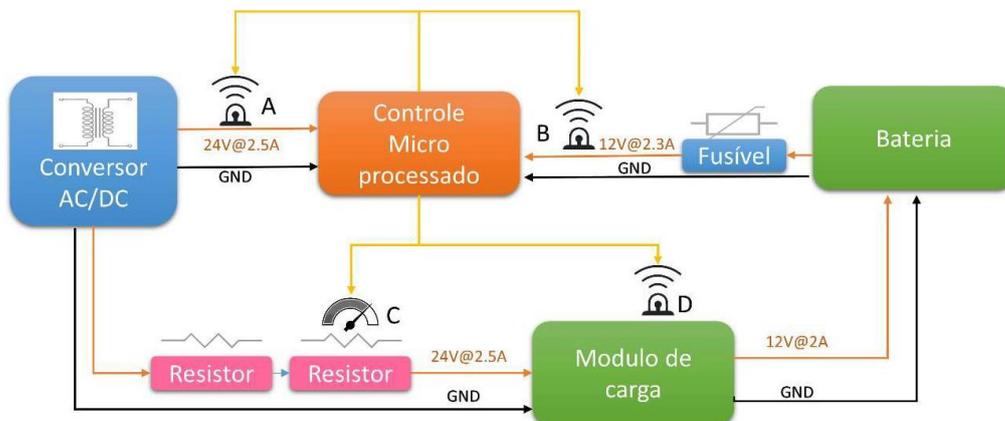


Figura 3.3: Diagrama da função 2, entradas DC.

A Figura 3.3 ilustra a função a ser descrito abaixo, a saída positiva do conversor DC de 24V está dividida em dois caminhos: o primeiro direto para a placa processada e o segundo passa por dois resistores de 6 ohms de 50W em série e para o módulo de carga da bateria. Os resistores foram escolhidos pela potência e pela grande capacidade de troca de calor, pois estão revestidos em um dissipador de calor metálico. O módulo de carga da bateria é DD30CRTA para baterias de Ácido-Chumbo de 12V até 45A (esse módulo foi escolhido pelo tamanho pequeno, proteção contra sobrecarga, curto-circuito e carga lenta que permite maior vida útil da bateria). A bateria embarcada ao sistema é chumbo-ácida de 12V@2.5A modelo VRLA12-2.5 (essa bateria foi escolhida pelo tamanho pequeno, por ser mais resistente a vazamento, não pegar fogo, e operar em várias temperaturas). O módulo de carga da bateria não possui uma saída de comunicação ou de nível lógico para informar o nível de tensão da bateria ou se a bateria está sendo carregada, porém, ele possui um LED que acende quando está carregando, esse LED permite hackear o módulo e, através de um pino analógico conectado a esse LED, monitorar se a bateria está sendo carregada. Caso ele esteja dando carga, o LED acenderá.



Figura 3.4: Resistor de 6 ohm 50W (a) placa controladora de carga (b).

A Figura 3.4(a) mostra o resistor escolhido de 50W e a Figura 3.4(b) mostra a foto do módulo de carga em detalhe na parte inferior da placa, onde está o LED marcando CHRG do inglês CHARGING ou carregando. O módulo pode fornecer à bateria até 9A de carga inicial. Essa corrente deve ser limitada para evitar superaquecimento do conversor DC 24V e do equipamento em geral, já que ela fornece apenas 2.5A, por isso, foram colocados dois resistores em série, dessa forma, podemos concluir que:

$$I = \frac{V}{R_1+R_2} \quad I = \frac{24v}{6+6} \quad I = 2A \quad (3.1)$$

O cálculo mostra que I é a corrente máxima entregue a bateria, V é a tensão na entrada do BMS (battery management system), R_1, R_2 são os resistores na entrada, o limite da corrente inicial na bateria está abaixo do máximo fornecido pelo conversor DC, isso permite que o circuito não trabalhe sob estresse e evita o superaquecimento de todo o conjunto e ao mesmo tempo não reduzirá a corrente de outros dispositivos ligados ao mesmo tempo enquanto carrega a bateria.

A Bateria está ligada em paralelo entre a saída do carregador e a placa controladora. No fio positivo há um fusível de 2A, para que caso haja um curto-circuito entre o carregador ou a placa lógica e a bateria, ele proteja a fonte e seus componentes. Esse fusível está colocado dentro da fonte em uma cápsula de rosca.

A placa lógica é capaz de controlar várias operações através de sensores instalados ao decorrer do circuito. O sensor A na Figura 3.3 é um divisor de tensão ligado à saída do conversor DC e ligado a uma porta analógica do microcontrolador. Quando a fonte é ligada na rede AC e o interruptor colocado na posição ligado, o microcontrolador detecta o nível lógico alto vindo dos 24V e sabe que a fonte está operando em AC. O sensor B da Figura 3.3 é outro divisor de tensão ligado na saída da bateria após o fusível. Ele divide a tensão de trabalho útil da bateria que é de 12V até 10.5V. Essa tensão é mapeada pelo microcontrolador que informará que a bateria está entre 100% (12V+) a 0% (10.5V) de carga. O sensor C é um sensor de temperatura TMP36 (esse sensor foi escolhido pelo baixo custo e pela saída analógica que não requer muita memória do microcontrolador) ligado a um dos resistores de 50W, e a uma porta analógica do microcontrolador. Ele permite monitorar a temperatura do resistor e saber se o circuito precisa ser refrigerado ou se a temperatura está muito elevada e acionar o desligamento de emergência. O sensor D é um divisor de tensão ligado no LED de carga, e ligado a um pino lógico no microcontrolador. Ele permite saber se a bateria está sendo

carregada quando o LED está aceso.

3.5 Função 3 – Saídas

A função 3 contempla o sistema de reguladores DC-DC para as saídas da fonte, a realimentação para a placa controlada e o sensor de temperatura na saída da fonte. Na Figura 3.5 podemos observar o módulo DC-DC simétrico +12V/-12V alimentado os módulos de 5V e 3.3V. O conversor DC 24V e a bateria 12V estão ligados na placa de controle microprocessada. Essa placa seleciona uma das duas entradas DC baseado na presença ou não da rede AC, que é detectada pelo sensor A na Figura 3.5, quando a rede AC é plugada e a chave de entrada está na posição ligada, o conversor DC 24V recebe tensão, e com isso o sensor A notifica o microprocessador.

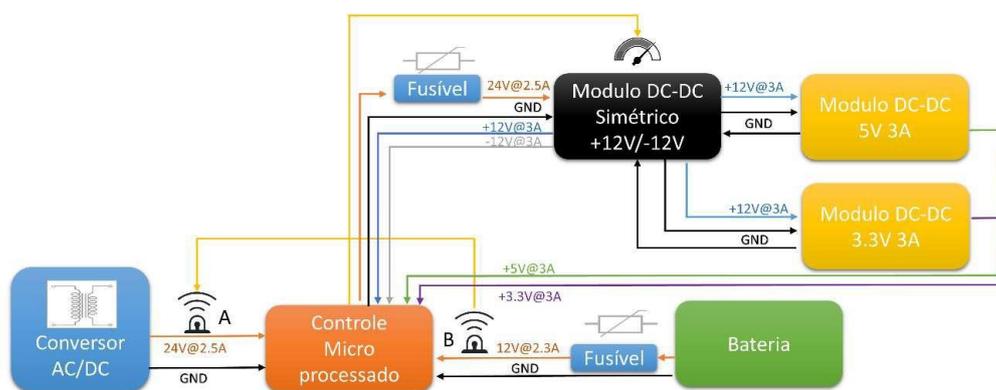


Figura 3.5: Diagrama da função 3 onde são alimentados os reguladores DC-DC.

A placa microprocessada possui dois reles modelo JQC-3FF-S-Z (esses reles foram escolhidos pelo tamanho pequeno, suportar até 15A e seu baixo custo) onde um seleciona a entrada adequada, e o outro funciona como chave liga-desliga para habilitar a saída de tensão para os conversores DC-DC. Se o sensor A detectar tensão, o rele chaveia a entrada para o conversor DC 24V e desacopla a bateria, que fica disponível para ser carregada, caso precise. Se o sensor A não detectar tensão, ele chaveia o rele para a bateria, o rele consegue chavear entre os terminais em menos de 5 milissegundos. Essa velocidade permite que a mudança seja imperceptível para o circuito, evitando reinícios ou outros problemas ocasionados por falta de energia, esse chaveamento é equivalente a um UPS off-line visto no Capítulo 2.

Uma vez que a tensão de entrada é selecionada, o segundo rele aciona a saída para os reguladores, a placa microprocessada envia essa tensão para o conversor DC-DC Simétrico que passa por um fusível antes de 3A instalado na parte traseira da fonte, esse fusível protege a placa microcontrolada e o resto dos conversores, caso algum deles entre em curto.

A placa Simétrica DC-DC possui um circuito Buck-Boost converter modelo Nd54360 (esse módulo foi escolhido por fornecer tensão positiva e negativa simétrica de pico a pico 24V, além do baixo custo) ele recebe tanto 24V da fonte quanto 12V da bateria e gera duas saídas +12V e -12V. A saída negativa de -12V retorna à placa controladora, a tensão positiva

+12V ramifica em dois segmentos, um retorna para a placa controladora e o outro alimenta dois DC-DC Buck, um com saída de 5V com 3A e 3.3V com 3A. Ambas as placas são modelo Lm2596 (esse módulo foi escolhido pela versatilidade de ajuste de tensão, baixa perda interna e baixo custo). As saídas de 5V e 3.3V também retornam para a placa controladora.

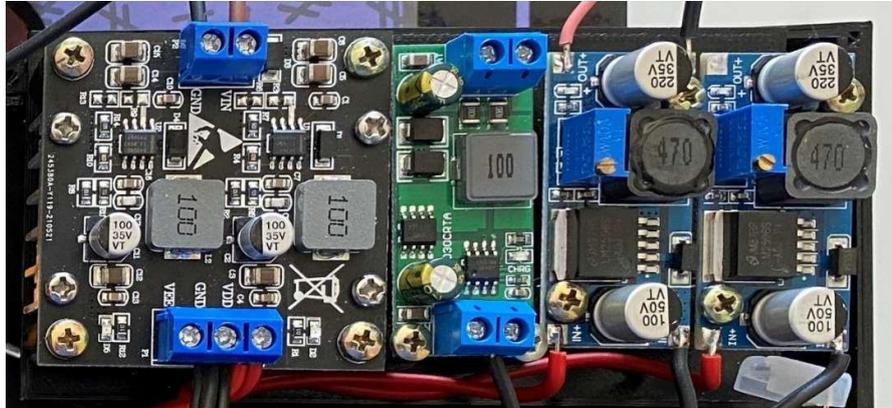


Figura 3.6: Módulos de conversão DC-DC e carga de bateria.

O circuito DC-DC simétrico possui um sensor térmico, modelo TMP36 acoplado externamente a um Diodo de saída na tensão positiva. Ele monitora o aquecimento do módulo, que além de gerar os 12V, alimenta os outros dois módulos de 5V e 3.3V. Esse sensor notifica o microcontrolador que pode acionar o sistema de refrigeração, caso necessário. A Figura 3.6 mostra, da esquerda para a direita, o módulo simétrico de cor preta; o módulo de carga da bateria de cor verde; módulo regulado para 5V e o módulo regulado para 3.3v, ambos na cor azul.

3.6 Função 4 – Controle

A função 4 descreve os controles discretos da placa microprocessada e periféricos auxiliares, que compõem a fonte.

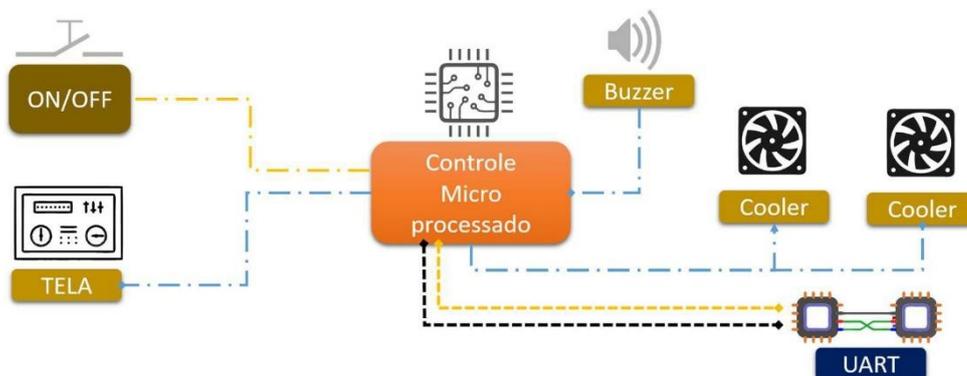


Figura 3.7: Diagrama da função 4, discretos da placa.

A placa microprocessada contém um microcontrolador de 8bit modelo ATMEGA3285Pb com um clock de 24MHz (esse microcontrolador foi escolhido por ser muito popular, por ser utilizado no Arduino UNO, versátil, com várias portas, simples de

programar e barato). Ele possui 17 interfaces digitais e 6 interfaces analógicas. Além de controlar as principais funções da fonte, ele também é capaz de controlar alguns dispositivos discretos.

A chave ON/OFF da Figura 3.7 é um interruptor momentâneo lógico-mecânico, diferente da chave do conversor DC 24V na Figura 3.2, essa chave é responsável por ligar e colocar a fonte em modo de operação. Quando o usuário pressiona o botão, ele aciona uma pequena parte do circuito que liga o microcontrolador, uma vez o microcontrolador iniciado e operando, ele aciona um pino digital que se mantém ligado, esse mesmo botão, se for pressionado enquanto a fonte estiver ligado, inicia o processo de desligamento, e coloca o pino digital para baixo, desligando a fonte por completo. O pino digital utiliza um rele de baixa carga ele mantém o circuito ativo enquanto for necessário, ou até que seja solicitado o desligamento, conforme podemos observar na Figura 3.8.

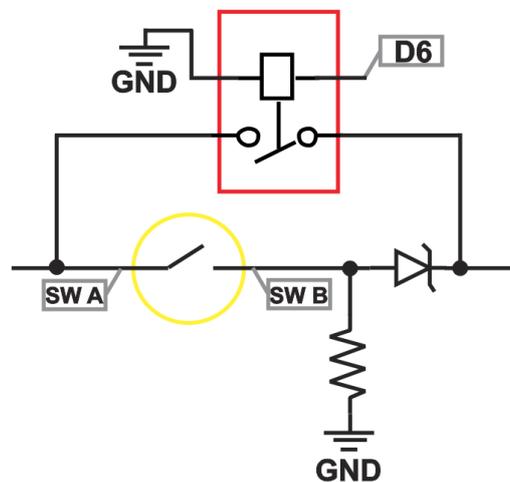


Figura 3.8: Chave combinada lógico-mecânica.

A Placa microprocessada também é capaz de exibir informações através de uma tela OLED de 128x64 pixels modelo GM009605 (essa tela foi escolhida pelo tamanho compacto, alto brilho e baixo consumo energético). Como observado na Figura 3.7, a tela pode exibir informações como: origem da tensão de entrada, porcentagem da bateria, temperatura interna, índice de refrigeração, alertas de superaquecimento, bateria fraca, desligamento solicitado entre outros avisos. A tela é conectada à placa microprocessada e utiliza o protocolo I2C de comunicação. A placa também contém um aviso sonoro através de um buzzer modelo 1210 (esse buzzer foi escolhido por ser barato e abundante), também observado na Figura 3.7, que combina com as informações na tela. Ele é utilizado para alertar eventos como, liga e desliga, e alertas críticos como de temperatura e bateria fraca.

Os sensores de temperatura notificam o microcontrolador que, de acordo com uma temperatura predeterminada, pode manter os coolers modelo 075-5050 (esse cooler foi escolhido pelo tamanho compacto, por ser 12V e baixo energético) de forma estacionária ou incrementar sua velocidade de 25% em 25% até 100% de acordo com a temperatura. Essa temperatura é chamada Setpoint, e ela é determinada previamente no código.

A placa também é equipada com uma porta de comunicação externa UART, como visto na Figura 3.7, com um conector de 2x3 pinos. Ele possui 3 pinos de comunicação serial via RS232 (a comunicação RS232 foi escolhida por ser fácil de implementar e monitorar, além de ser fácil de ser ligada a qualquer computador), além de um pino lógico, GND e 5V, totalizando 6 pinos.

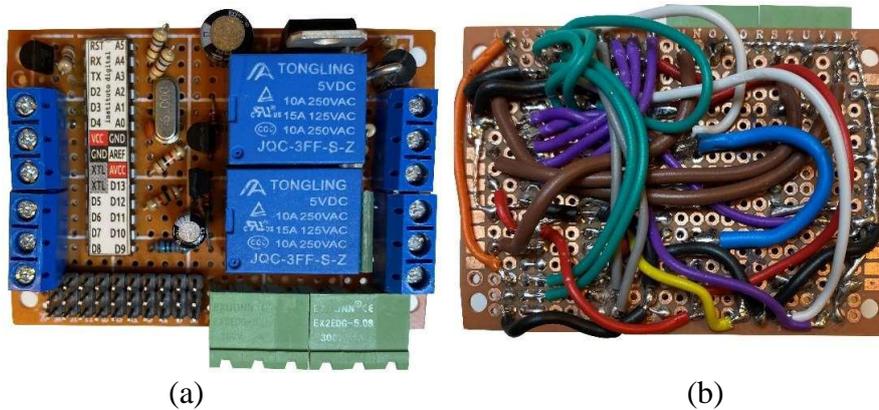


Figura 3.9: Vista superior da placa de controle (a), vista inferior (b).

A Figura 3.9(a) mostra a primeira versão da placa microcontrolada. Nela, podemos observar os barramentos de rosca na cor azul, nos dois lados da placa, onde há entrada e saída das tensões. O barramento verde são os conectores de saída da fonte. No canto esquerdo inferior, podemos observar 3x10 linhas de barramento, nela está a interface para interruptor, tela, coolers e sensores. No centro há duas caixas azuis que são os reles, o superior é responsável em chavear a entrada de tensão para o resto da placa, e o rele inferior é responsável em selecionar entre a conversor DC 24V ou a Bateria de 12V. A Figura 3.9(b) mostra a parte inferior da placa, contendo os fios em forma de ponte para o funcionamento correto do circuito.

A Figura 3.10 mostra o diagrama de blocos detalhado da fonte, da direita para a esquerda, a entrada vinda da rua até a saída ao lado direito indo para o *Data logger NEXUS*.

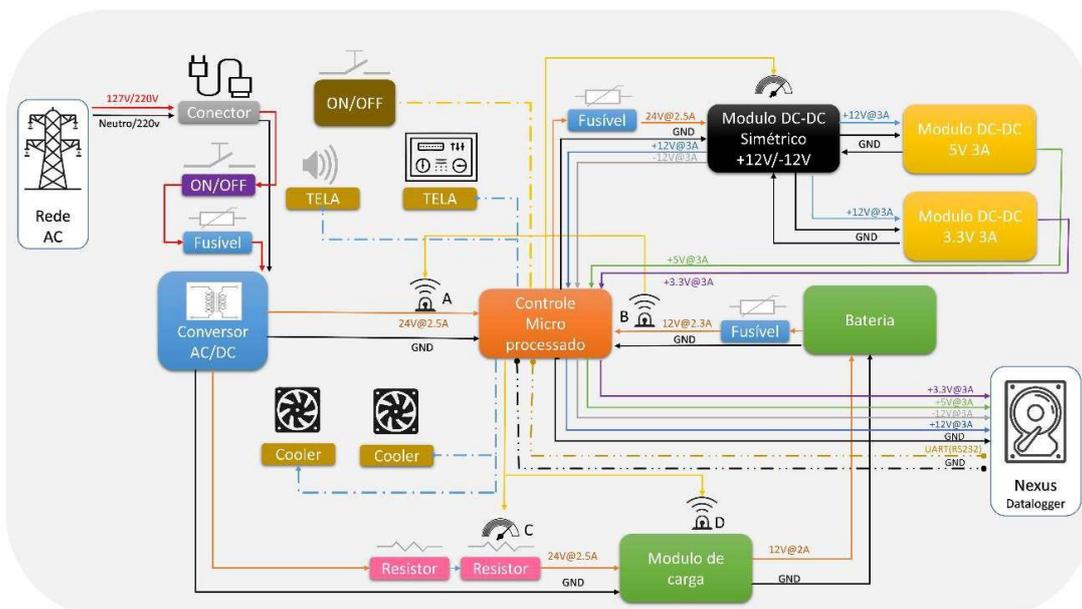


Figura 3.10: Todas as funções que compõem a fonte.

A Tabela 3: mostra todos os componentes e preço utilizados na fonte. Valores em Dólar

#	Item	Modelo	Caracteristics	Custos
1	Cabo de força	Type 8	1.8m two poles	\$5.88
2	Conector de entrada	Type 8	chassis mount	\$0.85
3	Chave ON/OFF	KDC11	250V 3A ON/ON	\$0.20
4	2 porta fusível	Generic	chassis mount	\$1.16
5	2 fusíveis de vidro	5x20mm	3A	\$0.20
6	Conversor AC/DC	M5-60-24	24 V/ 3A bivolt	\$10.99
7	2 resistores	50W6J	6 Ω 50 W metal dissipation	\$5.98
8	Bateria 12V	EP12-2.2	12V 2.3Ah lead-acid battery	\$19.00
9	Fusível vidro	5x20mm	2A	\$0.10
10	Porta fusível	Generic	wire to wire	\$0.69
11	Sensor temperatura	TMP36	-40 +125 °C analog sensor	\$1.75
12	DC-DC buck-boost	TPS54360	symmetric 3 A +12V 3A -12V	\$14.36
13	2 DC-DC buck	LM2596	positive de 3 A 3.2V at 40 V	\$3.60
14	Tela OLED	GM009605	OLED 128x64 pixel I2C	\$1.66
15	BMS	DD30CRTA	12Vup to 45A/h charger	\$7.99
16	Fios de carga	Generic	AWG 10	\$6.00
17	Fios DC	Generic	AWG 13	\$5.00
18	Fios secundários	Generic	AWG 18	\$5.00
			Total:	\$90.41

Tabela 3 mostra os componentes utilizado na montagem da fonte, nele está incluso os itens como o nome do produto, o modelo utilizado, as características mais importantes dos itens e o valor em Dólar, esses valores foram cotados e os mais baratos encontrados foram adicionado á tabela. Os sites utilizados para a pesquisa foram: amazona.com, aliexpress.com, mouser.com e digikey.com,

Capítulo 4 Manufatura Aditiva, Prototipação e Programação

4.1 Introdução

O capítulo trata do processo de desenvolvimento da placa microprocessada da fonte utilizando Eagle-CAD, sua elaboração, disposição dos componentes e fabricação. O Fusion-360 foi utilizado para fazer o desenho CAD do corpo da Fonte, a disposição dos módulos, o formato e a fabricação utilizando uma impressora 3D.

4.2 Circuito Impresso

A placa microprocessada da fonte tem como objetivo receber os cabos de conexão de energia, sensores, tela, coolers, fontes e fusíveis. A placa foi dimensionada para ser de 50x70mm com 2 até 4 furos de fixação. Inicialmente foi escolhida uma placa de fenolite perfurada para receber os componentes e fazer as devidas conexões, com foi observar na Figura 3.9(b) do Capítulo 4. O circuito ficou poluído com muitos fios sobrepostos, isso tornou os testes e reparos muito difíceis de serem realizados, após algumas interações com a placa, apesar da simplicidade do circuito, houve a necessidade de adicionar mais componentes e fazer algumas alterações, tornando a placa muito complicada de se reparar e tornando inutilizável, além disso, o microcontrolador parou de responder à solicitação de reprogramação, ficando preso com um código incompleto, todos esses fatores levam a decisão de efetuar a troca da placa por uma devidamente desenhada sem o uso de fio e pontes, sendo assim, a placa de fenolite precisou ser aposentada na sua primeira versão.

A placa desenhada também manteve a dimensão de 50x70mm, os furos de fixação foram reduzidos para 3 para dar mais espaço aos novos componentes e para o desenvolvimento dessa placa foi escolhido o software o Eagle-CAD, um software próprio para desenho de circuitos impressos. Ele é gratuito para estudantes, por isso a escolha para esse projeto. Na Figura 4.1(a) podemos observar a interface de confecção do esquema elétrico.

O Eagle-CAD possui duas interfaces ou programas, uma para montagem do circuito elétrico onde os componentes são conectados criando o esquemático elétrico e a outra para a montagem física dos componentes, onde são alocados os espaços para serem fabricados e receber os componentes físicos. Esses espaços são feitos para receber os componentes tanto com precisão geométrica como com a pinagem correta, seguindo a folha de dados dos fabricantes de cada componente, como mostra a Figura 4.1(b), ele gera dois arquivos, um .sch do esquemático e outro .brd da placa, e quando finalizado são exportados os arquivos Gerbers que são utilizados para a fabricação da placa, podendo ser realizada aqui ou no exterior, dependendo da necessidade.

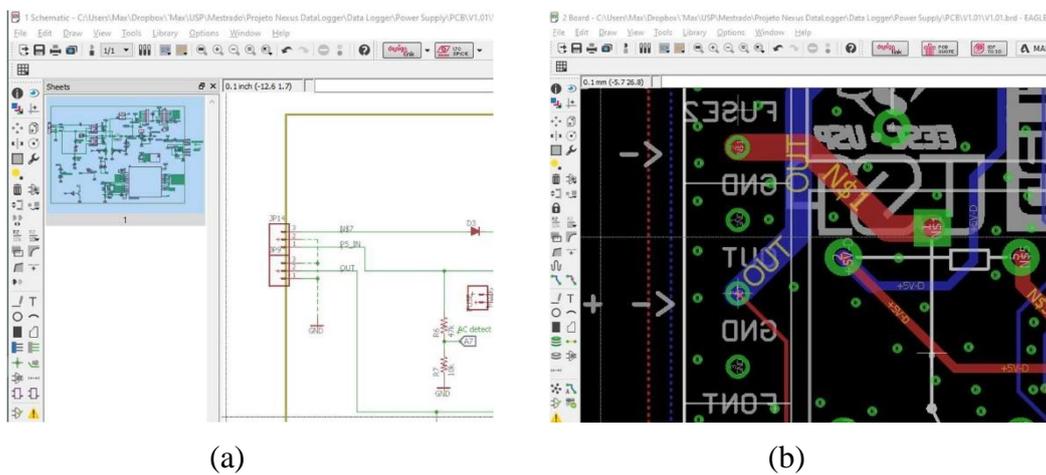


Figura 4.1: Eagle-CAD Esquema elétrico (a). Eagle-CAD desenho físico (b).

4.2.1 Circuito 1 - Entradas e Saídas de Tensão

O circuito 1 é a função 1 e 2 do capítulo 3 ele é a estrada e saída de tensão primária vindo do conversor DC 24v ou da bateria de 12V, como podemos observar na Figura 4.2 no lado esquerdo superior.

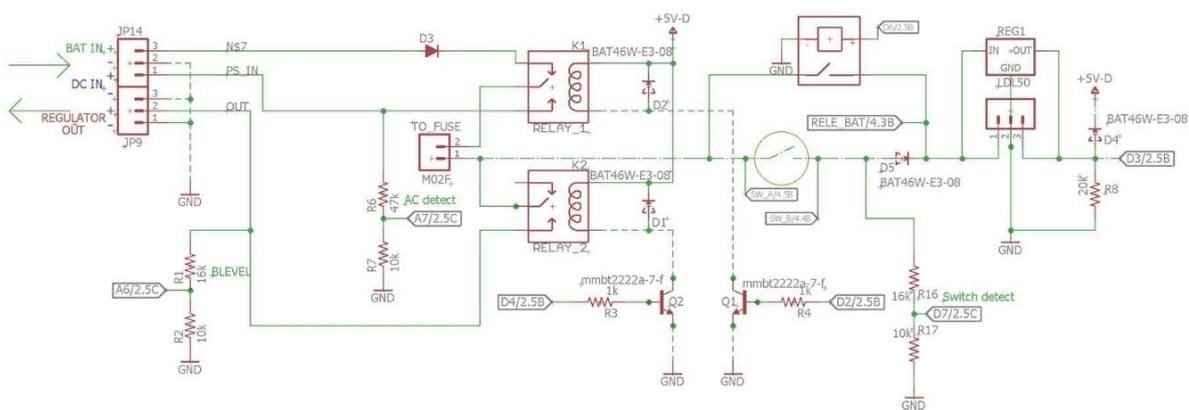


Figura 4.2: Desenho elétrico da entrada primária da placa microprocessada.

A tensão vinda da bateria (+) passa por um diodo D3 que impede carga reversa na bateria e entra na parte superior do rele 1 na posição NC ou normal fechado, ou seja, a chave do rele sempre está fechada quando o rele não está energizado. A tensão vinda do conversor DC 24V possui um divisor de tensão que detecta se há presença de rede AC, além disso, ele entra na parte inferior do rele no NO ou normal aberto, ou seja, a chave está sempre aberta quando o rele não está energizado. O Rele 1 é responsável por selecionar a origem da fonte, a saída do rele passa por um terminal M02F que está conectado a um fusível de 3A; esse fusível protege tanto a de entrada quanto os reguladores e os circuitos adjacentes da placa.

O retorno do fusível é dividido em dois caminhos, um entra no Rele2 na chave central, a saída dele está conectada ao NO. Esse rele funciona como uma chave eletrônica que habilita a saída de tensão para os reguladores e consequentemente para a saída da fonte. A saída do rele2 possui um divisor de tensão que detecta a tensão da bateria, ele está após a chave do rele2 para não ficar acoplado à bateria e lentamente descarregá-la, essa saída alimenta os

A Figura 4.3 mostra o esquema elétrico do microcontrolador. Ele necessita de um programador especial inicial que grava via registradores através de uma pinagem especial, mostrada na parte inferior da Figura 4.3. O microcontrolador também possui um oscilador ou cristal externo nos pinos 7 e 8 que também tem um circuito supressor de ruído e interferência com 2 capacitores e 1 resistor formando um filtro passa baixa. O circuito também possui um capacitor na entrada A-REF (referência analógico) para supressão de ruído, um resistor PULL-UP no reset para evitar resetamento acidental e 2 capacitores para supressão de ruído na linha do VCC(5v).

Podemos observa as etiquetas com os nomes das redes, onde cada rede está conectada, e para exemplificar, foi feita uma tabela onde a pinagem do microcontrolador está referenciada ao Arduino uno para fácil compreensão. A Tabela 4 mostra qual pino foi atribuído ao microcontrolador e qual função esse pino está realizando.

Tabela 4: Pinagem do microcontrolador e circuito associado

PINO	CIRCUITO	FUNÇÃO
A0	TEMP1	Medidor de temperatura no Resistor do carregador da bateria
A1	TEMP2	Medidor de temperatura no módulo Nd54360 na tensão positiva
A2	TEMP3	Não utilizado no momento
A3	Chg detect	Conectado ao divisor de tensão, para detectar bateria carregando
A4	SDA	I2C comunicação SDA da tele OLED
A5	SCL	I2C comunicação SCL da tele OLED
A6	BLEVEL	Medidor de nível da bateria
A7	AC detect	Detector de rede AC
D0	RX	Comunicação UART externa
D1	TX	Comunicação UART externa
D2	Rele1	Acionador do circuito do Rele1
D3	Soft start	Detecta se o botão momentâneo foi pressionado
D4	Rele2	Aciona a saída para os módulos DC-DC
D5	LED1	Circuito não utilizado
D6	CLOCK	Shift out clock, reservado
D7	DATA	Shift out data, reservado
D8	LED2	Circuito não utilizado
D9	Fan	Controle PWM dos coolers
D10	Locic1	Saída lógica não utilizada
D11	Logic2	Saída lógica auxiliar no interface de comunicação
D12	---	Circuito não utilizado
D13	Buzzer	Circuito ligado ao Buzzer para notificações

4.2.3 Circuito 3 - Saídas Reguladas

O circuito 3 representa uma parte do da função 3 do capítulo 3, suas saídas tem como função as saídas reguladas da placa microprocessada, ele tem dupla função, uma de receber as tensões reguladas vindas dos reguladores como +12V, - 2V, +5V e +3.3V, e, ao mesmo tempo, funciona como barramento de saída.

A Figura 4.4 mostra os barramentos funcionando como entrada e saída, ou apenas um terminal de passagem, para as tensões de +12V e 5V. Elas são utilizadas pela placa microprocessada, a tensão de 12V é reservada para os coolers. Os diodos D7 e D9 têm as seguintes funções: D7 impede que exista tensão reversa no regulador, o diodo D9 impede que o regulador sofra realimentação, ou seja, que a saída volte para a entrada. A tensão de 5V

alimenta o microcontrolador e as funções secundárias como sensores, tela e reles, o diodo D8 impede que haja tensão reversa de volta ao regulador, o capacitor C5 auxilia na remoção de ruídos no terminal, as tensões -12V e +3.3V estão presentes no terminal, mas não fazem parte de nenhum circuito na placa.

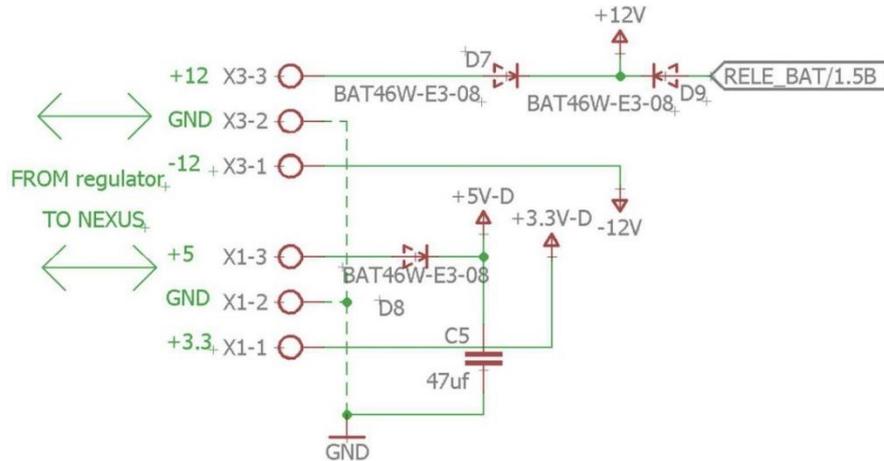


Figura 4.4: Esquema elétrico da entrada e saída das tensões reguladas.

4.2.4 Circuito 4 - Entradas/Saídas Lógicas e Auxiliares

O circuito 4 representa as conexões ou linhas ilustradas durante o capítulo 3 são as terminais de conexões dos dispositivos, ela possui o barramento de saída lógica foi desenhado para ser tipo Header 0.100" (conector de protoboard padrão), sendo 3 linhas com 10 pontos cada um. Ele pode ser descrito como 3x10. Para o esquema ficar mais limpo, o barramento foi dividido em dois menores, um simples 1x10 e um duplo 2x10, como podemos observar na Figura 4.5. O barramento J2 tem sua maior parte o GND, uma saída de 5V através de um diodo D6 que impede retorno de tensão acidental. No pino 7 há um dos lados da chave momentânea e no pino 10, a entrada do detector de carga na bateria, vinda do módulo.

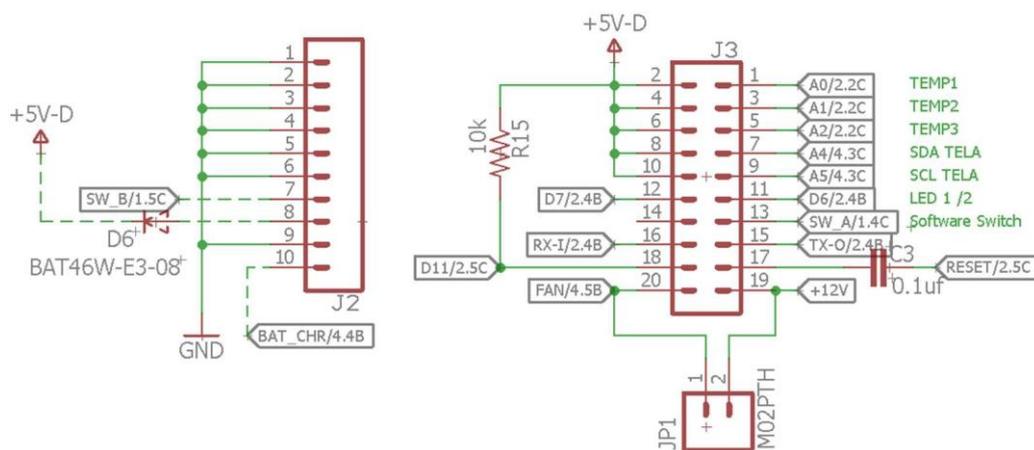


Figura 4.5: Barramentos de entrada e saídas auxiliares.

O barramento J3 é duplo e possui a maior parte das conexões. Do lado esquerdo do pino 2 ao 10 par está reservado a 5V. Os pinos 1, 3, 5 estão reservados aos termômetros, apesar de o pino 5(temp3) não estar em uso. Os pinos 7 e 9 foram separados para a comunicação com a tela OLED. Pinos 12 e 13 não estão em uso, porém, possuem circuito e conexão com o

microprocessador. O pino 13 é um lado da chave momentâneo juntamente com o pino 7 no J2. Pinos 15, 16, 17 e 18 estão reservados para o UART de comunicação externa. Pinos 19 e 20 e JP1 extra 2 estão reservados para os coolers da fonte.

4.2.5 Circuito 5 - Miscelâneas

O circuito 5 não é mostrado no capítulo anterior pois são detalhes de operação dos dispositivos e não representado no diagrama de blocos. O esquema elétrico possui algumas partes soltas que foram agrupadas aqui. Essas partes não estão diretamente ligados a nenhum circuito previamente definido.

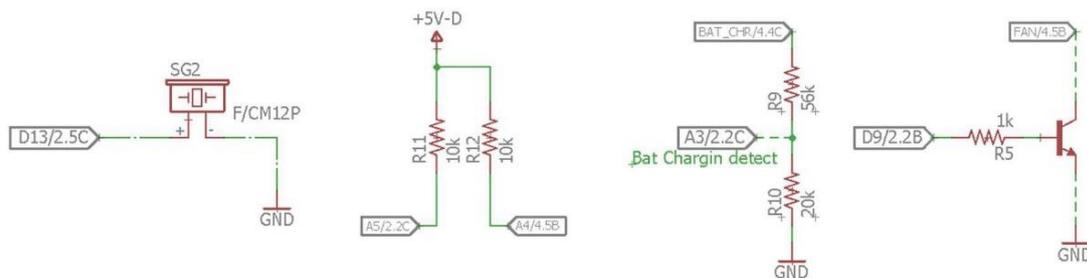


Figura 4.6: Componentes mistos.

A Figura 4.6 mostra alguns componentes mistos, da esquerda para a direita, circuito do Buzzer conectado do pino digital D13 e GND, dois PULL-UP do I2C da tela, sendo dois resistores de 10K conectados ao 5V, o divisor de tensão do LED da placa de carga da bateria conectado ao pino analógico A3, circuito transistorizado PWM dos coolers da fonte conectado no pino digital D9.

4.3 Circuito Impresso

O circuito impresso é desenhado respeitando alguns fatores importantes como o tamanho máximo da placa, os furos de fixação, a orientação dos conectores para reduzir o comprimento dos fios na fonte e a disposição dos componentes para que eles tenham a menor distância de trilhas possível. A Figura 4.7 mostra o circuito desenhado no Eagle-CAD, versão 1.01. Nele observa-se as entradas de tensão do lado esquerdo, a entrada regulada do lado direito e na parte superior direita o barramento 3x10 para entradas lógicas e auxiliares.

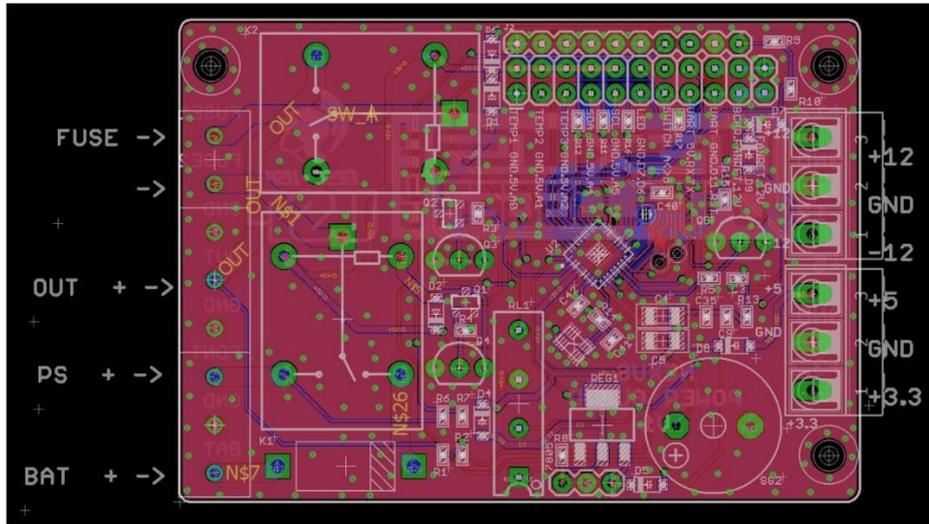


Figura 4.7: Vistas superior da placa microprocessada.

A orientação dos componentes partiu da distribuição geográfica da fonte baseada no tamanho final. Os componentes foram distribuídos de forma que todos coubessem e utilizando o menor espaço possível. Com isso foi determinada a orientação das partes, como podemos observar na Figura 4.8, onde é a dispersão dos componentes no espaço aproximado que a fonte terá, dessa forma ela pode ter o tamanho compactado.



Figura 4.8: Primeira tentativa de organizar os componentes para montagem.

A figura também mostra da esquerda para a direita os componentes a entrada da energia no centro o processamento e na direita a saída. Na versão final a placa microprocessada ficará no lugar do resistor, e ele será movido para a parte superior da fonte metálica, auxiliando na dissipação de calor; sendo assim, as entradas e saídas da placa foram feitas para reduzir a utilização de fios, redução de vias e trilhas na placa, permitindo um circuito compacto e eficiente

A Placa final na Figura 4.9 ficou com as entradas e saída de energia primária no lado esquerdo, a entrada e saída da energia secundária ficou do lado direito, as entradas lógicas e sensores no lado superior direito, como mostra em 3D a Figura 4.9(a).

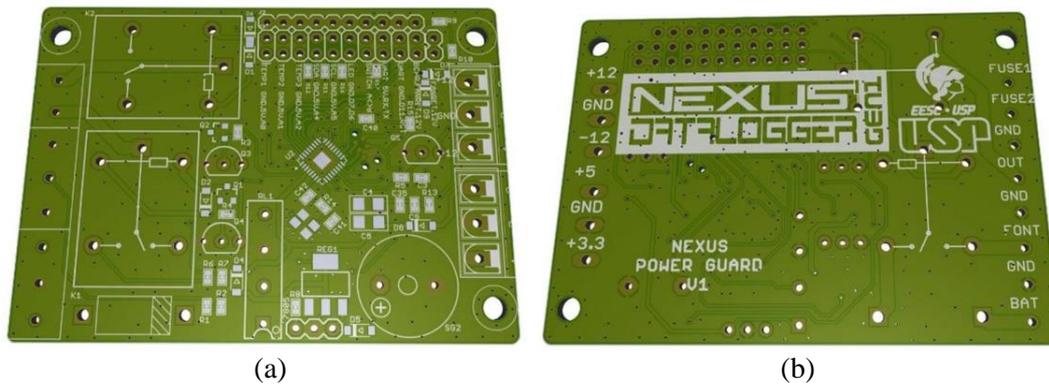


Figura 4.9: Ilustração 3D da placa microprocessada parte superior (a) e inferior (b).

A placa no lado superior, como podemos observar na Figura 4.9(a), possui também encaixe para os outros componentes como: os reles de chaveamento, microprocessador, transistores, diodos, capacitores, resistores Buzzer e cristal. Como visto previamente, não há componentes na parte inferior, dessa forma, facilita a montagem manual, ou se for fabricada em larga escala, também tem o custo de fabricação reduzido, como podemos observar na parte inferior da placa na figura 4.9(b).

4.4 Desenho CAD

A fonte teve seu corpo desenhado utilizando o software Fusion-360 na versão gratuita para estudantes, a facilidade do CAD permitiu a montagem precisa dos componentes, modelagem da fonte como um todo, partes com encaixas corretos e até mesmo renderização em 3D.

A Figura 4.10 mostra a tela do programa, sua interface é simplificada, permitindo um desenvolvimento rápido e preciso.

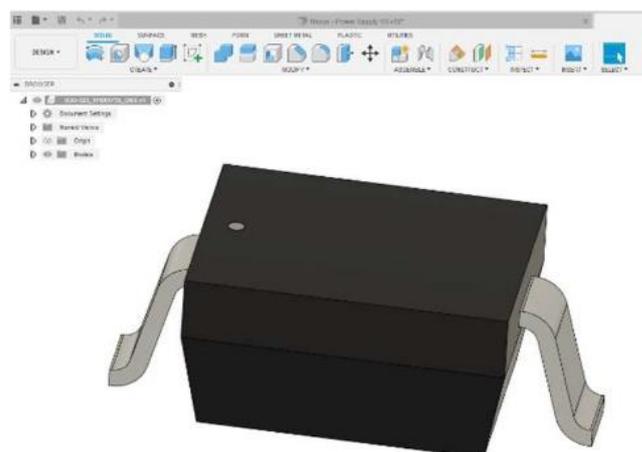


Figura 4.10: Visão geral da interface Fusion 360.

A fonte como descrita nos Capítulos 1 e 3 deve obedecer alguns critérios, dentre eles, ser compacta, de troca rápida, além de caber no espaço reservado dentro no *Nexus*, como podemos observar na Figura 4.11 (a) que ilustra a parte frontal do *Nexus* junto com a fonte já instalada. A Figura 4.11(b) mostra a fonte ao lado direito, ilustrando a área de encaixe no *Nexus*. A Figura 4.11(c) mostra a parte traseira da fonte instalada no *Nexus*, e a Figura 4.11(d),

fonte no processo de encaixe, podemos observar a saída de energia e o vão para encaixe dos fios, e como ela é colocada e removida do *Data logger*.

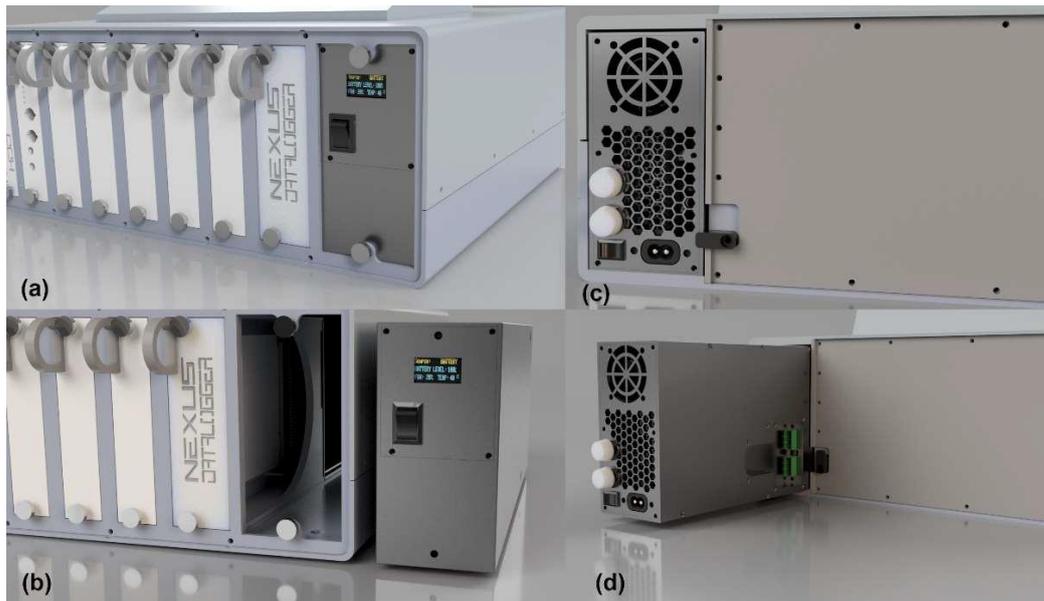


Figura 4.11: Desenhos 3D da fonte e do *Nexus* em diferentes ângulos.

4.5 Desenho 3D da Fonte

A base da fonte deve poder receber os componentes. Além de fixá-los, ela deve ter o tamanho correto para caber no *Nexus*, como visto nas ilustrações da Figura 4.11, ela deve também ter uma margem de tolerância para que todos os componentes caibam, sejam fixados, porém, mantenham uma distância segura. A Figura 4.12 mostra a base da fonte antes dos componentes. Os pinos distribuídos pela carcaça são de fixação dos componentes e circuitos que serão posteriormente instalados.

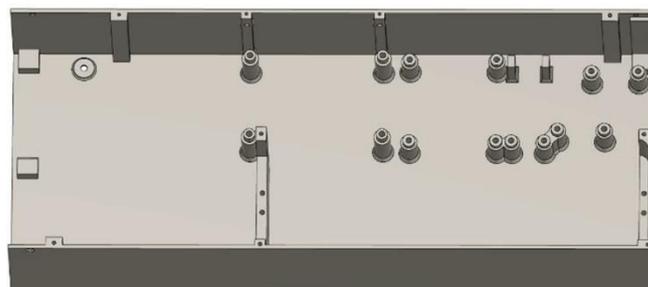


Figura 4.12: Carcaça vazia da fonte.

A tampa traseira possui fixação para 2 fusíveis, um cooler, uma chave ON/OFF e um conector tipo 8. Na Figura 4.13(a), podemos observar a tampa vazia com os furos e encaixes para os componentes e a entrada de ar com o padrão Honeycomb ou colmeia para dissipação de calor. Na Figura 4.13(b) podemos observá-la com os componentes propriamente instalados.

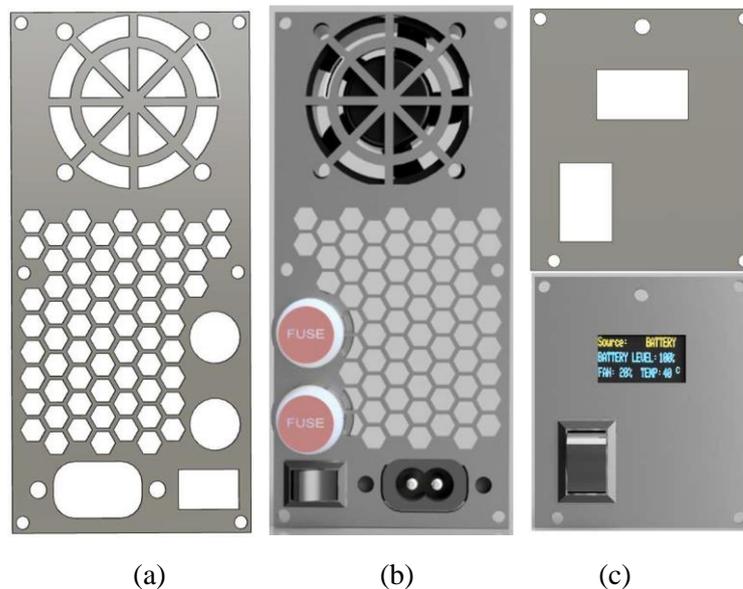


Figura 4.13: Tampa traseira (a),(b), tampas frontal (c) .

A Figura 4.13(c) mostra a tampa frontal sem os componentes na parte superior e com os componentes que são a tela OLED e a chave ON/OFF na parte inferior da figura, além dos furos de fixação.

A ilustração final completa todos os componentes pode ser observada na Figura 4.14, do lado direito superior os reguladores DC-DC na cor verde, no centro em com a cor azul a placa microprocessada, ao lado esquerdo o conversor DC 24V e na parte inferior, a bateria de 12V, além dos resistores, cooler e os compartimentos dos fusíveis no lado esquerdo inferior. A tampa geral possui a interface de conexão com a fonte e um cooler de entrada de ar que será vista no próximo capítulo.



Figura 4.14: Fonte com todos os componentes internos.

4.6 Código Firmware

A fonte, é microprocessada, requerendo um código rodando dentro do microcontrolador; essa programação é chamada de Firmware e foi escrito utilizando a plataforma Arduino IDE, que é gratuita e muito simplificada, como podemos observar na Figura 4.15, uma interface simples.

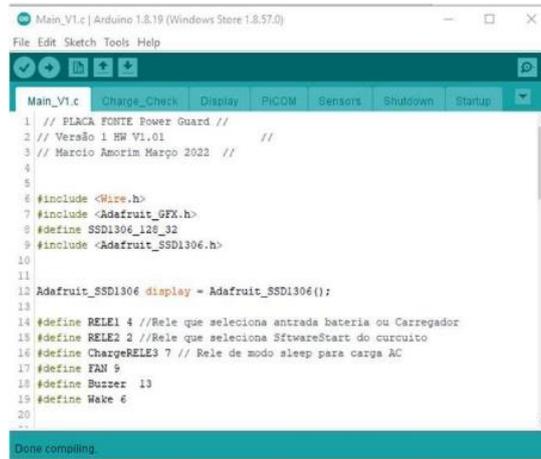


Figura 4.15: Visão geral do Arduino IDE.

O Firmware tem que atender todos os pré-requisitos da fonte, que foram descritos nos capítulos anteriores. Esse código deve ser limpo, eficiente, evitando travamentos ou sendo incapaz de executar qualquer função. A sequência da lógica do código pode ser observada na Figura 4.16 que exibe todos os passos do código disponível na versão V1. Correções e melhorias futuras podem alterar o comportamento do código ao final desse projeto, esse diagrama ilustra o Firmware até esse momento.

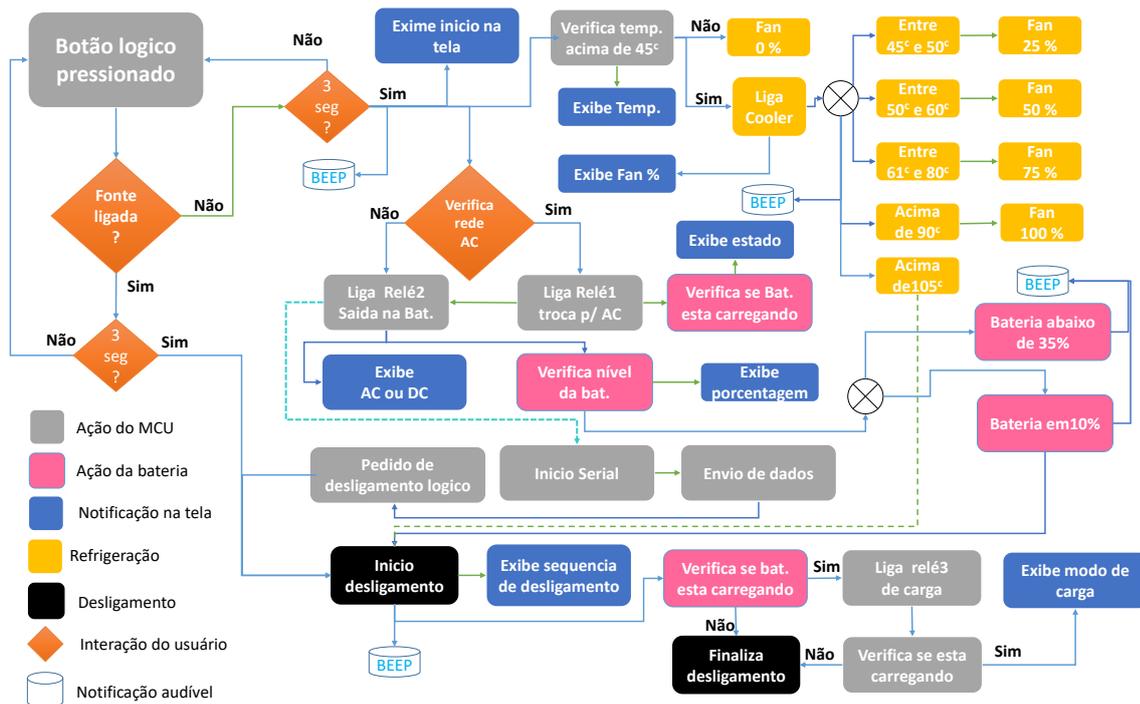


Figura 4.16: Diagrama funcional do código.

O código foi escrito e dividido em blocos para facilitar a compreensão; nele há subcódigos chamados funções que receberam parte do código como podemos observar na Figura 4.17.

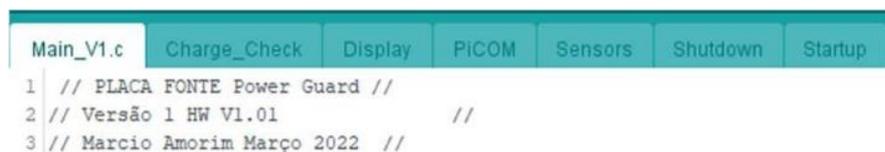


Figura 4.17: Abas do código dividido em funções.

Main: é a aba principal, nela foram colocadas informações do código como versão, autor e data, e também a inclusão das bibliotecas para o funcionamento da tela OLED. Foram também definidas as variáveis do código como os reles, cooler, Buzzer, botões, sensores, entre outras para o correto funcionamento do programa.

A aba Main também possui funções internas que são: A função void setup() que executa uma única vez definindo: define variáveis, define valores, inicia funções, e checka estado de pinos digitais, e executa a função Startup(); a função: void(*resetFunc) que é responsável por resetar o microcontrolador após ele desligar. Essa função permite que quando o pedido de desligamento for concluído o microcontrolador seja resetado e desligado por completo; e a função void loop(), onde todas as sub-rotinas estão, e essa função repete infinitamente enquanto a fonte estiver ligada, as sub-rotinas são: Shutdown(); Display(); Sensors(); PiCom();

Startup: Esta função é responsável pela inicialização da fonte e tem os comandos do display próprio, pois exibe informação antes de esta fonte estar completamente iniciada. Possui comandos para os reles, teste de coolers, avisos sonoros, e delay de partida, caso passe por todas as etapas, a fonte inicia por completo.

Display: Responsável por exibir o estado das funções como origem de carga AC ou DC, velocidade dos coolers em porcentagem e temperatura interna em Celsius.

Sensores: Responsável por ler e armazenar os valores dos sensores de temperatura, detecção de rede AC, nível de bateria, bateria carregando, botão pressionado para que o resto do código possa utilizá-los.

PICOM: Responsável pela comunicação UART externa, envio e recebimento de dados (ainda não implementado por completo) e monitoramento do pino lógico para desligamento remoto.

Shutdown: Responsável pelo desligamento da fonte. Ele monitora o botão frontal e o pino digital D11 junto com o PICOM, uma vez pressionado, ele roda as funções necessárias para o desligamento da fonte.

Charge_Check: essa função é uma sub-função dentro do Shutdown na última linha de comando, ela verifica se o sensor de carga na bateria está ativo, se não estiver, ele finaliza o desligamento e chama a função void (*resetFunc) e conclui o desligamento, se estiver dando carga, o código fica preso em um loop até a carga concluir e, então, executa o desligamento. Esse loop verifica se a temperatura está correta durante a carga; se a temperatura elevar, ele pode acionar os coolers durante esse período. Esse loop também exibe uma informação que a fonte está apenas carregando na tela, e tem um indicador animado que permite saber se está carregando ou se a fonte por qualquer motivo travou.

Capítulo 5

Resultados Finais

5.1 Introdução

Este capítulo trata dos resultados preliminares, que são a montagem da fonte testes e resultados. Neste capítulo será mostrado como a fonte foi impressa, o que foi utilizado durante a montagem e como a fonte ficou, o desempenho dos componentes e performance da fonte.

5.2 Arquivos de Impressão

Os arquivos foram exportados do Fusion 360 no formato.STL [67], que significa Stereolithography ou Estereolitografia, é o formato mais popular para impressão 3D, pois ele converte um formato sólido em dezenas ou milhares de triângulos. Esse arquivo também é conhecido com Standard Triangle Language (STL) ou Linguagem de triângulos padrão, utilizado por programas responsáveis em converter esse formato STL no formato que impressoras 3D possam entender, chamado gcode [68], conhecido como computer numerical control ou controle computacional numérico, essa linguagem gera coordenadas geográficas em um plano XYZ, esse tipo de arquivo ou linguagem é mais conhecido nos dispositivos CNC ou Computer Numerical Control [69] e foi adaptada para as impressões 3D. A Figura 5.1 [70] mostra um exemplo entre o formato STL e Gcode, o STL gera milhões de triângulos da peça desejada, o gcode gera milhões de camadas XY deslocadas em Z da mesma peça.

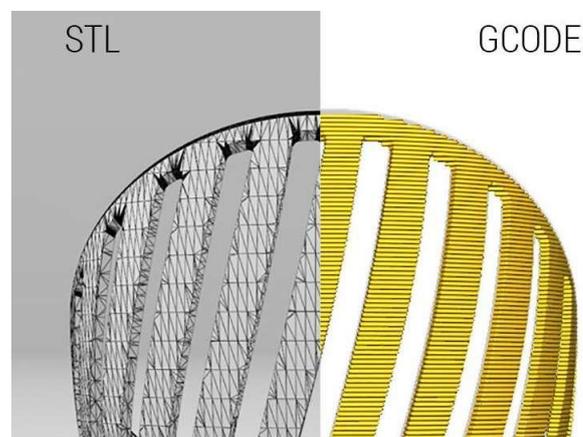


Figura 5.1: Diferença visual entre STL e GCODE.

5.3 Impressão

Os arquivos foram impressos utilizando 3 impressoras 3D com o processo de impressão chamado FDM [71]. A impressora Fused Deposition FDM Material ou Deposição de material fundido tem como principais características derreter o material utilizado que passa por um bico extrusor e deposita ele sobre uma superfície. As impressoras utilizadas foram duas Creality Ender3 Pro [72] de 32Bits, Figura 5.2(a) e uma impressora Creality Ender5 Plus [73] de 32 Bits, Figura 5.3(b).

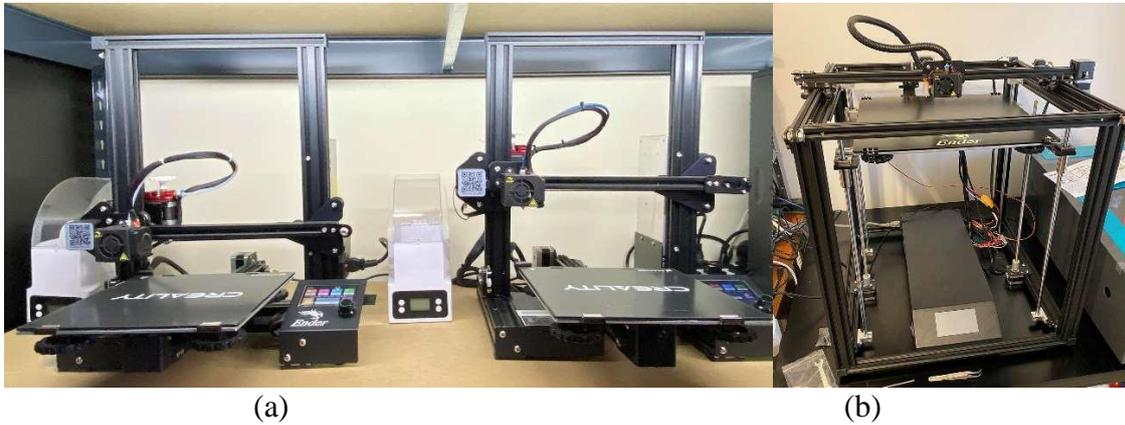


Figura 5.2: Impressora Ender 3 pro(a), Ender 5 plus(b).

As peças foram impressas utilizando filamento PLA [74], Polylactic acid. O ácido polilático (PLA) é diferente da maioria dos polímeros termoplásticos, sendo derivado de recursos renováveis, como amido de milho ou cana-de-açúcar, ao contrário da maioria dos plásticos que são derivados do petróleo. Os plásticos derivados da biomassa como o PLA são conhecidos como “bioplásticos”, eles têm baixa temperatura de derretimento, amolecem a partir de 60° Celsius e derretem completamente a partir de 180° Celsius. Além de boa resistência mecânica, essas características permitiram o uso desse tipo de material que foi uma excelente opção. O filamento escolhido foi o GT-Max de fabricação nacional.

O programa escolhido por converter os arquivos STL exportados do Fusion-360 em arquivos Gcode foi o CURA Ultimaker por ser gratuito, open software, e por dar suporte a várias impressoras 3D, incluindo as utilizadas nesse projeto, permitindo maior facilidade, pois o software não requereu configurações adicionais. A Figura 5.3 mostra a interface do programa.

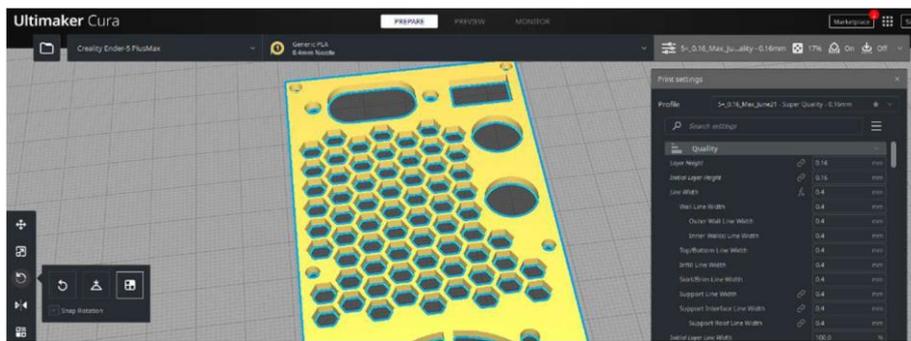


Figura 5.3: Interface do Cura.

Os arquivos STL foram importados no Cura e os arquivos gcode foram gerados. A Tabela 5 abaixo mostra a quantidade de material e tempo que cada peça precisou para ser impressa; esse tempo não incluiu o preparo da impressora e a remoção de suportes, que devem adicionar em torno de 8h a mais, além dos erros de impressão, peças de testes e falhas que ocorreram. Essas peças somam em torno de 1.5 kg de PLA e em torno de 40h de trabalho não computados nesse projeto.

Tabela 5 Descreve partes, tempo e custos utilizado no corpo da fonte. Valor em Dólares.

Parte	Tempo	Material	Custos
Main (corpo principal)	15:00h	200g	\$3.00
Lid (tampa da fonte)	6:30h	80g	\$1.20
Expand (área de conexão externa)	2:00h	20g	\$0.30
Expand holder (suporte da conexão externa)	0:30h	5g	\$0.08
Front lid (tampa frontal da fonte)	0:35h	5g	\$0.08
Bat holder (suporte de fixação da bateria)	0:40h	10g	\$0.15
Backside lid (Tampa traseira da fonte)	2:00h	15g	\$0.23
Total:	27:15h	325g	\$5.04

A tabela 5 mostra as partes da fonte que foram impressas, sendo 7 partes que compõem a fonte como um todo, além disso o tempo de impressão por parte e ao todo, a quantidade de material que foi utilizado para cada parte, e o custo em dólares baseado em um filamento de \$15 dolares.

A Figura 5.4 mostra a parte principal da fonte sendo impressa utilizando PLA preto. Conforme a Tabela 5.1, a média de impressão foi de 15 horas. As peças impressas também requerem tratamento final após a impressão, como a colocação de pinos de rosca metálicos, abrir furos, fazer rosca manualmente e remoção de suporte, alguns ajustes menores tiveram de ser feitos, como a remoção de material extra para encaixe preciso. Por serem peças grandes, algumas partes acabam entortando ou deformando durante a impressão e precisam ser ajustadas ou removidas. Esse trabalho todo teve um adicional de aproximadamente 6h.

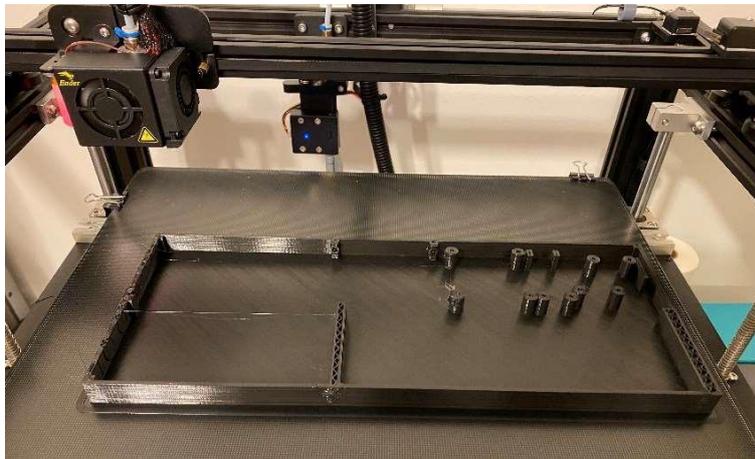


Figura 5.4: Parte Main sendo impressa.

5.4 Circuito Impresso

O circuito impresso foi montado seguindo o esquema elétrico e as ferramentas utilizadas foram uma estação de solda, uma estação de retrabalho, solda em pasta e em fio, um programador ATMEL-ICE para programar o microcontrolador pela primeira vez e um microscópio para inspeção dos componentes.

A placa primeiramente recebeu o microcontrolador, o resistor do reset, o cristal e o filtro do cristal. Após foi instalado um firmware básico, chamado bootlaoder [75] que permite o microprocessador ser programado via serial, uma vez ele funcionando e respondendo, foram instalados os outros componentes SMT Surface Mount Technology [76], que são componentes que descansam e são soldados em cima da placa. Após todos os componentes

instalados, foi feita uma nova tentativa de programação para garantir que o microcontrolador estivesse funcionando; após confirmado que o microcontrolador estava funcionando, foram adicionados os demais componentes THT Through Hole Technology [77] que são aqueles que descansam na placa, porém, suas terminações passam por furos na placa e são soldados do outro lado, e novamente o microcontrolador foi testado.

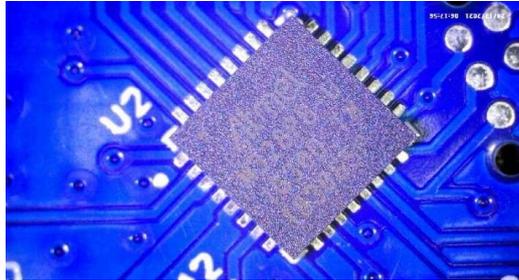


Figura 5.5: Inspeção do microcontrolador na placa.

A Figura 5.5 mostra a imagem do microscópio inspecionando se o microcontrolador ficaria perfeitamente alinhado ao pad (foto tirada antes do começo da montagem da placa).

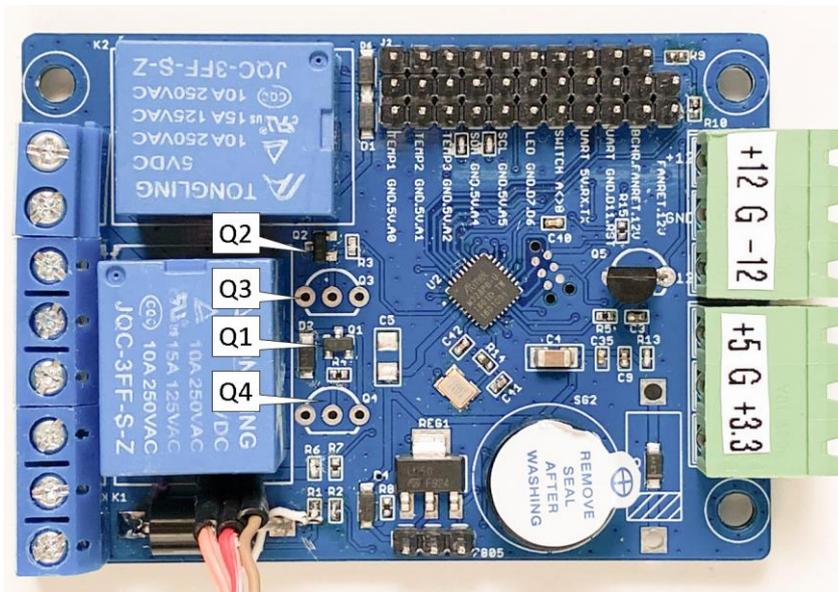


Figura 5.6: Placa microprocessada montada.

A placa finalizada com todos os componentes pode ser vista na Figura 5.6, já testada e com a indicação das saídas sobre os conectores verdes. Observa-se que há alguns pads faltando componentes; esses pads foram adicionados em redundância, caso algum dos componentes falhasse, haveria a possibilidade de adicionar outros que suportavam maior carga sem haver a necessidade de fazer uma placa nova, apenas realizando a troca dos componentes. Os componentes Q2 e Q1 também Q3 e Q4 pertencem ao mesmo circuito. São transistores que acionam o relé; esses transistores foram colocados inicialmente na versão SMD e caso não conseguissem operar corretamente, seriam trocados por versão SMD que aguenta mais corrente, porém, os testes mostraram que eles funcionam perfeitamente não havendo necessidade de substituição. O diodo D8 e D5 também pertence ao mesmo de entrada de tensão 5V na placa, onde foi utilizado o SMD, não havendo a necessidade do THT; A tabela 6 mostra os componentes utilizados na placa, sua descrição e valor em dólares, os

componentes foram cotados nos seguintes sites: mouser.com, digikey.com aliexpress.com.

Tabela 6 Descreve partes, descrição e custos utilizado na placa logica.

Qty	Value	Device	Package	Parts	Price
4	0.1uf	CAPACITOR-KIT-1VISHAY	402	C3, C9, C35, C40	\$0.20
1	100uf	CAPACITOR-KIT-11206	1206	C4	\$0.30
1	10M	RESISTORVISHAY	402	R14	\$0.05
6	10k	RESISTORVISHAY	402	R2, R7, R11, R12, R13, R15	\$0.30
1	16k	RESISTORVISHAY	402	R1	\$0.05
3	1k	RESISTORVISHAY	402	R3, R4, R5	\$0.15
2	1n5408	DIODE-FR	DIODE1.5A	D3, D5	\$2.50
3	20k	RESISTORVISHAY	402	R6, R8, R10	\$0.15
2	20pf	CAPACITOR-KIT-1VISHAY	402	C41, C42	\$0.12
1	47uf	CAPACITOR-KIT-11206	1206	C5	\$0.06
1	56k	RESISTORVISHAY	402	R9	\$0.05
1	ATMEGA328PB	ATMEGA328PB-MU	QFN50P500	U2	\$1.76
5	BAT46W-E3-08	DIODE_1SOD-123	SOD-123	D1, D2, D4, D6, D8	\$2.00
1	Buzzer	CYT1036	CYT1036	SG2	\$0.69
1	Crystal	FA-238 16.0000MB-AG3	4-SMD@1	CK1	\$0.86
2	KF2EDGK	AK500/3-H	AK500/3-H	X1, X3	\$1.10
1	Kf301	M02F	Borne 2x	FUSE	\$0.93
2	Kf301	M03	Borne 3x	JP9, JP14	\$1.06
1	LDL50	REGULATOR_1117AMS117	SOT223	REG1	\$0.68
1	M10x1	CONN_10";1X10"	J2	0.1 inch spaced	\$0.88
1	M2x1	M02PTH	1X02	JP1	\$0.12
1	M3x1	M03LOCK	1X03_LOCK	7805	\$0.15
3	NPN-BC337	TRANSISTOR-NPN-BC337	BC337	Q3, Q4, Q5	\$1.00
2	JQF-3FF-S-Z	RELAY-PACKA	RELAY_G5LE	K1, K2	\$1.16
1	m10x2	CONN_10X2	2X10	J3	\$0.12
2	mmbt2222a-7-f	TRANSISTOR_NPNMP5A42	SOT23-3	Q1, Q2	\$0.28
1	PCB	MCU PCB	50x70	PCB	\$1.00
Total:					\$17.72

5.5 Montagem da Fonte

A montagem da fonte iniciou com uma versão de teste, ela foi impressa com menor qualidade, utilizando menos material e de forma mais rápida, para ter certeza que todas as partes encaixariam corretamente. Após a impressão foi feita a parafusarem das peças nos locais designados para ter certeza dos encaixes corretos, fixação e os furos devidamente posicionados; alguns furos tiveram que ser reabertos, algumas partes precisaram de ajustes e outras tiveram que ser refeitas. A Figura 5.7 mostra a versão impressa para os testes. Pode-se observar que ela está completamente montada, porém, não é a versão funcional, somente tem a finalidade de teste dimensional.



Figura 5.7: Ângulos diferentes a versão e teste dimensional da fonte.

As peças 3D foram corrigidas e devidamente dimensionadas. Foi impressa a versão final

da fonte na cor branca, após sua impressão, fixação dos pinos de rosca e pequenos ajustes, começou o processo de montagem.



Figura 5.8: Montagens pela parte de trás da fonte.

O processo de montagem começou pela entrada de energia. Foram fixadas a carcaça e a tampa traseira, como mostra a Figura 5.8 na parte inferior, e nela os dois suportes de fusíveis rosqueáveis, a chave liga desliga, o conector tipo 8 e o cooler de refrigeração traseiro. O corpo principal foi colocado, o conversor DC 24V M5-60-24, e

no topo dele os dois resistores de 50W presos com arrebite na carcaça do conversor onde a grade metálica auxilia na dissipação de calor, como podemos observar na Figura 5.8. Os cabos de entrada foram o cabo AWG 12, azul para designar a entrada AC e saída do conversor DC 24V, amarelo para o fusível do circuito também AWG12, podemos observar na Figura 5.6 o fio vermelho (+12) e preto(GND) AWG 18 do cooler e na cor roxa (+5v) azul (sinal) verde (GND) do sensor TMP36 de temperatura preso com pasta térmica a um dos resistores de 50W.

O regulador DD30CRTA, após alguns testes foi observado que ele retorna energia da bateria pela sua entrada, criando uma realimentação e mantendo a fonte sempre ligada. Houve a necessidade de se colocar um diodo de 10A modelo 10A10MIC na saída dos resistores para bloquear essa realimentação, foi colocado um termo retrátil para proteção e evitar curtos-circuitos.

Os reguladores DC-DC foram montados na parte frontal da fonte. Na Figura 5.9 podemos observar da esquerda para a direita, o regulador simétrico Nd54360 na cor preta. Nele foi utilizado fio AWG 14 na entrada, vinda da placa controladora na parte superior; os fios amarelos (+) e preto (GND) alimentam a placa, a saída na parte inferior com o fio vermelho (+12), preto (GND) e marrom (não visível na foto -12V). A placa verde é a placa de carga da bateria DD30CRTA que tem a entrada de tensão vinda do resistor/diodo inferior, como na Figura 5.6, recebendo o positivo em azul (+24V) e preto (GND), ambos AWG 12, na parte superior da placa a saída de amarela (+12) e preto (GND) ambos AWG 12 conecta a placa microprocessada.



Figura 5.9: Área dos reguladores.

A primeira placa azul, a terceira da esquerda para a direita é a placa Lm2596 regulada para 5.7V (tanto a entrada da placa microprocessada quanto a saída possuem um diodo de bloqueio e com variações de impedância dos fios, entrega 5V aproximadamente). A entrada na parte inferior vem do regulador simétrico Nd54360 recebendo vermelho (+12) e preto (GND). A saída na parte superior também espelha as mesmas cores, vermelho (+5.1) preto (GND) indo para a placa microprocessada. O último regulador, sendo o quarto da esquerda para a direita também é um Lm2596 regulado para 4V (ele também possui um diodo de bloqueio com isso entrega aproximadamente 3.3V) o regulador na parte inferior recebe vermelho (+12) e preto (GND), a saída na parte superior com fio rosa (+4V) e preto (GND), indo para a placa microprocessada.

A Figura 5.7 mostra também a tela OLED GM009605 no lado direito, utilizando 4 fios AWG 20 na cor amarela (SDA), rosa (SCL), vermelho (+5v) e marrom (GND). Abaixo dela a chave ON/OFF lógica de duas posições, utilizando dois fios amarelo e laranja AWG20 e um fio preto AWG 16 unindo as duas extremidades; O sensor TMP36 foi instalado abaixo da placa Nd54360, como podemos observar no centro da foto nas cores roxa (+5v) azul (sinal) e verde (GND).

A bateria mostrada na Figura 5.10 foi fixada com grampos próprios de fixação FOSTOM 6.3mm ligados a dois fios AWG12, vermelho (+12) e preto (-12); o fio preto ligado direto à placa microprocessada e o fio vermelho passa por um suporte de fusível contendo um fusível de 5A que não tem acesso externo, ele é de último recurso e somente aciona caso haja curto-circuito direto em cima da bateria, impedindo que ela superaqueça ou pegue fogo. Outra medida de segurança foi cobrir os terminais com fita isolante, isso garante que em momento nenhum os conectores escapem e possam ocasionar qualquer tipo de dano dentro da fonte.



Figura 5.10: Bateria pronta para a conexão.

A placa microprocessada pode ser observada na Figura 5.11, ela fica no centro da fonte, baseada na ideia da topologia em estrela adotada das redes de computador [78] onde o processamento e distribuição ficam no centro e os periféricos ao seu redor. Dessa forma, permitiu a redução de fios e otimizou a montagem do processo. Podemos observar na parte esquerda da figura o barramento azul, entrada do fusível, do conversor DC 24V da bateria e saída para o regulador simétrico Nd54360, ao lado direito podemos observar as tensões já corretas no barramento verde; ele é a entrada e saída das tensões +12V, -12V, +5V, +3.3V e GND. Na parte superior observamos os fios dos sensores, coolers, chave ON/OFF e tela OLED. A Figura 4.9 mostra em detalhe a placa e suas entradas para melhor referência.

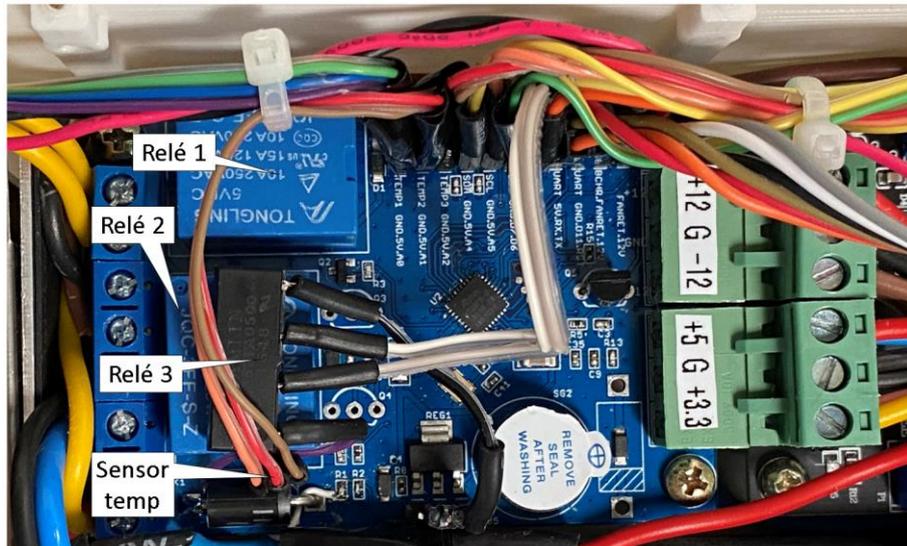


Figura 5.11: Placa microprocessada instalada na fonte.

A placa microprocessada também contém algumas alterações e ajustes. Como podemos observar na Figura 5.11, o terceiro relé descrito nos capítulos 3 e 4 está montado acima do segundo relé conforme figura 5.11, um retângulo preto acima do relé azul. Também há o terceiro sensor de temperatura instalado no topo do diodo D3, que é o diodo na entrada da bateria, também descrito no capítulo 3. Esse sensor de temperatura extra vai monitorar o comportamento da placa nos testes futuros, e, caso seja observado o excesso de temperatura no componente, ele se tornará parte do monitoramento da placa e sua medição será implementada ao monitoramento ao código final.

5.6 Fonte Concluída

A fonte com o interior completamente montado pode ser observada na Figura 5.12. Foram utilizados parafusos M3 para a fixação de todos os componentes. Também podemos observar na parte inferior direita a bateria instalada e fixada com a barra de apoio, todos os componentes instalados previamente descritos, além dos fios presos com abraçadeiras de nylon para mantê-los organizado, permitindo o maior fluxo de ar, além do suporte que segura a bateria evitando que ela se desloque com o movimento.



Figura 5.12: Componentes instalados na fonte.

A tampa na parte superior da figura 5.12 podemos observar presa a ela o segundo cooler, posicionado para sugar o ar para dentro da fonte, e o segundo cooler preso na parte traseira da fonte, posicionado para jogar o ar para fora. Isso foi também elaborado para poder ajudar a refrigerar o *Data logger Nexus*, dessa forma, a fonte puxa o ar de dentro dele para fonte e consequentemente para fora.

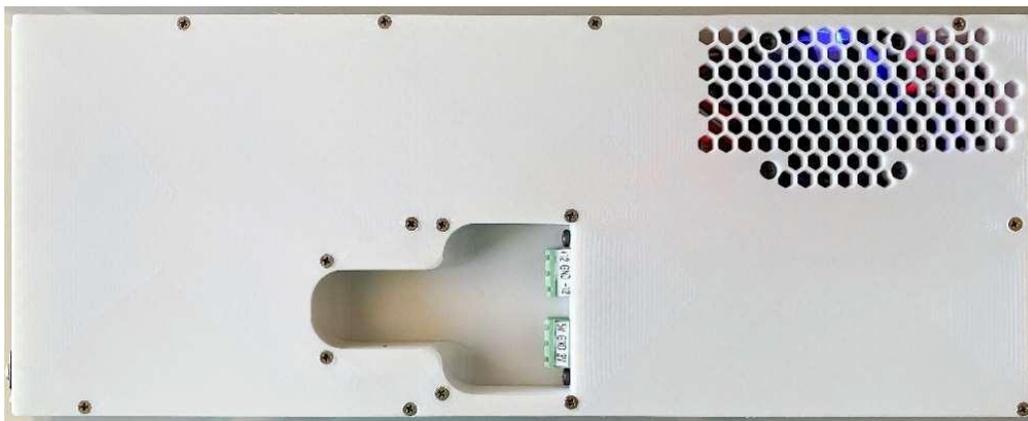


Figura 5.13: Tampas da fonte instalada, detalhe dos conectores de saída.

A Figura 5.13 mostra a tampa da fonte parafusada, concluindo a montagem. Na figura podemos observar além do cooler, o formato honeycomb para auxiliar a entrada de ar. Também podemos observar o chanfro de confecção no formato de uma pá, dentro desse chanfro há os conectores para os cabos de energia da fonte e no centro dele, o terminal de comunicação digital UART.

A Figura 5.14 mostra a parte frontal da fonte, onde podemos observar que a fonte está ligada e operando na bateria, além de bateria estar com 97% de carga, os ventiladores desligados e a temperatura interna em 25° Celsius, também podemos observar os dois furos de fixação frontal para conexão ao *Nexus Data logger*.



Figura 5.14: Visão frontal e traseira da fonte.

A parte traseira pode ser observada na Figura 5.14 que mostra a fonte concluída, com os fios dentro dela, além dos dois suportes de fusível, chave geral ON/OFF, conector de energia tipo 8 e o cooler de exaustão de calor, e o padrão honeycomb para auxiliar na refrigeração.

5.7 Teste de Chaveamento

Os testes de chaveamento tem como finalidade analisar o comportamento da comutação entre a linha CA e a bateria. Esse teste tem como objetivo verificar se há erros durante o chaveamento. Os testes foram agrupados por carga ligada à fonte de alimentação, foram feitas três medidas de cargas: sem carga, 1A de carga e 2A por saída. Foram realizados três testes de cada. Os seguintes fatores foram considerados: a capacidade de alternar de AC para DC e de DC para AC, a queda de tensão ao longo do incremento de corrente, o tempo de comutação, a diferença de tensão entre a comutação e os efeitos sobre a condição de funcionamento da fonte de alimentação, como congelamento ou desligamentos não desejados.

A Figura 5.15 mostra como o ensaio foi feito. [A] é a fonte de alimentação que foi testada, todos os fios foram conectados ao final da fonte de alimentação. [B] é uma carga eletrônica Rigol, modelo DL3021A. Este dispositivo possui o recurso de registrador de dados via USB (Universal Serial Bus), sendo conectado a um computador que salva os dados. [C] e [D] são cargas eletrônicas genéricas que podem ser configuradas para uma tensão ou corrente específica e exibem o comportamento da carga, mas não a registram. Portanto, para medir corretamente de todas as saídas, as cargas eletrônicas [B], [C] e [D] foram rotacionadas em cada ensaio, para que a carga eletrônica Rigol pudesse medir e registrar todas as saídas, uma saída de cada vez. O procedimento foi conectar a fonte de alimentação à linha CA, iniciar a

gravação por 30 segundos, desligar a chave de entrada, aguardar 60 segundos, ligar novamente e aguardar mais 30 segundos. Para cada teste, este procedimento foi repetido três vezes por saída.

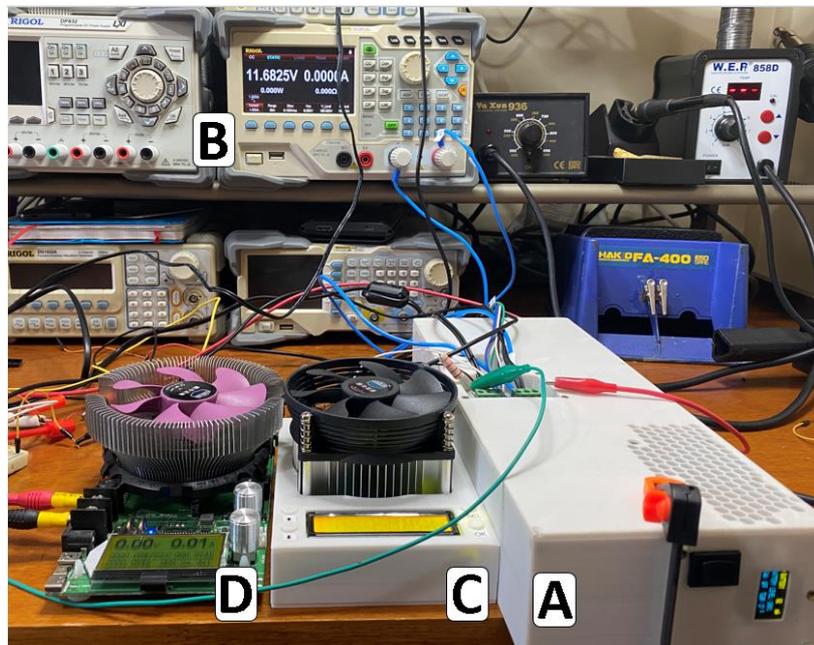


Figura 5.15: Teste de chaveamento, Fonte de alimentação [A] e cargas eletrônicas [B, C e D].

A Figura 5.16 (a) mostra a comutação de 12V da linha CA para a bateria sem carga. Não houve diferença de tensão entre a tensão após a comutação, o tempo de comutação foi $\leq 10\text{ms}$ e a queda de tensão durante a comutação foi $< 4\%$. A Figura 5.16 (b) mostra a comutação de 12V de volta para a linha CA sem carga, houve uma recuperação de tensão $< 1\%$, e o tempo de comutação também foi $\leq 10\text{ms}$. A Figura 5.16 (c) mostra a comutação de 5V sem carga da CA para a bateria. O gráfico não mostra nenhuma comutação visível e a diferença de tensão foi $< 1\%$. A Figura 5.16 (d) mostra os 5V sem carga voltando para CA, também sem comutação visível e com diferença de tensão abaixo de 1%. A Figura 5.16 (e) mostra a comutação de 3.3V sem carga da CA para a bateria. Houve uma recuperação de tensão após a comutação $< 1\%$ e o tempo de comutação foi $\leq 10\text{ms}$. A queda de tensão durante a comutação foi $< 1\%$. A Figura 5.16 (f) mostra a comutação de 3.3V de volta para CA, também sem comutação visível e sem mudança de tensão visível.

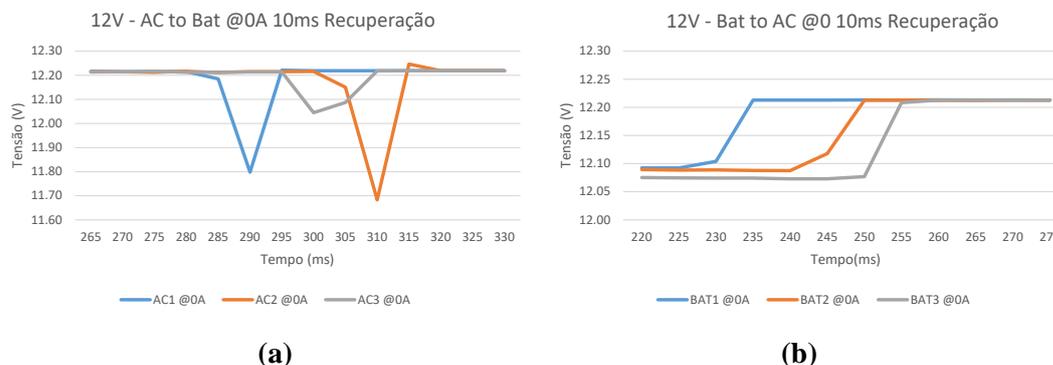
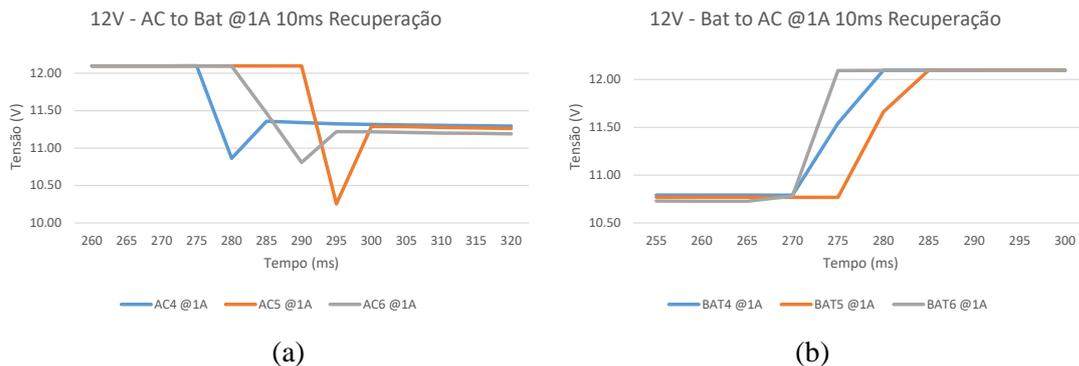




Figura 5.16: Gráfico mostrando todas as comutações entre as fontes: (a) Comutação entre AC e bateria em 12V com 0A, (b) Comutação entre bateria e AC em 12V com 0A, (c) Comutação entre AC e bateria 5V com 0A, (d) Comutação entre bateria e AC em 5V com 0A, (e) Comutação entre AC e bateria em 3.3V com 0A, (b) Comutação entre bateria e AC em 3.3V com 0A .

A Figura 5.17 (a) mostra a comutação de 12V da linha CA para a bateria com carga de 1A; a diferença de tensão entre as fontes caiu $\leq 4\%$ após a comutação, o tempo de comutação foi $\leq 10\text{ms}$ e a queda de tensão máxima foi $\leq 15\%$ durante a comutação. A Figura 5.17(b) mostra a comutação de 12V de volta para a linha CA com carga de 1A. Houve uma recuperação de tensão $< 15\%$ e o tempo de comutação foi de $\leq 10\text{ms}$. A Figura 5.17(c) mostra a comutação de 5V da linha CA para a bateria com carga de 1A; a diferença de tensão entre as fontes caiu $\leq 1\%$ após a comutação, o tempo de comutação foi de $\leq 10\text{ms}$ e a queda de tensão máxima foi $\leq 1\%$ durante a comutação. A Figura 5.17(d) mostra os 5V com 1A voltando para CA, também sem comutação visível e diferença de tensão abaixo de 1%. A Figura 5.17(e) mostra a comutação de 3.3V com 1A de CA para bateria, a queda de tensão máxima foi $\leq 1\%$ durante a comutação e o tempo de comutação foi $\leq 10\text{ms}$. A Figura 5.17(f) mostra os 3.3V com 1A voltando para CA. Houve uma recuperação de tensão $< 1\%$ e o tempo de comutação foi de $\leq 10\text{ms}$.



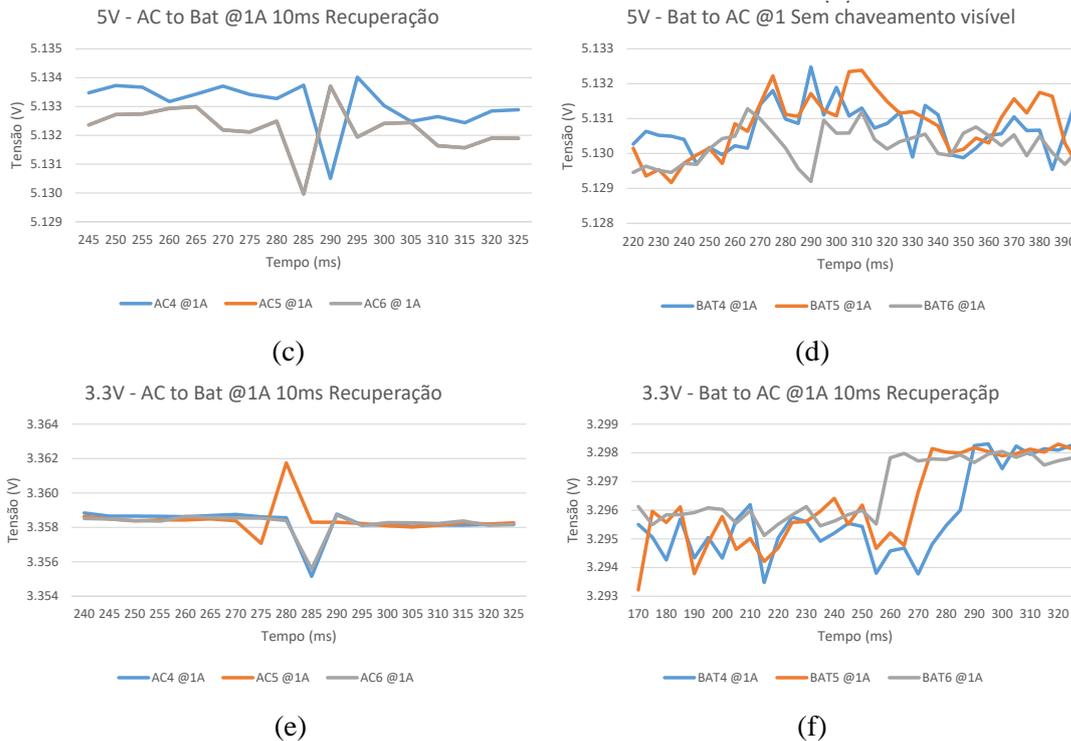


Figura 5.17: Gráfico, Comutação entre CA e bateria em 12V com 1A (a), Comutação entre bateria e CA em 12V com 1A (b), Comutação entre CA e bateria em 5V com 1A (c), Comutação entre bateria e CA em 5V com 1A (d), Comutação entre CA e bateria em 3.3 V com 1A(e), Comutação entre bateria e CA em 3.3 V com 1A (f).

A Figura 5.18(a) mostra a comutação de 12V da linha CA para a bateria com carga de 2^a. A diferença de tensão entre as fontes caiu $\leq 12\%$ após a comutação, o tempo de comutação foi de $\leq 10\text{ms}$ e a queda de tensão máxima foi $\leq 30\%$ durante a comutação. A Figura 5.18(b) mostra a comutação de 12V de volta para a linha CA com uma carga de 2A. Houve uma recuperação de tensão $< 20\%$, e o tempo de comutação foi de $\leq 10\text{ms}$. A Figura 14(c) mostra a comutação de 5 da linha CA para a bateria com carga de 2A. A diferença de tensão entre as fontes caiu $\leq 1\%$ após a comutação, o tempo de comutação foi de cerca de $\leq 10\text{ms}$ e a queda de tensão máxima foi $\leq 1\%$ durante a comutação. A Figura 5.18(d) mostra a comutação de 5V de volta para a linha CA com uma carga de 2A. Houve uma recuperação de tensão $< 1\%$ e o tempo de comutação foi de $\leq 10\text{ms}$. A Figura 5.18(e) mostra os 3.3 V com 2A alternando da CA para a bateria. A queda de tensão máxima foi $\leq 1\%$ durante a comutação, o tempo de comutação foi $\leq 10\text{ms}$ e a queda de tensão máxima foi $\leq 1\%$ durante a comutação. A Figura 5.18(f) mostra os 3.3 V com 2A voltando para a CA. Houve uma recuperação de tensão $< 1\%$ e o tempo de comutação foi de $\leq 10\text{ms}$.

Os testes demonstram que, independente do consumo de corrente de até 2A, representando 66% da carga máxima de cada circuito (todos os reguladores são até 3A), não houve desligamento inesperado, corte de energia ou queda de tensão abaixo de 12%, mantendo assim a funcionalidade da fonte de alimentação dentro do esperado. O aumento da corrente afetou mais a linha de 12V que funciona com bateria, e isso era esperado, já que a bateria também funciona com 12V chegando até a 9V.

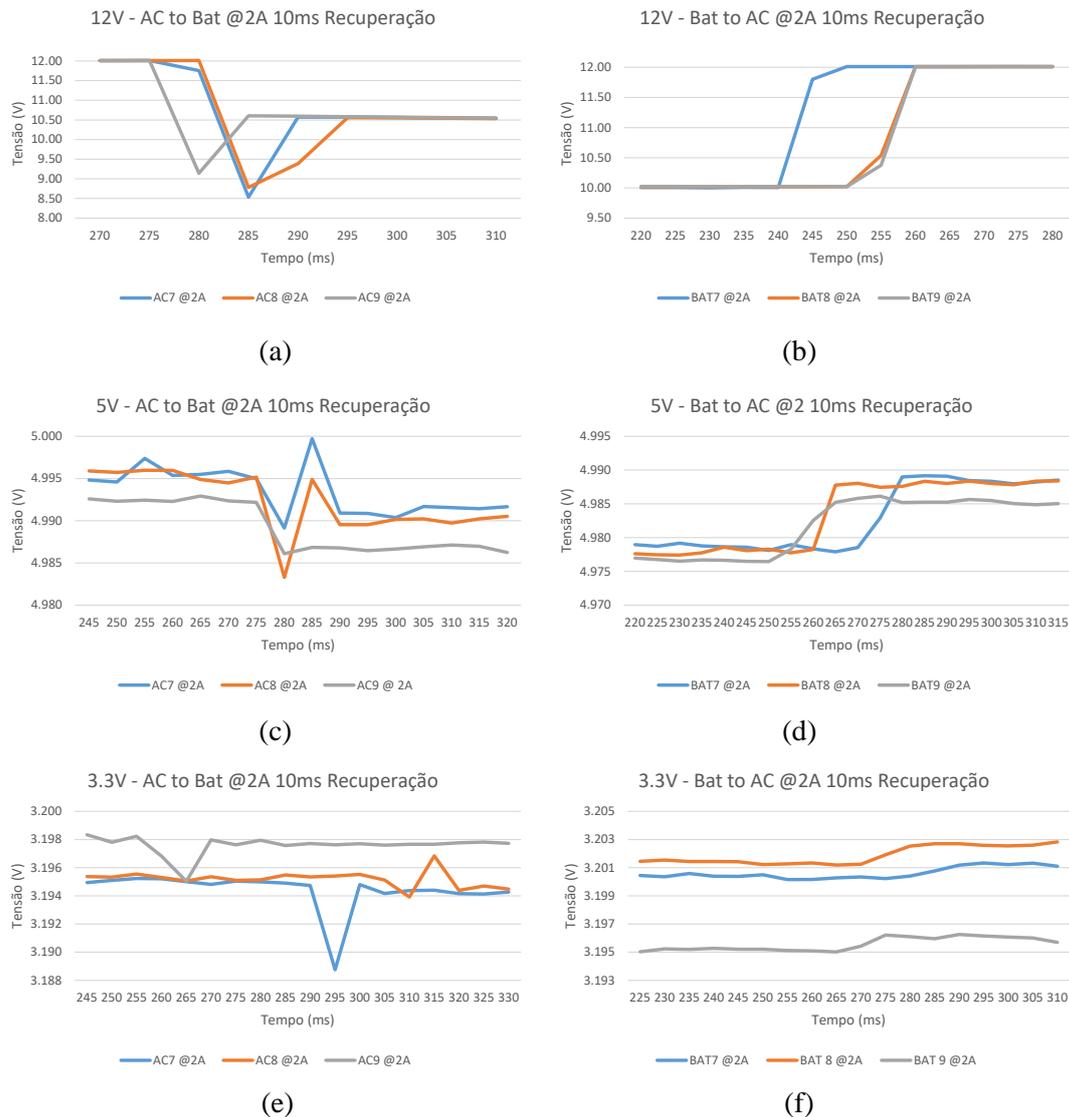


Figura 5.18: Gráfico, Comutação entre CA e bateria em 12V com 2ª (a), Comutação entre bateria e CA em 12V com 2ª (b), Comutação entre CA e bateria em 5V com 2ª (c), Comutação entre bateria e CA em 5V com 2ª (d), Comutação entre CA e bateria em 3.3V com 2ª (e) , Comutação entre bateria e CA em 3.3V com 2ª (f).

5.8 Teste de Curva de Tensão:

O teste de curva de tensão tem como objetivo avaliar o desempenho da fonte com o aumento progressivo da corrente, e se os reguladores conseguem manter a corrente demandada. Este teste mostra a queda de tensão nas três saídas à medida que a corrente aumenta, indo de 0 a 2A, tanto na bateria e linha CA. Este teste foi feito com uma escada de corrente com incremento de 100mA.

A Figura 5.19 mostra como este ensaio foi realizado: [A] é a fonte de alimentação a ser testada, [B] é uma carga eletrônica funcionando como um testador secundário, [C] é uma carga eletrônica Rigol modelo DL3021A programada para criar uma escada de 0A a 2,5A em incrementos de 0,1A com passos de 10s, e [D] é um multímetro digital modelo DM3058E,

com capacidade de um data logger para conectar a um computador via USB e salvar os dados e registros da queda de tensão ao longo do tempo. O procedimento é conectar uma saída da fonte de cada vez na carga eletrônica [C], e em paralelo ao multímetro [D]; a carga eletrônica [B] força as saídas ociosas para ter a mesma corrente que está sendo medida; uma vez que uma medição é feita, as saídas são trocadas para registrar a próxima saída.

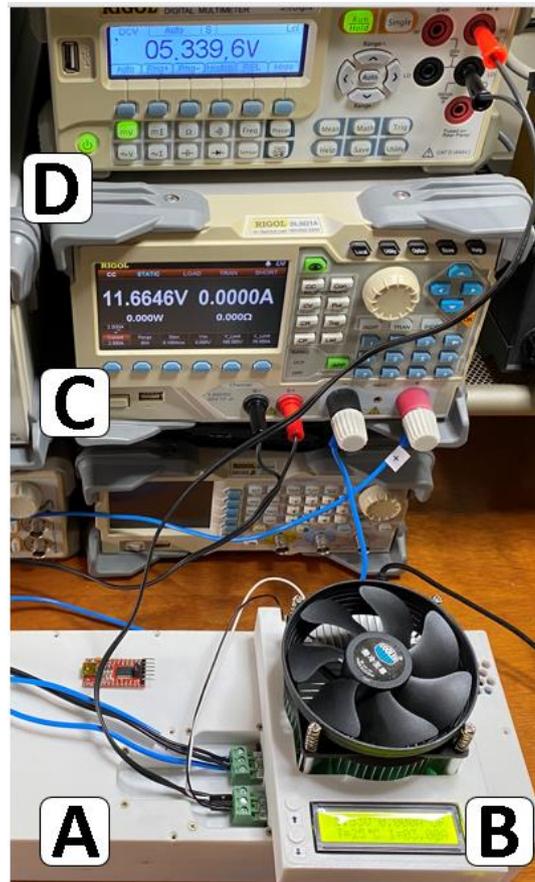
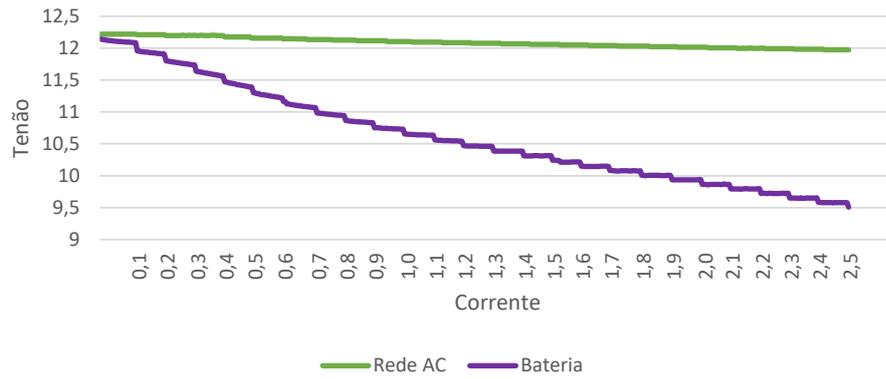


Figura 5.19: Configuração de teste de curva de tensão: Fonte de alimentação (A), Carga eletrônica (B)(C), Multímetro (D).

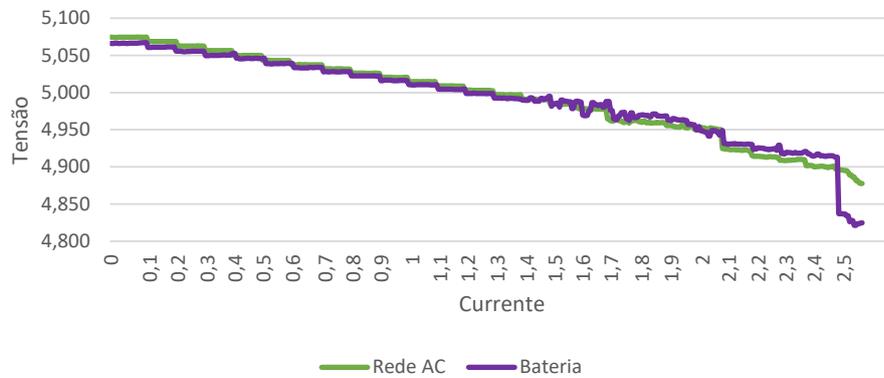
A Figura 5.20(a) mostra a queda de tensão na linha de 12V funcionando com bateria em roxo e na linha CA em verde, de zero a 2,5A, com o alvo em 2A, a tensão na linha CA entre 0 e 2A diminui um total de 0,227V, uma diferença de < 2%. Ao testar na bateria, entre 0 a 2A cai 2,4V, ou < 20%. A Figura 5.20(b) mostra a queda de tensão na linha de 5V que funciona na bateria em roxo e a linha CA em verde, de zero a 2,5A com o alvo em 2A. A tensão na linha CA ou na bateria tem a mesma queda de tensão ao longo do teste, cai um total de 0,130V, uma diferença < 3%. A Figura 5.20(c) mostra a queda de tensão na linha de 3.3V funcionando na bateria em roxo e a linha CA em verde, de zero a 2,5A com o alvo em 2A; a tensão na linha CA ou a bateria tem a mesma queda de tensão no teste, cai um total de 0,150V, uma diferença < 6%.

12V - Queda de tensão com o aumento de corrente
AC VS Bateria



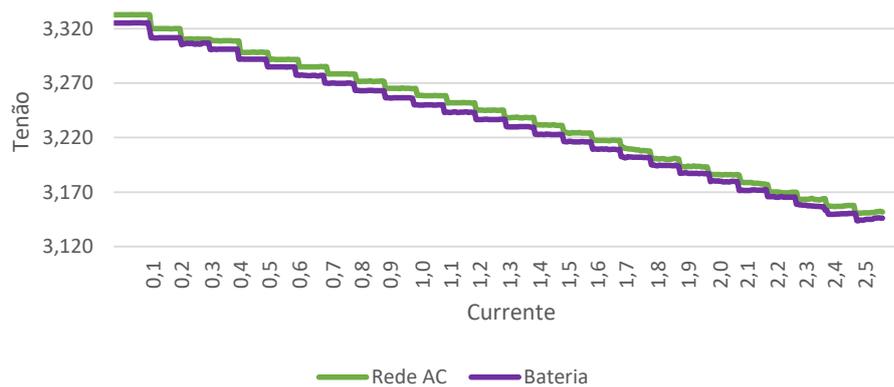
(a)

5V - Queda de tensão com o aumento de corrente
AC VS Bateria



(b)

3.3V - Queda de tensão com o aumento de corrente
AC VS Bateria



(c)

Figura 5.20: Gráficos da curva de tensão: (a) Tensão vs corrente - 12V (a),
Tensão vs corrente - 5V (b), Tensão vs corrente - 3.3V (c).

A queda de tensão em todos os testes mostra que com a corrente máxima na saída caiu para 20% menos, e os reguladores podem fornecer a corrente desejada com uma queda de tensão dentro do esperado.

5.9 Perfil da Corrente:

O teste verifica a eficiência dos reguladores chaveados em comparação com a operação de reguladores lineares na bateria ou rede CA. Este teste faz uma escada de corrente de 0 a 2A com um incremento de 0.1A e analisa a quantidade de corrente fornecida em comparação com a quantidade de corrente que o regulador está demandando. Neste procedimento, um medidor de corrente de efeito Hall foi instalado após a placa MCU e antes dos reguladores para medir o valor da corrente, na saída da fonte de alimentação, e correlacionar esses valores.

A Figura 5.21 mostra a configuração: A placa MCU que fornece a linha CA ou bateria [A] entra em um medidor de corrente de efeito Hall até 5A, modelo ACS712 [B]. A placa MCU pode analisar e exibir a corrente usada. Ele também pode ser visto em um display [D], que é o display OLED da fonte de alimentação, o medidor de corrente implementado é exibido na primeira linha do lado direito da figura. O regulador [C] agora recebe a energia de [B, D, E] é a carga eletrônica Rigol que faz uma escada manual de 0 a 2A. O procedimento é conectar a saída da fonte de alimentação à carga eletrônica, verificar a corrente extraída da carga eletrônica e compara com a corrente entregue ao regulador. O uso interno da própria fonte de alimentação, necessária para executar componentes internos, foi levado em consideração. Além disso, o medidor de corrente não mede a corrente aplicada à bateria, caso esteja sendo carregada. A corrente interna utilizada para alimentação foi de 130mA no modo CA e 100mA no modo bateria; esses valores foram subtraídos das medidas.

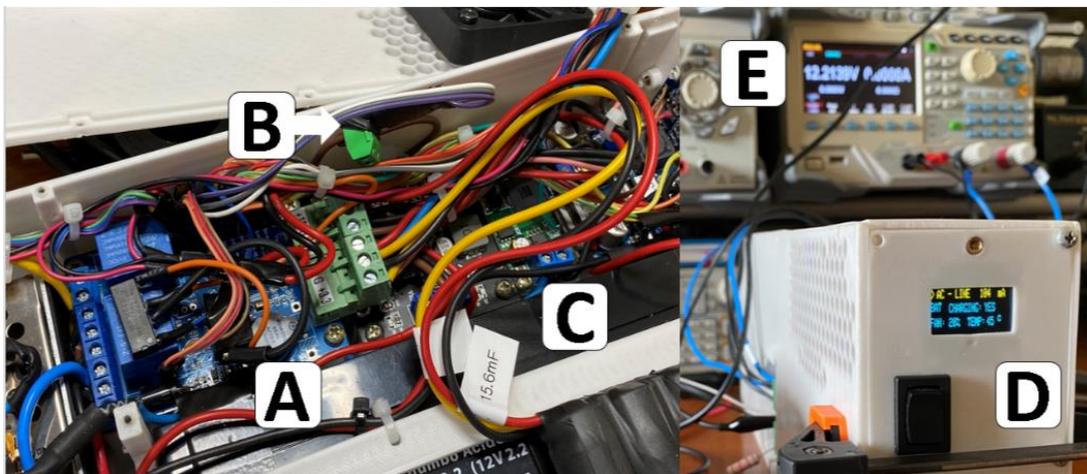


Figura 5.21: A configuração para testar o perfil de corrente: A - Placa MCU, B - Sensor de efeito Hall, C - Regulador simétrico bipolar, D - Fonte de alimentação, E - Carga eletrônica.

A Figura 5.22(a) mostra a curva de eficiência entre a corrente de saída do regulador DC/DC em relação a um regulador linear, que geralmente é 1:1 ou maior. A mais eficiente é a saída de 3.3V na cor roxa rodando no modo AC 1.8:1 de ganho, entregando 2A e puxando 1.1A, e a pior é a saída 12V na bateria em vermelho 1:1, entregando 2A e puxando 2A, e agindo como um regulador linear. A Figura 5.22(b) mostra a mesma eficiência em porcentagem; o mais eficiente foi a saída de 3.3V na bateria, em roxo, com 55% de eficiência em média e o pior desempenho foi 12V na bateria em vermelho, eficiência próxima de zero,

comportando-se como um regulador linear e não como um chaveamento devido a mesma ou menor tensão da bateria.

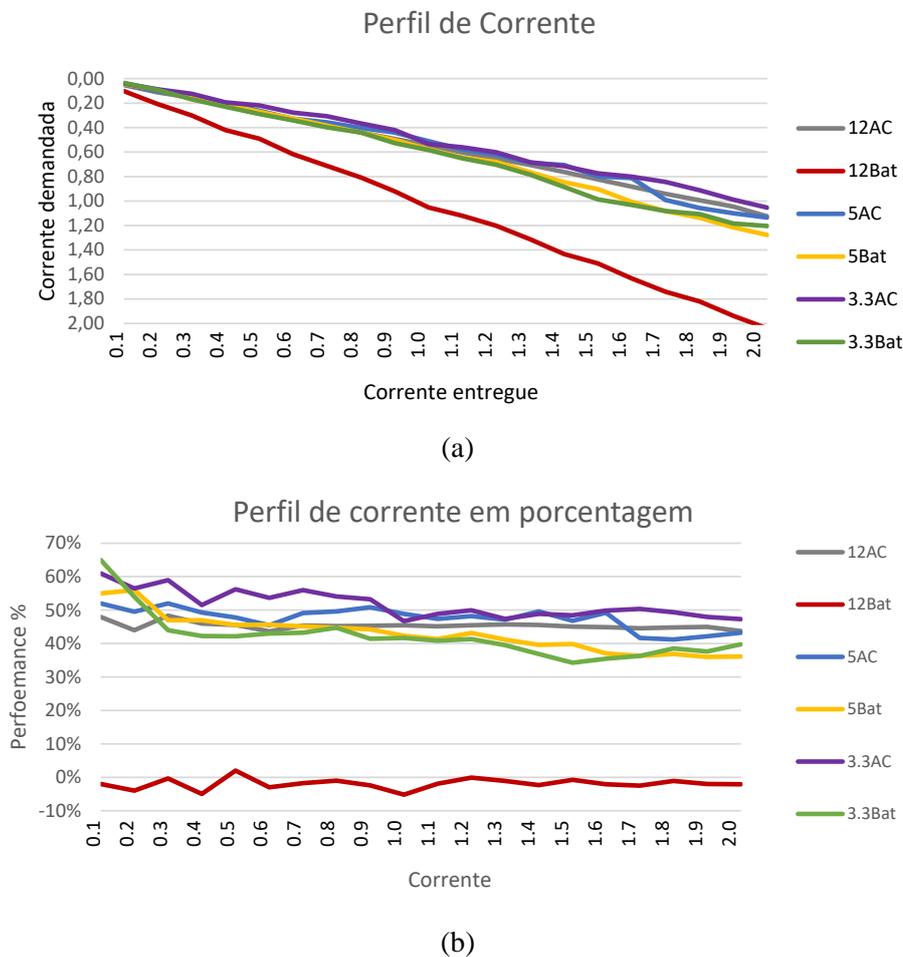


Figura 5.22: Gráficos da curva de eficiência de corrente (a), Porcentagem de eficiência de corrente (b).

Os reguladores funcionaram como esperado; os reguladores DC/DC tiveram um desempenho muito melhor do que um regulador linear. O regulador de 12V operando na bateria estavam dentro da faixa esperada; a relação 1:1 foi prevista, pois a condição de funcionamento da bateria é menor que os 12V na maioria do tempo. A equação percentual foi:

$$P = \left(\frac{I_2 - I_1}{I_1} \right) \times 100 \quad (5.1)$$

Onde P é a porcentagem de ganho, I_1 é a corrente fornecida e I_2 é a corrente puxada.

5.10 Curva de Descarga da Bateria:

A curva de descarga da bateria tem como objetivo avaliar o tempo de autonomia caso a fonte entre no modo bateria. As três saídas foram gravadas simultaneamente usando um Arduino Uno conectado a um computador via USB e streaming via interface serial. Os valores de cada saídas foram ligados a uma carga constante de 1A.

A Figura 5.23 mostra a configuração do teste de descarga da bateria. A fonte de alimentação a ser testada [A], carga eletrônica conectada em 5V e configurada em 1A [B], carga eletrônica conectada em 3.3V e configurada em 1A[C], Arduino Uno configurado para receber as três tensões [D]. O 12V é conectado à carga eletrônica Rigol (não na figura) para gravar os dados no computador; os dados foram coletados usando um aplicativo freeware CoolTerm.

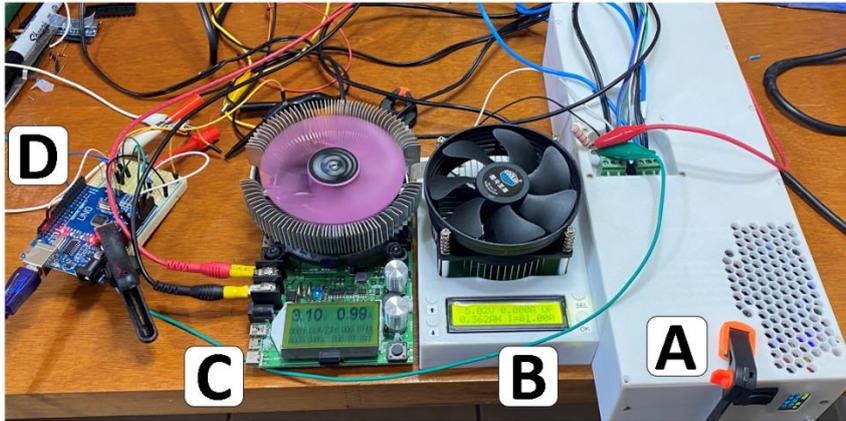


Figura 5.23: Teste de queda de tensão: Fonte a ser testada (A), Carga eletrônica (B)(A), Arduino Uno(D).

A Figura 5.24 mostra a curva de descarga da bateria ao longo do tempo. O regulador de 12V inicialmente fornece 12V e estabiliza em 9.5V após alguns minutos e mantém-se constante durante cerca de 35 minutos; Quando a bateria atinge seu limite mínimo, a fonte detecta e inicia o processo de desligamento por carga baixa. Os reguladores de 5V e 3.3V permanecem constantes o tempo todo, com uma pequena queda em torno de 0.4V em ambas as saídas até que a bateria atinja o limite mínimo.

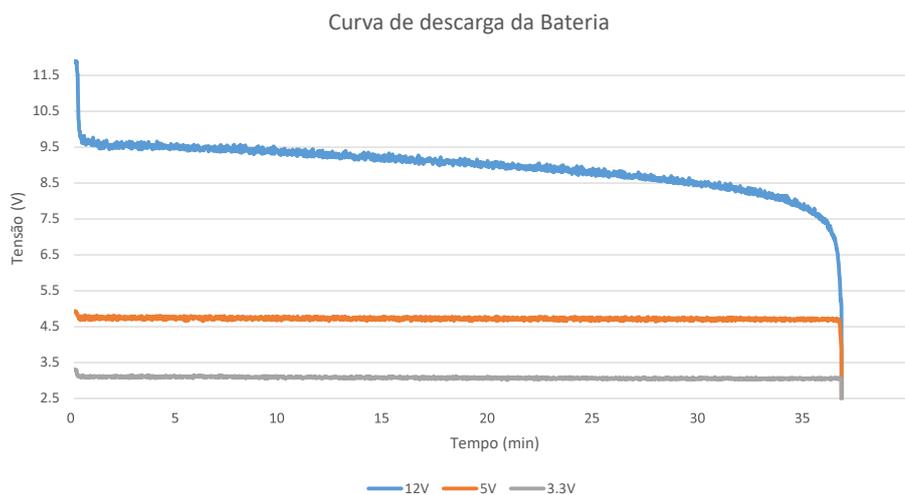


Figura 5.24: Gráfico da curva de descarga da bateria.

O tempo de autonomia foi suficiente em caso de falta de energia ou necessidade de troca de tomada. O UPS interno tem como objetivo manter o dispositivo funcionando sem parar em caso de alguma emergência, e a estimativa de 1A foi para determinar um tempo médio para o teste. Em alguns momentos de pouco uso de processador o Nexus pode utilizar menos de

500mA e em casos extremos pode utilizar até 2A. A tensão alvo do regulador simétrico bipolar para o data logger é de $18V \pm 9V$, o regulador originalmente é 24 V fornecendo $\pm 12V$. Já esperávamos essa queda de tensão na saída, devido à tensão da bateria, ou carga nas saídas. Em todos os testes realizados em 12V a tensão ficou acima do mínimo exigido por 1V, sendo ideal para o data logger, a tensão de 5V e 3.3V tiveram queda aproximada de 150mV. Se um circuito especializado em uma placa de captura no data logger requerer oscilação de tensão zero, ele pode usar uma tensão acima na fonte de alimentação e usar um regulador interno de precisão; por exemplo: se um circuito no data logger requer 3.8V, ele pode usar um regulador interno e alimentá-lo com 5V ou 12V da fonte de alimentação.

5.11 Tempo de Carga:

O teste de carga da bateria avaliou quanto tempo a fonte de alimentação precisa para recarregar completamente a bateria. Através deste teste, o usuário pode saber quanto tempo levará para a bateria ser carregada. Neste procedimento, foi adicionado um multímetro com capacidade de registro de dados para medir a corrente extraída da linha CA, sendo capaz de gravar a oscilação de corrente em relação ao tempo; todos os componentes a bordo foram desconectados, e o único módulo puxando corrente era o BMS dando carga na bateria.

A Figura 5.25 mostra a configuração do ensaio para o tempo de carregamento da bateria. Todas as saídas para o regulador foram desconectada [A], sensores e outros sistemas periféricos também foram desconectados [B] e a saída OLED e UART dos periféricos frontais também foram desconectadas desconectada [C], apenas restando o conversor AC/DC e o BMS.

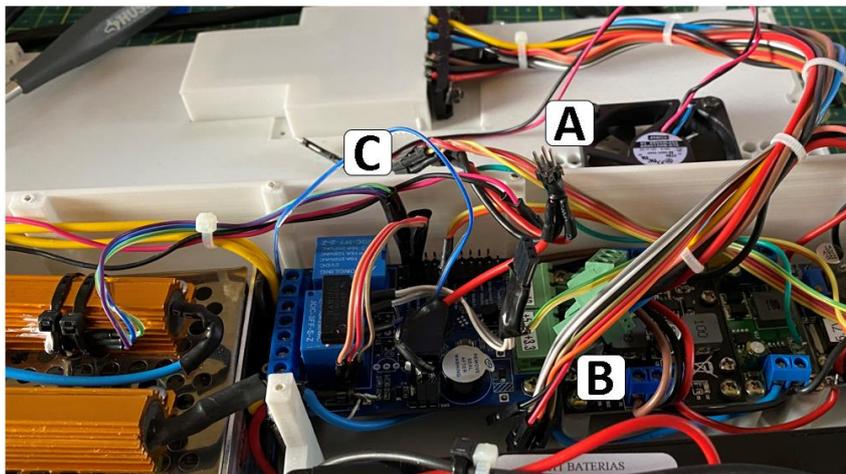


Figura 5.25. Configuração do teste de carga da bateria: Saída do regulador(A), conectores do sensor (B) e conectores OLED e UART (C).

A Figura 5.26 mostra a curva de carga dividida em dois segmentos, o de carregamento rápido puxando cerca de 350mA da linha CA, cerca de 45W, representando 80% da carga durante 60 minutos. O carregamento lento representa 20% do carregamento, puxando cerca de 140mA da linha CA, próximo a 16 W, e com duração de 120 minutos. O LED do módulo

apagou completamente depois que a corrente atingiu abaixo de 100mA indicando o final da carga, toda a carga levou 3 horas para ser concluída.

O BMS fez a maior parte do carregamento em uma hora, cerca de 80%, um carregamento completo levou 3 horas, a corrente máxima ficou em torno de 370mA com 127 V, correspondendo a cerca de 47 W, potência que foi limitada com os dois resistores em série, deixando corrente suficiente para o resto do circuito operar.

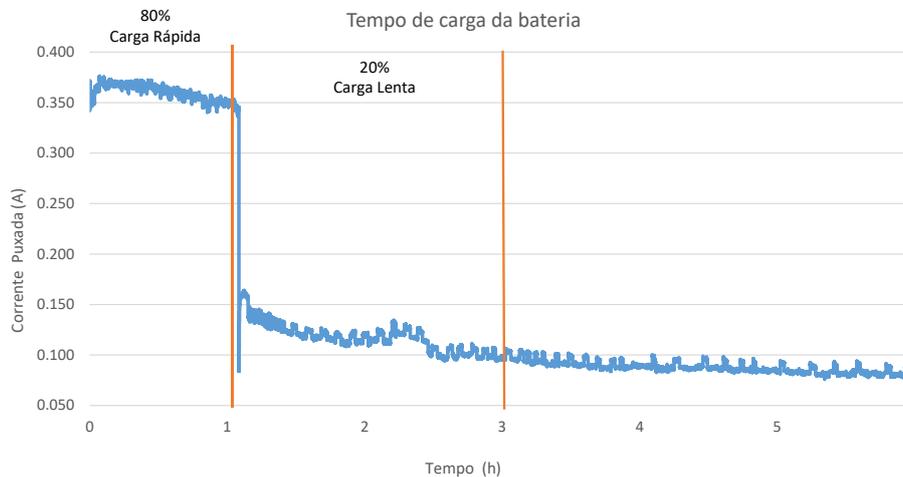


Figura 5.26. Gráfico do tempo de carga da bateria.

5.12 Comunicação Serial:

A comunicação serial verifica se a fonte de alimentação executa suas funções internas e transmite as informações para o data logger ou qualquer dispositivo externo. O requisito é transmitir dados de leitura internos como: Origem fonte de energia (linha CA ou bateria), nível da bateria, corrente em uso, temperaturas do Sensor 1 e Sensor 2 e a porcentagem do sistema de refrigeração. O procedimento utilizado foi conectar a fonte de alimentação a um conversor UART-USB e registrar os dados utilizando um computador e o aplicativo CoolTerm por no mínimo 6 horas.

A Figura 5.27 mostra a configuração para gravar o fluxo de dados. A saída UART da fonte de alimentação [A], que possui os pinos TX, RX, RST, VCC, GND e um pino lógico que permite o desligamento remoto. O conversor UART-USB que envia dados para um computador [B]; A interface do usuário CoolTerm para gravação de dados [C].

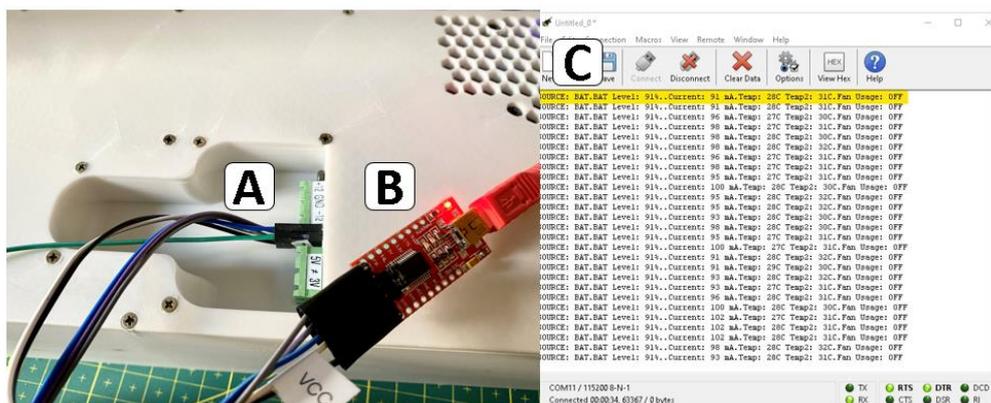


Figura 5.27: Configuração do teste de comunicação serial Porta de comunicação UART da fonte de alimentação (A), Conversor UART-USB (B), Interface do usuário CoolTerm (C).

A Figura 5.28 mostra os dados coletados por 6h usando CoolTerm. Todos os requisitos foram transmitidos. Na linha destacada mostra, a fonte de alimentação estava funcionando com bateria, a saída de corrente era 102mA, as temperaturas internas eram 27°C e 31°C, e o cooler estava desligado naquele momento.

Os resultados demonstraram que os dados foram coletados e podem ser transmitidos via UART para um dispositivo externo com sucesso. O formato dos dados de streaming pode ser alterado para ser enviado via wireless ou outro método. Neste momento, a fonte de alimentação transmite dados sem parar, mas esse comportamento pode ser alterado para streaming sob demanda ou por requisição, com poucas alterações ao código.

```
CoolTerm Capture 2022-10-02 15-12-50.txt - Notepad
File Edit View
SOURCE: BAT BAT Level: 88% Current: 107 mA Temp: 26C Temp2: 31C Fan Usage: OFF
SOURCE: BAT BAT Level: 88% Current: 107 mA Temp: 27C Temp2: 31C Fan Usage: OFF
SOURCE: BAT BAT Level: 88% Current: 107 mA Temp: 27C Temp2: 30C Fan Usage: OFF
SOURCE: BAT BAT Level: 88% Current: 102 mA Temp: 27C Temp2: 31C Fan Usage: OFF
SOURCE: BAT BAT Level: 88% Current: 104 mA Temp: 27C Temp2: 30C Fan Usage: OFF
SOURCE: BAT BAT Level: 88% Current: 102 mA Temp: 27C Temp2: 31C Fan Usage: OFF
SOURCE: BAT BAT Level: 88% Current: 102 mA Temp: 26C Temp2: 31C Fan Usage: OFF
SOURCE: BAT BAT Level: 88% Current: 98 mA Temp: 27C Temp2: 31C Fan Usage: OFF
SOURCE: BAT BAT Level: 88% Current: 95 mA Temp: 27C Temp2: 31C Fan Usage: OFF
SOURCE: BAT BAT Level: 88% Current: 95 mA Temp: 27C Temp2: 31C Fan Usage: OFF
SOURCE: BAT BAT Level: 88% Current: 95 mA Temp: 27C Temp2: 30C Fan Usage: OFF
SOURCE: BAT BAT Level: 88% Current: 100 mA Temp: 26C Temp2: 30C Fan Usage: OFF
SOURCE: BAT BAT Level: 88% Current: 95 mA Temp: 27C Temp2: 31C Fan Usage: OFF
Ln 1, Col 1 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

Figura 24: Dados gravados da fonte de alimentação usando CoolTerm.

5.13 Referências

- 67 SZILVÁSI-NAGY, M.; MÁTYÁSI, GY. Analysis of STL files. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 38, n. 7, p. 945–960, 1 out. 2003.
- 68 BROWN, A. C.; DE BEER, D. Development of a stereolithography (STL) slicing and G- code generation algorithm for an entry level 3-D printer. **2013 Africon**, set. 2013.
- 69 CHOI, E. S. et al. **Theory and design of CNC systems**. [s.l.] London Springer, 2008.
- 70 **Logiciel Cura by Dagoma | Dagoma**. Disponível em: <https://www.dagoma3d.com/en_US/logiciel-cura-by-dagoma>. Acesso em: 24 maio. 2022.
- 71 POPESCU, D. et al. FDM process parameters influence over the mechanical properties of polymer specimens: A review. **Polymer Testing**, v. 69, p. 157–166, ago. 2018.
- 72 **Ender-3 Pro 3D Printer**. Disponível em: <https://www.creality.com/products/ender-3-pro-3d-printer?spm=.page.products_display_1.1&spm_prev=.product.header_1.1>. Acesso em: 31 maio. 2022.
- 73 **Ender-5 Plus 3D Printer**. Disponível em: <https://www.creality.com/products/ender-5-plus-3d-printer?spm=.page.products_display_1.1&spm_prev=.product.header_1.1>. Acesso em: 31 maio. 2022.
- 74 VALERGA, Ana; BATISTA, Moisés; SALGUERO, Jorge; GIROT, Frank. Influence of PLA Filament Conditions on Characteristics of FDM Parts. **Materials**, [S.L.], v. 11, n. 8, p. 1322, 31 jul. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ma11081322>.
- 75 LEWANDOWSKI, M.; ORCZYK, T.; PORWIK, P. Dedicated AVR bootloader for performance improvement of prototyping process. **2017 MIXDES - 24th International Conference "Mixed Design of Integrated Circuits and Systems**, jun.2017. <http://dx.doi.org/10.23919/MIXDES.2017.8005274>
- 76 PRASAD, R. P. **Surface Mount Technology**. [s.l.] Boston, Ma Springer Us, 1997.
- 77 JAAFAR, M. A. S.; DENTON, D. D. A Plated Through-Hole Interconnect Technology in Silicon. **Journal of The Electrochemical Society**, v. 144, n. 7, p. 2490–2495, 1 jul. 1997.
- 78 SUNDARAM, K.; VELLUPILLAI, S. Designing a Novel Star Topology using Operad Linear Differential Theory. **Wireless Personal Communications**, 26 abr. 2021.

Capítulo 6

Conclusão

6.1 Considerações Finais

Através do desenvolvimento da fonte, do seu modelo 3D, dos componentes eletrônicos e de sua montagem foi possível realizar ajustes e melhorias tanto dimensionais como do circuito impresso, e de seu código. Durante a montagem, vários problemas foram corrigidos ou contornados.

Os desenhos 3D precisam de ajuste, e com isso, várias sub impressões ou interações. Foram impressos pequenos seguimentos para corrigir os encaixes e tolerâncias, permitindo maior proximidade dos componentes e ajustando furos para melhor fixação.

A placa microprocessada precisou de ajustes de resistores e a adição externa de um relé para permitir que a fonte continuasse monitorando a carga, mesmo que o resto do circuito estivesse desligado, e a adição de um sensor de temperatura extra, com isso, um circuito novo foi desenhado, porém, ajustes foram feitos de forma manual nessa versão da placa; a placa com os ajustes ainda não foi fabricada.

Os componentes acabaram se comportando de forma não ideal, como o carregador da bateria, que retornava energia pela entrada, o conversor DC/DC simétrico que esquentava além do normal, os coolers que se tornaram muito barulhentos com baixa rotação, além de outros pequenos problemas não relatados que foram corrigidos ou contornados durante a montagem.

O código apresentou alguns problemas e teve de ser adicionado alguns parâmetros para que impedissem ele de não ligar ou desligar, além de entrar em modo travado, impedindo o religamento. Várias versões foram implementadas, a versão atual do código corrigiu vários erros e bugs, permitindo o funcionamento adequado da fonte, nenhum erro baseado em firmware foi detectado até o momento.

Os testes provaram que todo o hardware implementado na fonte foi capaz de satisfazer os requerimentos desejados:

Os testes de chaveamento demonstram que independente do consumo de corrente até 2A, ou seja 66% da carga máxima de cada circuito (3A), não houve desligamento inesperado, corte de energia ou queda de tensão abaixo de 12% do nominal, mantendo a fonte operacional.

O teste de corrente mostrou que queda de tensão em todas as saídas foi menor que 20% da tensão nominal com a corrente máxima, e os reguladores podem fornecer a corrente desejada com uma pequena queda de tensão.

O Teste do perfil de corrente mostrou que os reguladores funcionaram como esperado; os reguladores DC/DC tiveram um desempenho muito melhor do que um regulador linear.

O teste de autonomia mostrou que no tempo de autonomia é suficiente em caso de falta de energia ou necessidade de troca de tomada. O UPS interno tem como objetivo manter o

dispositivo funcionando sem parar, em caso de pane ou a necessidade de mover ele sem o total desligamento, a média estimada foi de 30 minutos, porem esse tempo pode variar dependendo do uso.

O teste de carga da bateria mostrou que o BMS fez a maior parte do carregamento em uma hora, cerca de 80%, o carregamento completo levou 3 horas, a potência que foi limitada com os dois resistores em série, deixando corrente suficiente para o resto do circuito operar.

Os testes de comunicação demonstraram que os dados foram coletados e podem ser transmitidos via UART para um dispositivo externo com sucesso. O formato dos dados de streaming pode ser alterado para ser enviado via wireless ou outro método. Neste momento, a fonte de alimentação transmite dados sem parar, mas esse comportamento pode ser alterado para streaming sob demanda ou por requisição, com poucas alterações ao código.

Como etapas futuras dentro do doutorado, pode-se destacar para o desenvolvimento do data logger, as seguintes etapas:

- Pesquisa de componentes e partes para o Nexus data logger;
- Desenvolvimento da estrutura do data logger;
- Desenvolvimento das placas de conexão do data logger;
- Desenvolvimento da placa de captura de dados do data logger;
- Montagem do data logger;
- Implementação do código e funcionamento do;
- Testes de funcionamento do data logger.