



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELETRÔNICA

Henrique Conti Floriani

**Desenvolvimento de uma Jiga de Teste Automatizada para Teste de Fontes
Chaveadas**

Florianópolis

2024

Henrique Conti Floriani

**Desenvolvimento de uma Jiga de Teste Automatizada para Teste de Fontes
Chaveadas**

Trabalho de Conclusão de Curso submetida ao
Curso de Graduação em Engenharia Eletrônica da
Universidade Federal de Santa Catarina para a
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Eletrônica.

Orientador: Eng. Thiago Fonseca Rech, M.Eng.

Co-orientador: Prof. Roberto Francisco Coelho, Dr.

Florianópolis

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Conti Floriani, Henrique

Desenvolvimento de uma Jiga de Teste Automatizada para
Teste de Fontes Chaveadas / Henrique Conti Floriani ;
orientador, Thiago Fonseca Rech, coorientador, Roberto
Francisco Coelho, 2024.

88 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia Eletrônica,
Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

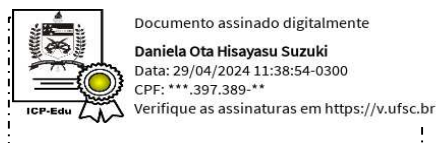
1. Engenharia Eletrônica. 2. Jiga de Teste. 3.
Sequência de Testes. 4. Software. 5. Fontes Chaveadas. I.
Fonseca Rech, Thiago. II. Coelho, Roberto Francisco. III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Eletrônica. IV. Título.

Henrique Conti Floriani

Desenvolvimento de uma Jiga de Teste automatizada para teste de fontes chaveadas

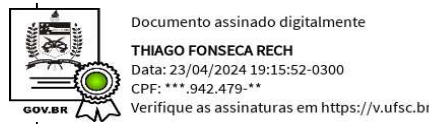
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia Eletrônica

Florianópolis, 16 de abril de 2024



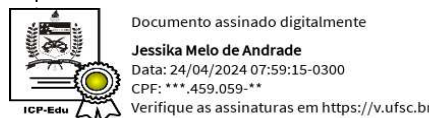
Prof.^a Daniela Ota Hisayasu Suzuki, Dr.^a.
Coordenadora do Curso

Banca examinadora



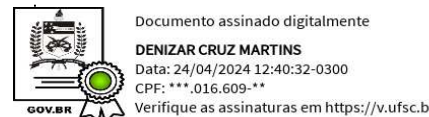
Eng. Thiago Fonseca Rech, M.Eng.

Orientador (a)



Prof.^a. Jéssika Melo de Andrade, Dr.^a.

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Denizar Cruz Martins, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina



Eng. Welenton Maito Panisson, M.Eng.

CEBRA - Conversores Estáticos Brasileiros Ltda.

Florianópolis, 2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha amada família: meus pais, Patricia Conti, Milton Carlos Floriani, e aos meus irmãos, Caroline Conti Floriani e Guilherme Conti Floriani. Sempre estiveram ao meu lado, apoiando-me incondicionalmente e estimulando-me a enfrentar meus desafios. Sem a paciência e compreensão de vocês, eu não teria alcançado este feito. Obrigado por acreditarem em mim.

Agradecimento especial para Rita Cassia Conti, que me ajudou durante todo esse meu período de graduação, e que sempre me incentivou a buscar meus objetivos pessoais e profissionais.

Ao meu orientador Thiago Fonseca Rech pela orientação dedicada e revisão detalhada do trabalho, fornecendo valiosas sugestões de aprimoramento. Agradeço também ao coorientador, prof. Roberto Coelho pela constante dedicação e suporte, sendo prestativo e paciente durante o processo de elaboração do trabalho.

Ao Sr. Alexandre d'Avila da Cunha, pela oportunidade concedida de realizar este projeto em conjunto com a CEBRA, pois com o trabalho realizado durante meu estágio obrigatório na empresa, pude então desenvolver este projeto. Ao grupo de P&D da CEBRA, especialmente ao Rafael, que me auxiliou durante todo o processo de desenvolvimento e que contribuiu muito com seus conhecimentos e experiências repassadas a mim durante o trabalho.

À minha namorada e parceira, Johanna Ensfeld Lueders, que me acompanhou durante todos os momentos, dando-me o apoio necessário ao longo dessa jornada acadêmica. Agradeço por seu amor e compreensão, onde sem os quais eu não seria quem sou hoje.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para esta conquista. Este trabalho não seria possível sem o apoio e o carinho de cada um de vocês. Muito obrigado.

RESUMO

Este projeto tem como objetivo desenvolver uma Jiga de Teste para fontes chaveadas, que são dispositivos essenciais em diversos equipamentos eletrônicos. A Jiga de Teste desempenha um papel crucial na verificação e no correto funcionamento dessas fontes, permitindo avaliar o desempenho do sistema de energia, realizar testes de carga e garantir sua eficácia em diferentes condições de operação. Serão abordados os principais aspectos teóricos que compõem as fontes chaveadas e sua importância nos circuitos eletrônicos. Além disso, serão apresentados aspectos relacionados ao desenvolvimento do hardware e do software da Jiga de Teste. O desenvolvimento do software envolverá a criação de uma interface gráfica do usuário (GUI), assim como a implementação de um código para controlar e monitorar as operações da Jiga. Para isso, será empregado um microcontrolador como controlador principal, responsável por executar o software de teste e interagir com os diversos componentes da Jiga. Quanto ao hardware, serão projetadas placas de circuito impresso (PCBs) para acomodar os componentes eletrônicos que irão realizar as medidas dos pontos de interesse da fonte. A Jiga de Teste tem potencial para validar e aprimorar fontes chaveadas, além de permitir a realização de testes mais precisos e eficientes. O conhecimento adquirido poderá ser aplicado em outras áreas de desenvolvimento eletrônico.

Palavras-chave: Jiga de Teste; Fontes Chaveadas; Software.

ABSTRACT

This project aims to develop a Test Jig for switched-mode power supplies, which are essential devices in various electronic equipment. The Test Jig plays a crucial role in verifying and ensuring the proper operation of these power supplies, allowing for the evaluation of the energy system performance, conducting load tests, and ensuring their effectiveness under different operating conditions. We will address the main theoretical aspects that compose switched-mode power supplies and their importance in electronic circuits. Additionally, both the hardware and software development of the Test Jig will be undertaken. The software development will involve creating a graphical user interface (GUI) and implementing code to control and monitor the operations of the Test Jig. For this purpose, a microcontroller will be used as the main controller, responsible for executing the test software and interacting with the various components of the Test Jig. As for the hardware, printed circuit boards (PCBs) will be designed to accommodate the electronic components that will perform measurements of the points of interest in the power supply. It is expected that the Test Jig will contribute to the validation and improvement of switched-mode power supplies, as well as enabling more precise and efficient testing. The knowledge gained can be applied to other areas of electronic development.

Keywords: Test Jig; Switched-Mode Power Supplies; Software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação Simplificada de Blocos de uma Fonte Chaveada.....	19
Figura 2 – Exemplo de Jiga de teste para monitoramento de subestações.	21
Figura 3 – Exemplo de Jiga de Teste para Fontes Chaveadas.....	22
Figura 4 – Fonte de teste para Jiga.....	24
Figura 5 – Região da placa com os principais pontos de tensões da fonte.....	26
Figura 6 – Região da placa com os LED 's.	27
Figura 7 – Exemplo da sequência de teste manual.....	29
Figura 8 – Fluxograma de ações.....	31
Figura 9 – Diagrama de blocos da Jiga de Testes Automatizada.	36
Figura 10 – Fonte Externa de Alimentação Jiga.....	37
Figura 11 – Saídas da Fonte Externa de Alimentação Jiga.	38
Figura 12 – PCB de Módulo Controle.....	39
Figura 13 – Arduino MEGA 2560.	39
Figura 14 – Esquemático completo do bloco do Microcontrolador.	40
Figura 15 – Esquemático completo do bloco conectores e diodos de proteção.....	43
Figura 16 – Esquemático completo do bloco dos optoacopladores.	44
Figura 17 – Exemplo de circuito do acionamento optoacopladores.	45
Figura 18 – Esquemático completo do bloco do Display LCD e multiplexador.....	45
Figura 19 – Exemplo Display LCD 20x4.....	46
Figura 20 – Tabela com descrição dos pinos Display LCD 20x4.	46
Figura 21 – Multiplexador CD4051B.	48
Figura 22 – Diagrama de funcionamento do multiplexador CD4051B.....	48
Figura 23 – Tabela do multiplexador CD4051B.....	49
Figura 24 – PCB de Módulo Potência	50
Figura 25 – Circuito com Relés de alimentação 12 V.....	51
Figura 26 – Relés p/ 110 V e 220 V (a) e curto-circuito (b).	51
Figura 27 – Circuito com Relés de alimentação 5 V.....	52
Figura 28 – Relé J2 p/ LEDs fonte.	52
Figura 29 – Esquemático do circuito do Sensor de Corrente.	53
Figura 30 – Sensor Hall ACS712ELCTR.....	53
Figura 31 – Esquemático do circuito divisor de tensão: Tensão Saída Fonte (VOUT) e Bateria (VBAT).	54

Figura 32 – Esquemático do circuito divisor de Tensão - Tensão Controle (VPRE).	55
Figura 33 – Esquemático do circuito do Sensor de Iluminação dos LEDs.	56
Figura 34 – Fototransistor SFH309.	56
Figura 35 – Componente LM339.	57
Figura 36 – Posicionamento Mecânico dos fototransistores.	57
Figura 37 – Fonte externa: Modo Bateria.	58
Figura 38 – Esquemático do circuito da seleção da Bateria Externa.	59
Figura 39 – Ponta de prova.	59
Figura 40 – Posicionamento pontas de prova.	60
Figura 41 – PCB de Módulo Cargas.	61
Figura 42 – Esquemático completo do Bloco Carga.	62
Figura 43 – Desenho da Estrutura Completa Jiga de Teste.	63
Figura 44 – Posicionamento das Placas de Potência e Controle da Jiga de Teste.	63
Figura 45 – Posicionamento da placa das cargas na estrutura da Jiga de Teste.	64
Figura 46 – Desenho do pilar das placas de controle e potência.	64
Figura 47 – Desenho do suporte da placa de potência.	65
Figura 48 – Desenho com todas as estruturas de pilar/suporte.	65
Figura 49 – Estrutura p/ placa de teste.	66
Figura 50 – Desenho da Estrutura p/ o display LCD.	66
Figura 51 – Estrutura Completa Jiga de Teste.	67
Figura 52 – Fluxograma do código para os testes da Jiga.	68
Figura 53 – Exemplos de mensagens no Display LCD.	71
Figura 54 – Mensagens no Display LCD para Teste dos LEDs.	72
Figura 55 – Mensagens no Display LCD para Teste de Tensão de Saída.	73
Figura 56 – Exemplo da interface inicial GUI.	74
Figura 57 – Exemplos da interface quando tem Excesso (a) ou falta de números (b).	74
Figura 58 – Exemplo da interface com Sucesso dos Testes.	75
Figura 59 – Exemplo da interface com Erros dos Testes.	75
Figura 60 – Exemplo do documento criado com os dados de testes.	76
Figura 61 – Esquemático do circuito das contadoras.	77
Figura 62 – Contadoras colocadas na Jiga.	77
Figura 63 – Configuração Final da Jiga de Teste.	78
Figura 64 – Gráfico com os comparativos entre os tipos de testes.	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pontos de medição de sinais da fonte.....	25
Tabela 2 – Processos da Sequência de Teste Manual	30
Tabela 3 – Sequência de Testes da Jiga.	33
Tabela 4 – Principais portas analógicas utilizadas.	41
Tabela 5 – Principais portas digitais utilizadas.	42
Tabela 6 – Tabela dos Erros Jiga de Teste.....	49
Tabela 7 – Configuração da Fonte externa: Modo Bateria.....	58
Tabela 8 – Lista das condições/erros no fluxograma dos testes	69
Tabela 9 – Lista de comparativo entre os valores obtidos nos testes.	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LTDA	Sociedade Limitada
MOSFET	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i>
PCB	<i>Print Circuit Board</i>
PIC	<i>Peripheral Interface Controller</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
IO	<i>Input & Output port</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVO GERAL.....	17
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2.	FUNDAMENTAÇÃO	18
2.1	FONTES CHAVEADAS.....	18
2.2	JIGA DE TESTES E SUA AUTOMATIZAÇÃO	20
3.	DESENVOLVIMENTO	23
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA FONTE DE TESTE	24
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE TESTES DA JIGA.....	28
3.3	ESPECIFICAÇÃO DA JIGA DE TESTES.....	36
3.3.1.	SISTEMA HARDWARE DA JIGA DE TESTE	37
<i>3.3.1.1</i>	<i>MÓDULO DE CONTROLE.....</i>	<i>38</i>
<i>3.3.1.1.1</i>	<i>MICROCONTROLADOR.....</i>	<i>39</i>
<i>3.3.1.1.2</i>	<i>CONECTORES E DIODOS DE PROTEÇÃO.....</i>	<i>43</i>
<i>3.3.1.1.3</i>	<i>OPTOACOPLADORES</i>	<i>44</i>
<i>3.3.1.1.4</i>	<i>DISPLAY LCD E MULTIPLEXADOR.....</i>	<i>45</i>
<i>3.3.1.2</i>	<i>MÓDULO DE POTÊNCIA.....</i>	<i>50</i>
<i>3.3.1.2.1</i>	<i>RELÉS.....</i>	<i>50</i>
<i>3.3.1.2.2</i>	<i>SENSOR DE CORRENTE</i>	<i>52</i>
<i>3.3.1.2.3</i>	<i>SENSOR DE TENSÃO.....</i>	<i>54</i>
<i>3.3.1.2.4</i>	<i>SENSOR DE ILUMINAÇÃO DOS LEDS</i>	<i>55</i>
<i>3.3.1.2.5</i>	<i>SELEÇÃO MODOS DE OPERAÇÃO BATERIA EXTERNA.....</i>	<i>58</i>
<i>3.3.1.2.6</i>	<i>PINOS DE MEDIÇÃO.....</i>	<i>59</i>
<i>3.3.1.3</i>	<i>MÓDULO DE CARGA.....</i>	<i>60</i>
3.3.2	SISTEMA MECÂNICO DA JIGA DE TESTES.....	62
3.3.3	SISTEMA SOFTWARES.....	67
<i>3.3.3.1</i>	<i>SOFTWARE DE AQUISIÇÃO DE DADOS EM MICROCONTROLADOR..</i>	<i>68</i>
<i>3.3.3.2</i>	<i>INTERFACE GRÁFICA DO USUÁRIO.....</i>	<i>73</i>
4.	RESULTADOS.....	76

5. CONCLUSÃO	81
REFERÊNCIAS.....	82
APÊNDICE A - DESIGN PCB DO MÓDULO DE CONTROLE DA JIGA	84
APÊNDICE B - DESIGN PCB MÓDULO POTÊNCIA DA JIGA	85
APÊNDICE C - DESIGN PCB MÓDULO DA CARGA DA JIGA	86
APÊNDICE D - CÓDIGOS DO SOFTWARE	87
APÊNDICE E - DESIGN PCB DO CIRCUITO DA CONTATORA	88

1. INTRODUÇÃO

Hoje muitos setores industriais estão em constante otimização de processos, com o objetivo de fornecer ao cliente final um produto de qualidade. A busca por soluções visando o aperfeiçoamento ocorre em diversos contextos dentro empresas e indústrias. Uma excelente oportunidade de desenvolvimento reside na automação de processos.

A automação de processos pode ser vista como a substituição de diversas tarefas manuais por sistemas automatizados. Seu objetivo é aumentar a produtividade, reduzir custos, eliminar desperdícios, aumentar a eficiência e melhorar a segurança, minimizando erros que ocorrem durante os processos (ROGGIA, 2016).

Na indústria de produtos eletrônicos, como fontes chaveadas, o seu desenvolvimento é um processo complexo, que envolve uma série de etapas, desde o projeto inicial até a distribuição. Uma das etapas mais importantes, e que pode levar mais tempo, é a validação do produto final com testes. Isso ocorre, pois, o processo manual, requer o uso de vários equipamentos elétricos e eletrônicos, para validar medidas ou situações que o produto deve ser checado. Cada um desses equipamentos exige uma preparação diferente de montagem e manuseio, o que contribui para aumentar o tempo de validação final. Além disso, podem ocorrer falhas na hora de manusear o equipamento ou leituras erradas dos testes manuais.

Este presente trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um sistema automatizado de testes em fontes chaveadas. Este sistema permite o controle e o funcionamento através de um computador, do teste e também receber os dados dos testes gerados. Para o primeiro capítulo, apresenta-se uma breve introdução do tema abordado no trabalho, destacando os objetivos gerais e específicos. No segundo capítulo, será realizada uma análise da literatura sobre as fontes chaveadas, seu conceito fundamental e também quais são os principais elementos que a compõem. Além disso, será abordado o conceito de Jiga de Teste automatizada. Para o terceiro capítulo, será apresentado o desenvolvimento do hardware de cada módulo composto dentro da Jiga de Teste, juntamente com o software utilizado para designar o fluxo determinado de trabalho que a Jiga deve estabelecer como sequência de teste. No quarto capítulo, será apresentado os resultados obtidos do desenvolvimento do protótipo, além dos resultados dos testes colocados na fonte. Por fim, no último capítulo, são descritas a conclusão, assim como, futuras perspectivas a este trabalho.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma Jiga de Teste para ser utilizada em fontes chaveadas. Além disso, o projeto visa auxiliar na validação de uma fonte chaveada produzida pela empresa CEBRA - Conversores Estáticos Brasileiros Ltda, especializada em projetos e fabricação de equipamentos eletrônicos e conversores de tensão para diversas aplicações.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Projetar o hardware para medição de valores de tensão e corrente de uma fonte chaveada;
- Desenvolver o software para controlar a Jiga de Teste, permitindo a aferição dos dados obtidos através da leitura do hardware, com a finalidade de validar esses valores;
- Criar uma interface para controle das etapas de teste pelo operador;
- Validar o hardware e software desenvolvido juntamente com a empresa para ser aplicado posteriormente na produção.

2. FUNDAMENTAÇÃO

Neste capítulo, será apresentada uma breve fundamentação teórica necessária para a descrição sobre o que são fontes chaveadas. Além disso, será definido o termo "Jiga de Teste", mostrando a importância da sua funcionalidade com produtos eletrônicos.

2.1 FONTES CHAVEADAS

Atualmente, as fontes de alimentação podem ser divididas em duas categorias principais: as fontes de alimentação lineares e as fontes de alimentação chaveadas. Apesar das fontes lineares apresentarem uma simplicidade na sua construção, normalmente tendo um transformador, retificador, filtro e circuito retificado, elas tendem a ser muito volumosas, baixo rendimento e pesadas (MEHL, 2002; ESPERDION et al, 2006).

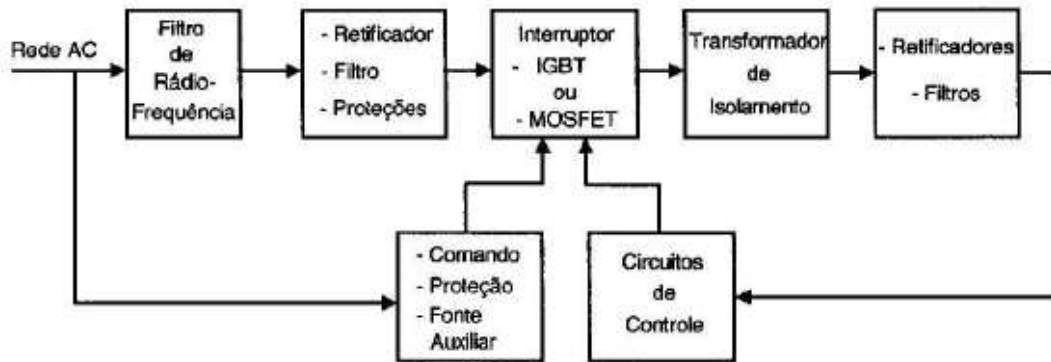
Já as fontes chaveadas são projetadas para serem menos volumosas e mais eficientes em relação às fontes lineares. Por outro lado, elas possuem algumas desvantagens: empregam maior número de componentes, elevando o custo do projeto. Além de introduzirem interferência eletromagnética, ondulação da tensão de saída e, principalmente, uma resposta transitória mais lenta e entre outros pontos (BARBI, 2001).

O desenvolvimento das fontes chaveadas começou na década de 60, com o objetivo de compactar equipamentos de alimentação de energia para aplicações militares e espaciais. Com o avanço tecnológico na área de microeletrônica, o seu uso foi utilizado também em computadores, equipamentos médicos, notebooks, celulares, televisores, monitores, entre outros (BARBI, 2001).

Uma fonte chaveada transforma a tensão alternada (CA) da rede elétrica em tensão contínua (CC), utilizando o chaveamento rápido de componentes eletrônicos para fornecer uma saída de tensão contínua estável para outros dispositivos eletrônicos. Normalmente elas são compostas por diodos, capacitores, transistores, transformadores, indutores e entre outros elementos (BARBI, 2001). Conforme

ilustrado na Figura 1, apresenta-se um diagrama de blocos simplificado da estrutura de uma fonte chaveada, e em seguida, tem-se uma descrição básica sobre cada bloco.

Figura 1 – Representação Simplificada de Blocos de uma Fonte Chaveada.



Fonte: (BARBI, 2001)

- **Filtros de Rádio Frequência:** Evitam a passagem de ruído elétrico entre a fonte e a rede elétrica, também pode ocorrer no sentido inverso, evitando que ruído existente na rede elétrica seja transmitido para a fonte.

- **Retificador, filtragem de entrada e proteções:** Transforma a tensão alternada (CA) da rede elétrica em tensão contínua (CC).

- **Interruptor Eletrônico:** Esse bloco geralmente consiste em um transistor, tipicamente MOSFETs, pois eles podem operar em frequências mais altas e com baixas perdas, simplificando o circuito de chaveamento. Ele é responsável por ligar e desligar a corrente alternada (CA) da rede elétrica.

- **Transformador Isolador ou de Alta Frequência:** O chaveamento do interruptor eletrônico resulta na produção de uma alta tensão pulsada que, por meio de um transformador, é adaptada para o nível desejado na saída, seja elevando ou reduzindo-a. Adicionalmente, esse processo permite o isolamento elétrico entre a saída da fonte chaveada e a rede elétrica.

- **Retificador e filtro de Alta Frequência:** Transforma a tensão alternada do transformador em tensão contínua (CC) na saída.

- **Circuito de Comando:** O circuito de comando desempenha a regulação do bloco de interruptor eletrônico em uma fonte chaveada. Ele controla a corrente elétrica nos componentes chaveados, determinando quando devem estar ligados ou

desligados. Isso é feito ajustando-se a tensão ou corrente aplicada aos transistores, determinando quando devem conduzir ou interromper o fluxo de corrente elétrica.

- **Circuito de Controle:** O controle de uma fonte chaveada utiliza um comparador para comparar a tensão de saída com uma referência. Se a tensão de saída for menor que a referência, o interruptor eletrônico é ligado por mais tempo; se for maior, é ligado por menos tempo. O método conhecido como PWM, ou Modulação por Largura de Pulso, efetivamente regula a tensão de saída (CHRYSSIS, 1989).

- **Circuito de Proteção e Auxiliar:** Incluem circuitos de proteção contra curto-circuito e outras condições anormais de funcionamento. Esses circuitos podem ser implementados através de controles adicionais sobre o interruptor eletrônico. Além disso, existem circuitos auxiliares para acionar o interruptor eletrônico e, em alguns casos, interruptores auxiliares, como é o caso das fontes ressonantes.

2.2 JIGA DE TESTES E SUA AUTOMATIZAÇÃO

Em ambientes industriais especializados, a validação de produtos é realizada por meio de equipamentos de teste. Um exemplo comum é o sistema de Equipamento de Teste Automático (ATE), composto por instrumentos especializados e adaptados para aplicar estímulos, realizar medições precisas e avaliar dispositivos ou sistemas em condições controladas (TOKU, 2013).

Esses equipamentos desempenham testes de maneira eficiente e confiável, fornecendo dados relevantes para garantir a qualidade e o desempenho dos produtos industriais.

Uma Jiga de Teste é uma forma especializada de ATE, sendo, portanto um dispositivo essencial para facilitar e aumentar a eficiência e produtividade nas indústrias, (RADHWAN, 2019).

Adaptáveis às características específicas de cada produto ou processo, as Jigas de Teste realizam testes repetíveis para garantir resultados consistentes em diversas áreas, como testes ópticos, mecânicos, elétricos, eletrônicos, químicos e físicos.

Uma Jiga de Teste pode ser operada de forma manual ou automatizada sendo a principal distinção entre os tipos de Jigas de Testes está na automatização dos

procedimentos. No caso de uma Jiga de Teste automatizada, a vantagem reside na eliminação da necessidade de fixar ou conectar repetidamente um conjunto de instrumentos ao produto para cada teste específico para o qual a Jiga foi desenvolvida.

Na Figura 2, apresenta-se um exemplo da montagem de uma Jiga de Teste automatizada que realiza o monitoramento e subestações de energia. No caso, a Jiga tem como propósito detectar falhas nos componentes do sistema de monitoramento, principalmente para as medidas de tensões e correntes, feitas através dos sensores de corrente e tensão do sistema. As leituras dos sensores são enviadas via conexão serial para um microcomputador, no qual são convertidas e exibidas em um monitor com uma interface gráfica simplificada para facilitar a consulta.

Figura 2 – Exemplo de Jiga de teste para monitoramento de subestações.



Fonte: (LUCCA et al., 2017)

Na indústria de produtos eletrônicos em pequena escala, a validação final de produtos é realizada normalmente com testes manuais. Para isso, são necessários diversos equipamentos elétricos e eletrônicos, como multímetros e osciloscópios, para validar medidas e verificar parâmetros essenciais dos produtos. Isso engloba a verificação dos valores de tensão e corrente nominais de operação, além da detecção de curto-circuito, simulação com cargas e outras análises críticas.

Esses procedimentos garantem que os produtos estejam em conformidade com as especificações e padrões de qualidade antes de serem disponibilizados no mercado.

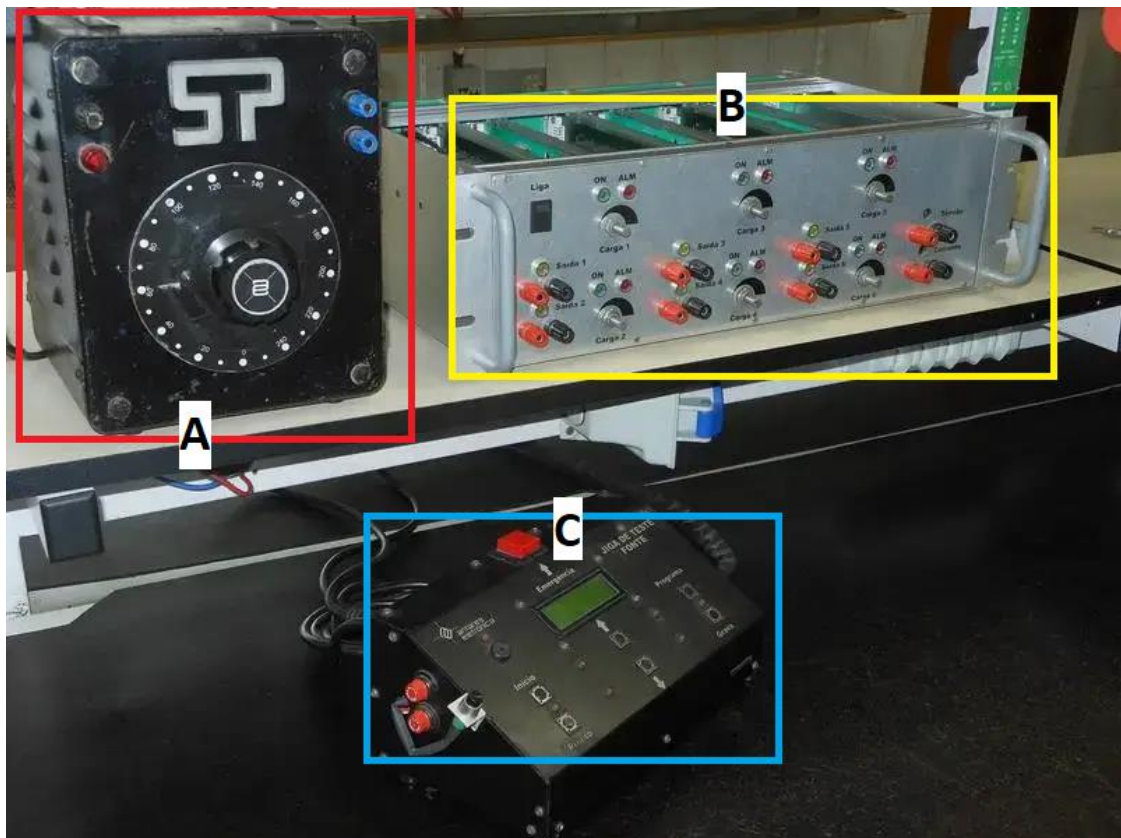
Uma Jiga de Testes automatizada é um dispositivo que submete os testes projetados na Jiga, de forma automática, através de um acionamento por meio de uma

interface em computadores ligados em rede ou em sistemas. Todo o processo de teste é realizado sem a intervenção humana, sendo controlado por software que monitora o desempenho da Jiga e registra os resultados (CESAR, 2014; PEREIRA, 2023; RODRIGUES, 2009).

Para uma Jiga de Teste em fontes chaveadas, os parâmetros medidos incluem: entrada mínima sem carga, entrada mínima com carga máxima, entrada máxima com carga máxima, curto em cada saída e, se necessário, medição do *ripple* nas saídas usando um osciloscópio. Essas medidas são fundamentais para garantir o desempenho e a confiabilidade da fonte em diferentes condições de operação (ELETRÔNICA, 2024).

Para ilustrar um pouco melhor sobre o tipo de Jiga que será apresentada neste trabalho, tem-se na Figura 3, uma representação de uma Jiga de Teste para fontes chaveadas.

Figura 3 – Exemplo de Jiga de Teste para Fontes Chaveadas.



Fonte: Disponível em: <https://www.antaresonline.com.br/jiga-teste-fontes>

Na montagem da Jiga de Teste para fontes chaveadas, conforme ilustrado na Figura 3, estão dispostos elementos essenciais para o processo. O Variac, elemento A, desempenha o papel de controlar a entrada de energia para o sistema de teste. As cargas eletrônicas, elemento B, simulam o consumo de potência. Por fim o elemento C, tem-se a estrutura com botões de controle e um display, no qual é realizado o monitoramento do progresso dos testes e indicada sua conclusão.

3. DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento da Jiga de Testes foi dividido em três etapas principais. Primeiramente, estabeleceu compreender o funcionamento da fonte a ser testada, identificando seus valores nominais e pontos cruciais de operação.

Em seguida, foi realizada a caracterização dos testes que a Jiga executará, determinando a sequência de operações necessárias para avaliar adequadamente a fonte. Isso incluiu a definição dos procedimentos de teste e os métodos de medição apropriados.

Posteriormente, para a especificação da Jiga, foi estabelecido que a mesma teria seu desenvolvimento em três sistemas principais: hardware, mecânico e de software.

O hardware consiste de circuitos de medição dos principais parâmetros da fonte, divididos em módulos de controle, potência e cargas. O sistema mecânico é formado pela estrutura mecânica da Jiga para fixação segura dos componentes eletrônicos, necessária para garantir a integridade do sinal adquirido.

Para o desenvolvimento dos softwares, incluiu a implementação de dois tipos de programas. Um deles é um programa de controle para a Jiga, responsável por coordenar os testes e armazenar os dados obtidos em um servidor. Além disso, foi desenvolvida uma interface gráfica para facilitar o acionamento dos testes pelos operadores.

Por fim, algumas escolhas de projeto foram feitas para garantir a eficiência e funcionalidade da Jiga, possibilitando testes mais precisos e facilitando o processo de desenvolvimento. Por isso, para o hardware, decidiu-se dividir o mesmo em três módulos, ou seja, em PCBs distintas para acomodar a variedade de circuitos para

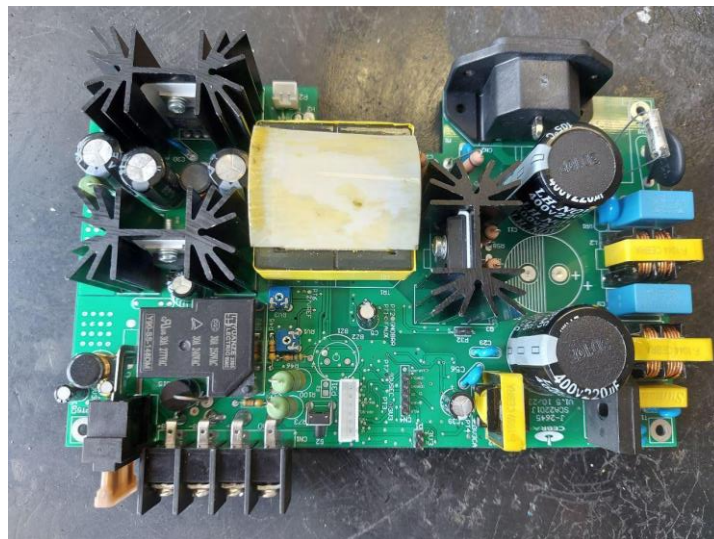
medição, acionamento e controle do equipamento. Essa divisão simplificou o processo de montagem e validação de cada bloco do projeto, tornando-o mais gerenciável e permitindo um controle mais preciso sobre o funcionamento de cada módulo.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA FONTE DE TESTE

A fonte chaveada destinada aos testes na Jiga opera em dois modos: nominal e bateria. No modo nominal, é fornecida uma tensão estável de 55 V, enquanto no modo bateria, o sistema atua como uma bateria ativa, mantendo a mesma tensão para alimentar uma carga externa. Também são incluídos LEDs de identificação específicos para cada modo de operação, facilitando a distinção entre eles. Além disso, em termos técnicos, a fonte possui uma potência nominal de 200 W e suporta uma carga máxima de 3,5 A.

Na Figura 4, tem-se um exemplar da fonte chaveada que será testada na Jiga.

Figura 4 – Fonte de teste para Jiga.



Fonte: Autor

Em resumo, os principais parâmetros da fonte a serem analisados nos testes da Jiga são: A tensão e corrente de saída, juntamente com os LEDs de identificação. Na placa de circuito impresso (PCB) da fonte, foram adicionados pontos de medição para facilitar a verificação manual da fonte. Esses pontos permitem realizar medições de forma mais simples, sem a necessidade de consultar o esquemático do circuito.

Eles estão detalhados na Tabela 1, indicando onde as medições devem ser feitas, proporcionando uma referência clara e direta para os testes da fonte.

Tabela 1 – Pontos de medição de sinais da fonte.

(continua)

Nº POSIÇÃO NA PLACA	FUNÇÃO NA PLACA	TIPOS DE SINAL
P1	+3V3 PIC	ANALÓGICO
P3	+3V3 PIC	ANALÓGICO
P4	SAÍDA DE +55 V	ANALÓGICO
P5	+55 V CARREGAMENTO DA BATERIA	ANALÓGICO
P6	SAÍDA DE +55 V DA BATERIA	ANALÓGICO
P7	PIC ACIONAMENTO RELÉ	DIGITAL
P8	PIC BUZZER	DIGITAL
P9	PIC LIGA/DESLIGA FONTE	DIGITAL
P10	PIC DIVISOR SAÍDA DE +55V	ANALÓGICO
P11	PIC DIVISOR +55 V CARREGAMENTO DA BATERIA	ANALÓGICO
P12	PIC DIVISOR SAÍDA DE +55 V DA BATERIA	ANALÓGICO
P13	PIC MONITORA A CORRENTE	ANALÓGICO
P14	PIC PRESENÇA VCA (PELO 3V3 ENTRA CA)	DIGITAL
P15	PIC RB6/SDA	DIGITAL
P16	VVV PRIMÁRIO	ANALÓGICO
P17	FONTE AUXILIAR PRIMÁRIO	ANALÓGICO
P18	GATE MOSFET (COMANDO)	ANALÓGICO
P19	PINO 1 UC3844 COMPENSAÇÃO	ANALÓGICO
P20	SENSOR CORRENTE PRIMÁRIO	ANALÓGICO
P21	+3V3 GERADO PELA BATERIA	ANALÓGICO
P22	GND PRIMÁRIO	REFERÊNCIA
P23	+3V3 GERADO PELA ENTRADA CA ANODO DIODO	ANALÓGICO
P24	GND PRIMÁRIO	REFERÊNCIA
P25	+27V REFERÊNCIA	ANALÓGICO
P26	+12V AUXILIAR SECUNDÁRIO (VENTILADOR/OPTO)	ANALÓGICO
P27	GND CARG SECUNDÁRIO	REFERÊNCIA
P28	GND PRIMÁRIO	REFERÊNCIA/
P29	+3V3 GERADO PELA AUXILIAR SECUNDÁRIO REG LINEAR	ANALÓGICO
P30	GND CARG SECUNDÁRIO	REFERÊNCIA
P31	+3V3 PIC	ANALÓGICO
P32	FONTE AUXILIAR PRIMÁRIO	ANALÓGICO
P33	SAÍDA DE +55 V DA BATERIA	ANALÓGICO
P34	BOBINA DO RELÉ	ANALÓGICO
P35	NEUTRO FONTE	ANALÓGICO
P36	TERRA	REFERÊNCIA

Tabela 1 – Pontos de medição de sinais da fonte.

(conclusão)

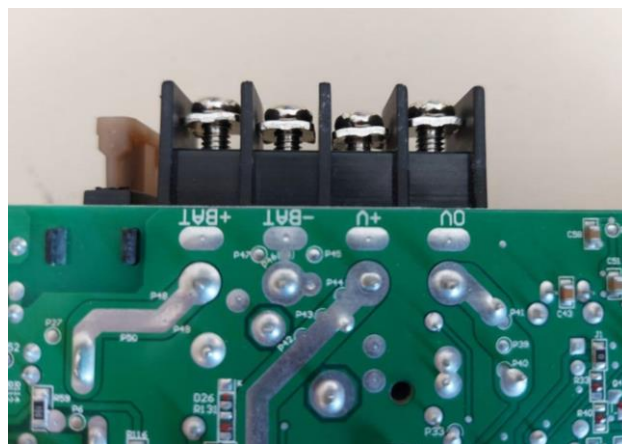
P37	NEUTRO FONTE	ANALÓGICO
P38	FASE FONTE	ANALÓGICO
P37	NEUTRO FONTE	ANALÓGICO
P38	FASE FONTE	ANALÓGICO
P39	CARGA 0 V	REFERÊNCIA
P46	BATERIA GD 0V	REFERÊNCIA
P47	BATERIA GD 0 V	REFERÊNCIA
P48	SAÍDA BATERIA GD +55 V	ANALÓGICO
P49	SAÍDA BATERIA GD +55 V	ANALÓGICO
P50	SAÍDA BATERIA GD +55 V	ANALÓGICO
P51	FASE FONTE	ANALÓGICO
P52	JUMPER	ANALÓGICO
P53	JUMPER	ANALÓGICO
P54	JUMPER	ANALÓGICO
P55	JUMPER	ANALÓGICO

Fonte: Autor

Conforme descrito na Tabela 1, a placa possui diversos pontos de medição que permitem a análise de diferentes tipos de sinais analógicos e digitais.

Para este projeto, o foco estará nas tensões de saída da fonte nos modos nominal e bateria. Na Figura 5, apresenta-se a localização desses pontos na placa, onde os pontos P42, P43 e P44 correspondem às tensões de saída da fonte, enquanto os pontos P48, P49 e P50 representam as saídas da bateria.

Figura 5 – Região da placa com os principais pontos de tensões da fonte.



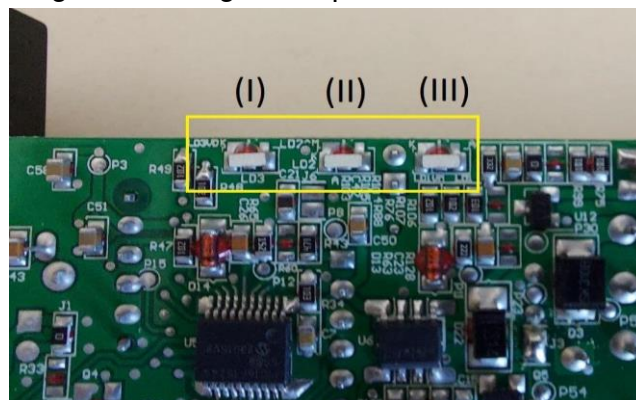
Fonte: Autor

Para a seção dos LEDs de identificação, a placa apresenta três LEDs distintos, cada um fornecendo uma indicação específica do status da fonte. Quando ativados, esses LEDs representam as seguintes informações:

1. **Verde:** Indica que a fonte está conectada à rede elétrica CA, onde a luz emitida é constante; também para a situação de carga máxima (3,5 A), apresenta-se a mesma situação da luz emitida.
2. **Vermelho:** Oferece informações sobre diferentes situações da fonte. Primeiro, sobre o modo bateria. Quando a tensão da saída da fonte estiver abaixo de 42 V, o LED irá piscar. Para as situações que envolvem carga: para carga mínima (0 A), fica apagado; para sobrecarga (3,6 A~3,9 A), fica aceso; para limitação de carga (>3,9 A), pisca. Além disso, ele também indica outras condições, como a conexão à rede elétrica CA 220 V (ligado fixo) e a conexão de duas fontes de energia em modo redundante (piscando em conjunto com o LED verde).
3. **Amarelo:** Indica que a fonte está operando no modo bateria, quando a alimentação da rede elétrica CA não está disponível. Para este modo, conforme a intensidade de tensão que está na fonte, ele irá alterar a intensidade da emissão.

Para ilustrar a sua localização na placa, apresenta-se na Figura 6, o posicionamento dos LEDs especificamente, Verde (I), Vermelho (II) e Amarelo (III).

Figura 6 – Região da placa com os LED 's.



Fonte: Autor

Após a apresentação dos pontos de interesse que requerem avaliação pela Jiga de Testes para assegurar o desempenho confiável da fonte, segue-se o desenvolvimento de testes abrangentes que incluem os principais pontos de medição, como as tensões de saída, além da verificação do funcionamento dos LEDs.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE TESTES DA JIGA

A avaliação de fontes chaveadas é uma etapa crítica no ciclo de produção de eletrônicos, exigindo a caracterização de diversos testes para verificar se a fonte apresenta os valores nominais dentro dos limites operacionais permitidos. A diversidade desses testes visa garantir não apenas o cumprimento das especificações, mas também a confiabilidade e eficiência energética desses componentes vitais.

No contexto do projeto em desenvolvimento, a caracterização dos testes na fonte será centrada em aspectos elétricos. O objetivo principal é realizar testes criteriosos para avaliar a robustez e o desempenho elétrico do dispositivo. Dentre os principais enfoques, destacam-se testes que abordem as seguintes condições:

- **Medição da saída da fonte:** considerando para os diferentes casos de operações da fonte (nominal e modo bateria);
- **Medição da resposta a variações de carga na saída da fonte:** considerando para os diferentes casos de operações da fonte (nominal e modo bateria);
- **Medição de sistemas de proteção de fonte:** medidas de curto-circuito na saída da fonte;
- **Verificação dos diferentes modos de operação da fonte.**

É importante ressaltar que, embora existam outros tipos de testes relacionados a diversas características das fontes chaveadas, como testes de confiabilidade mecânica, magnética, termorregulação e entre outros, esses aspectos não serão abordados neste projeto. O foco concentra-se especificamente nos aspectos elétricos mencionados anteriormente, que são os pontos críticos de análise da fonte.

Tabela 2 – Processos da Sequência de Teste Manual

AÇÃO	TIPO	AÇÃO	TIPO
A1	ABRIR J2, J3	A18	DIMINUIR TENSÃO BATERIA ENTRE 48V ~ 46V
A2	FREQUÊNCIA MEDIDA	A19	VERIFICAR LED AMARELO PISCANDO
A3	DESLIGAR FONTE AUXILIAR	A20	DIMINUIR TENSÃO BATERIA ENTRE 46V ~ 42V
A4	AJUSTAR EM 55 V (RV1)	A21	VERIFICAR LED AMARELO PISCANDO
A5	MEDIR 3V3 CA	A22	DIMINUIR TENSÃO BATERIA PARA < 40V
A6	MEDIR 3V5 CC	A23	VERIFICAR LED VERMELHO PISCANDO
A7	MEDIR 27V REF	A24	AUMENTAR TENSÃO BATERIA PARA > 55V
A8	FECHAR J2, J3	A25	VERIFICAR LED VERMELHO PISCANDO
A9	CONECTAR BATERIA EXTERNA	A26	APERTAR O BOTÃO S2 NA FONTE PARA CONECTAR A BATERIA
A10	VERIFICAR LED VERMELHO PISCANDO	A27	VERIFICAR LED AMARELO
A11	LIGAR CA (110V)	A28	LIGAR CA
A12	MEDIR TENSÃO SAÍDA FONTE	A29	MEDIR TENSÃO SAÍDA FONTE
A13	VERIFICAR LED VERDE	A30	COLOCAR CARGA MÁXIMA NA FONTE (3,5 A)
A14	MEDIR VENTILADOR	A31	MEDIR TENSÃO SAÍDA FONTE (C/ CARGA MÁXIMA)
A15	DESCONECTAR CA	A32	VERIFICAR LED VERDE
A16	DIMINUIR TENSÃO BATERIA ENTRE 55V ~ 48V	A33	COLOCAR SOBRECARGA NA FONTE (>3,6 A)
A17	VERIFICAR LED AMARELO	A34	VERIFICAR LED VERDE
A35	VERIFICAR LED VERMELHO PISCANDO	A52	COLOCAR SOBRECARGA DE BATERIA DA FONTE (>0,5 A)
A36	APERTAR O BOTÃO S2 NA FONTE PARA DESCONECTAR A BATERIA	A53	VERIFICAR LED VERDE
A37	COLOCAR LIMITAÇÃO DE CORRENTE NA FONTE (>=3,9 A)	A54	VERIFICAR LED VERMELHO PISCANDO
A38	VERIFICAR LED VERDE	A55	DESLIGAR CA
A39	VERIFICAR LED VERMELHO PISCANDO	A56	LIGAR CA (220V)
A40	ADICIONAR CARGA PARA VERIFICAR LIMITAÇÃO	A57	VERIFICAR LED VERDE
A41	DESLIGAR CA	A58	VERIFICAR LED VERMELHO PISCANDO
A42	COLOCAR CARGA MÁXIMA NA FONTE (3,5 A)	A59	MEDIR TENSÃO DE SAÍDA COM PARTIDA DE CARGA MÁXIMA
A43	LIGAR CA	A60	VERIFICAR LED VERDE
A44	CONECTAR BATERIA	A61	VERIFICAR LED VERMELHO PISCANDO
A45	MEDIR TENSÃO DE SAÍDA COM PARTIDA DE CARGA MÁXIMA	A62	TESTAR CURTO-CIRCUITO
A46	COLOCAR SOBRECARGA NA FONTE (>3,6 A ~ 4 A)	A63	VERIFICAR LED VERDE
A47	VERIFICAR LED VERMELHO	A64	VERIFICAR LED VERMELHO PISCANDO
A48	DESCONECTAR BATERIA	A65	MEDIR TENSÃO SAÍDA FONTE
A49	TESTAR CURTO-CIRCUITO	A66	VERIFICAR LED VERDE
A50	TESTAR LIMITAÇÃO DE CARGA DE BATERIA DA FONTE (0,5 A)	A67	VERIFICAR LED VERDE
A51	VERIFICAR LED VERDE	A68	VERIFICAR LED VERMELHO PISCANDO

Fonte: Autor

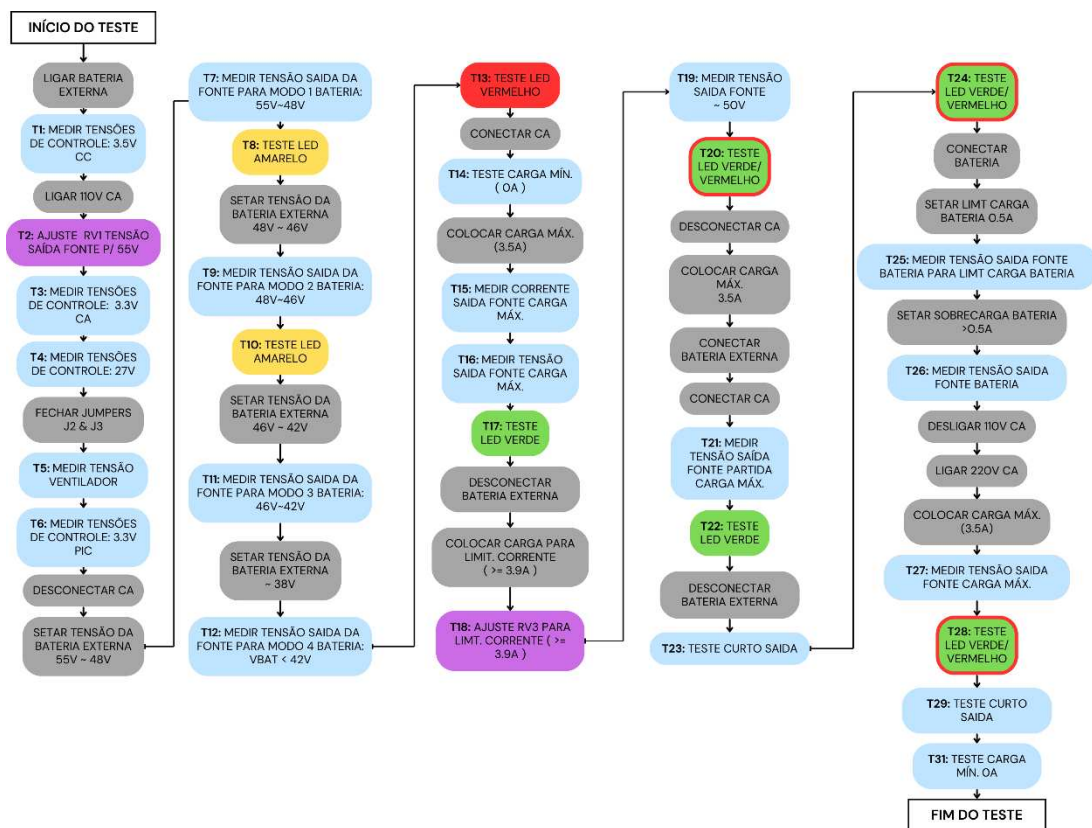
Observa-se da Tabela 2, que em um teste completo manual, existem muitas ações definidas e repetitivas, onde são processos nos quais a intervenção do operador se faz necessária, desde adequar situações de teste na fonte, por exemplo, colocar carga na fonte, ou até mesmo a troca de tipos de operações da fonte, exemplo, colocar em 110 V ou 220 V.

Em outras palavras, apesar da realização dessa grande quantidade de testes seja essencial para garantir a qualidade e conformidade do produto, um excesso de testes pode resultar em redundância e consumo desnecessário de recursos.

A partir disso, realizou-se uma análise crítica das relevâncias de cada teste e a ação que o operador realiza, considerando sua contribuição efetiva para a validação.

Um novo fluxograma de ações foi elaborado para a Jiga de Testes. Na Figura 8, cada bloco representa uma etapa específica do processo, incluindo os testes, acionamentos de cargas e fontes externas, além de mudanças na alimentação da fonte de teste. Essas operações serão automatizadas pelo software de controle desenvolvido para a Jiga.

Figura 8 – Fluxograma de ações.



Fonte: Autor

Analisando o novo fluxograma em comparação com a Tabela 2 das sequências de ações nos testes manuais, percebe-se três aspectos importantes.

Primeiro, houve uma redução significativa na quantidade total de etapas necessárias para a validação completa do teste. Anteriormente, apresentava-se um total de 68 etapas, enquanto agora apenas 54, representando uma diminuição de aproximadamente 20%. Essa redução é atribuída principalmente à eliminação de etapas repetitivas do processo.

Segundo, os blocos do fluxograma marcados em cinza indicam as etapas automatizadas, nas quais o software aciona relés específicos para executar as tarefas necessárias. Isso inclui, tarefas como acionar dispositivos externos, alternar entre os modos de alimentação (110 V ou 220 V) e aplicar carga à fonte. Essa automação não apenas aumenta a eficiência do processo, mas também elimina a necessidade de intervenção humana, garantindo a precisão e consistência dos testes realizados pela Jiga de Testes.

Por último, embora a maioria das etapas tenha sido automatizada, algumas ainda requerem a intervenção do operador, especialmente no ajuste inicial da fonte e também para uma das etapas de cargas. Essas etapas envolvem a manipulação de trimpots específicos na fonte para diferentes situações. No entanto, após esses ajustes, a verificação é validada pela Jiga, e o operador confirma a validação pressionando botões específicos na Jiga.

No geral, o número de iterações com a fonte foi reduzido para apenas duas, em comparação com o processo anterior, onde havia desde ações semelhantes até a necessidade de pressionar botões na fonte para validar etapas dos testes.

Após a análise do novo fluxograma, caracterizou-se quais os diferentes tipos de testes que serão conduzidos pela Jiga. Na Tabela 3, cada teste é identificado e categorizado de acordo com sua função específica. Mais adiante, serão fornecidos detalhes sobre como a Jiga realizará os testes listados no fluxograma, juntamente com uma explicação sobre a aplicação de cada teste.

Importante ressaltar que os testes do T1 ao T26 são realizados com alimentação de 110 V, enquanto os testes do T27 ao T30 são conduzidos com alimentação de 220 V. Essa distinção é feita devido à cobertura abrangente das

principais situações de teste na etapa de 110 V, eliminando a necessidade de repetição.

Tabela 3 – Sequência de Testes da Jiga.

Nº do Teste	Tipo do Teste	Nº do Teste	Tipo do Teste
T1	TENSÃO CONTROLE: CC	T16	TENSÃO SAÍDA FONTE: CARGA MÁX
T2	AJUSTE TENSÃO SAÍDA FONTE	T17	TESTE LED
T3	TENSÃO CONTROLE: CA	T18	AJUSTE LIMITAÇÃO DE CORRENTE
T4	TENSÃO REFERÊNCIA DE CONTROLE FONTE	T19	VALIDAÇÃO DO AJUSTE LIMITAÇÃO DE CORRENTE
T5	TENSÃO VENTILADOR	T20	TESTE LED
T6	TENSÃO PIC	T21	TENSÃO SAÍDA FONTE: PART. CARGA MÁX
T7	TENSÃO MODO 1 BATERIA	T22	TESTE LED
T8	TESTE LED	T23	TESTE CURTO CIRCUITO
T9	TENSÃO MODO 2 BATERIA	T24	TESTE LED
T10	TESTE LED	T25	TENSÃO SAÍDA FONTE: LIMITAÇÃO BATERIA
T11	TENSÃO MODO 3 BATERIA	T26	TENSÃO SAÍDA FONTE: SOBRECARGA BATERIA
T12	TENSÃO MODO 4 BATERIA	T27	TENSÃO SAÍDA FONTE: PART. CARGA MÁX
T13	TESTE LED	T28	TESTE LED
T14	TENSÃO SAÍDA FONTE: CARGA MÍN	T29	TESTE CURTO CIRCUITO
T15	CORRENTE SAÍDA FONTE: CARGA MÁX	T30	TENSÃO SAÍDA FONTE: CARGA MÍN

Fonte: Autor

- **Medir Tensões de Controle (T1, T3, T4, T5 e T6):** São os testes T1, T3, T4, T5 e T6. Onde envolvem a medição das tensões de controle e referência da fonte. No caso, as medidas são os valores de 3,3 V (da alimentação em CA), 3,5 V (da alimentação da bateria) e 28 V.
- **Ajuste da Tensão de Saída Fonte e Medir Tensão de Saída da Fonte (T2):** Inicia-se com o operador realizando o ajuste manual de um trimpot na fonte para que a tensão na saída da fonte esteja entre 55 V até 56 V, onde o valor da tensão é mostrado no display de LCD. Após o ajuste, o teste é repetido para

verificar se a tensão está ajustada corretamente e para garantir que a saída da fonte permaneça dentro dos limites estabelecidos.

- **Medir Tensão de Saída da Fonte (T14 e T30):** Consiste na medição da tensão de saída da fonte, para ainda a situação sem colocar carga.
- **Medir Tensão do Ventilador (T5):** Este teste envolve a medição da tensão do ventilador que está acoplado na fonte.
- **Medir Tensão de Saída da Fonte para Modo Bateria (T7, T9, T11 e T12):** A medição da tensão de saída da fonte ocorre quando esta é automaticamente colocada em modo bateria. Vale ressaltar que essa tensão é simulada por meio de uma fonte externa, que desempenha o papel da bateria da fonte. A transição para o modo bateria é realizada de forma automatizada, e o procedimento detalhado será abordado posteriormente no módulo de potência da Jiga. Este teste avaliará diversos modos de operação, distinguindo-se pela tensão medida na saída da fonte. No modo 1, a tensão deve estar entre 55 V até 48 V, enquanto no modo 2, varia de 48 V à 46 V. No modo 3, espera-se uma tensão entre 46 V e 42 V, e no modo 4, a tensão de saída da fonte deve ser de 42 V.
- **Medir Corrente de Saída da Fonte para Carga Máxima (T15):** O teste envolve medir a corrente na saída da fonte para garantir que a carga máxima, no caso 3,5 A.
- **Medir Tensão de Saída da Fonte para Carga Máxima (T16):** Este teste consiste na medição da tensão de saída da fonte quando submetida à carga máxima.
- **Ajuste Limite de Corrente ($\geq 3,9A$) e Medir Tensão de Saída da Fonte (T18 e T19):** Neste teste, inicia-se aplicando uma carga superior à fonte, ativando todos os relés da placa de carga, a fim de alcançar uma corrente de aproximadamente 4,5 A. Posteriormente, o operador deve ajustar manualmente o trimpot na fonte, para que a corrente seja ajustada próxima ou igual a 3,9 A, onde o valor da corrente é mostrado no display de LCD, estabelecendo assim o limite de corrente da fonte. Em seguida, o teste é repetido para verificar se a corrente está ajustada corretamente e para garantir

que a tensão de saída da fonte permaneça dentro dos limites estabelecidos para a situação de limitação de corrente.

- **Medir Tensão de Saída da Fonte na Partida da Carga Máxima (T21 e T27):** Realiza-se a medição da tensão de saída da fonte, porém considerando a situação de quando a fonte esteja iniciada. Desliga-se a alimentação CA, conecta-se a carga máxima e assim liga-se a fonte.
- **Teste de Curto na Saída (T23 e T29):** O teste de curto-circuito, conhecido como "curto-solução", é executado da seguinte maneira: a Jiga realiza o curto na fonte, fazendo com que ela tente fornecer energia. Durante esse período de curto-circuito, a tensão de saída da fonte oscila devido à tentativa de fornecer energia. A Jiga monitora essa oscilação e identifica três pulsos de tensão característicos. Em seguida, o curto-circuito é removido e a Jiga mede novamente a tensão de saída da fonte para validar o teste. Se a fonte fornecer energia e a tensão de saída se estabilizar dentro dos parâmetros esperados, o teste é considerado bem-sucedido.
- **Medir Tensão de Saída da Fonte da Bateria para o Limite de Carga (T25):** Consiste na medição da tensão de saída da fonte da bateria para verificar se está dentro dos limites de carga da bateria.
- **Medir Tensão de Saída da Fonte da Bateria para Sobrecarga (T26):** Por fim, realiza-se a medição da tensão de saída da fonte da bateria para verificar se está dentro dos limites de sobrecarga da bateria.
- **Teste dos LEDs (T8, T10, T13, T20, T22, T24 e T28):** Os testes envolveram a detecção se os LEDs estão acesos por completo, piscando ou apagados. Em todos os testes de LEDs, será verificado se há outro LED ligado, especialmente em situações onde dois LEDs podem estar acesos simultaneamente. Além disso, será verificado se ambos estão ligados ao mesmo tempo.

Caracterizado os testes realizados pela Jiga, as etapas subsequentes no desenvolvimento são o desenvolvimento de hardware, mecânico e software.

3.3 ESPECIFICAÇÃO DA JIGA DE TESTES

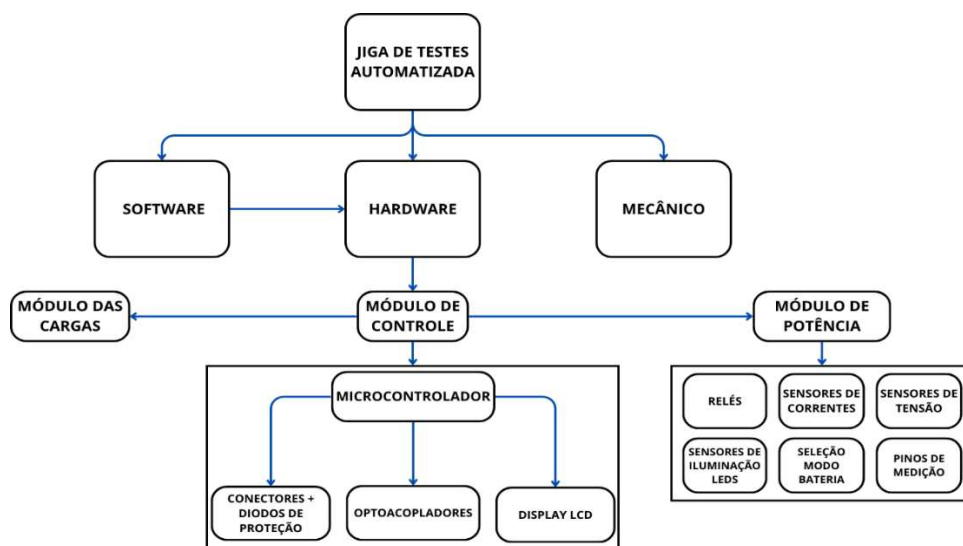
A construção da Jiga de Teste foi realizada considerando três partes distintas e complementares: hardware, mecânico e software. Para a parte de hardware, foram construídos circuitos para medição dos sinais provenientes da fonte, controle das operações dos testes e gerenciamento das cargas aplicadas durante os testes.

Em seguida, o sistema mecânico foi desenvolvido para garantir uma interação física adequada entre a fonte e a Jiga, incluindo suportes para as placas, pinos de contato e uma alavanca de contato para iniciar os testes.

Por fim, o sistema de software, que abrange o desenvolvimento de software para o microcontrolador responsável pelo controle das operações da Jiga, bem como o software destinado a iniciar os testes e armazenar os dados obtidos durante as medições.

Na Figura 9, tem-se uma representação visual por meio de um diagrama que ilustra todos os blocos essenciais da Jiga de Teste.

Figura 9 – Diagrama de blocos da Jiga de Testes Automatizada.



Fonte: Autor

A seguir, serão abordados detalhadamente cada um desses blocos, destacando suas funções específicas e contribuições para o funcionamento integrado e eficiente da Jiga de Teste.

3.3.1. SISTEMA HARDWARE DA JIGA DE TESTE

O hardware foi dividido em três módulos distintos, como ilustrado na Figura 9, para acomodar os diferentes circuitos necessários para as medições da fonte. Essa divisão em blocos individuais facilita a montagem e validação de cada componente do projeto separadamente.

O software utilizado para elaborar os esquemáticos e projetar as placas de circuito impresso (PCBs) foi o Circuit Studio, especializado em projeto de hardware. Esse software oferece recursos abrangentes para o desenvolvimento de esquemáticos de circuitos eletrônicos, além de fornecer ferramentas completas para o design de PCBs. Os designs de todas as placas desenvolvidas no projeto estão anexados ao documento, onde cada módulo possui seu respectivo design elaborado no programa. No APÊNDICE A, encontra-se o design da PCB do módulo de controle; no APÊNDICE B, o design da PCB do módulo de potência; e no APÊNDICE C, o design da PCB do módulo de carga.

Para alimentação da Jiga, foi utilizada uma fonte externa que oferece diferentes níveis de tensão para alimentar os diversos componentes do sistema, conforme está na Figura 10.

Figura 10 – Fonte Externa de Alimentação Jiga.

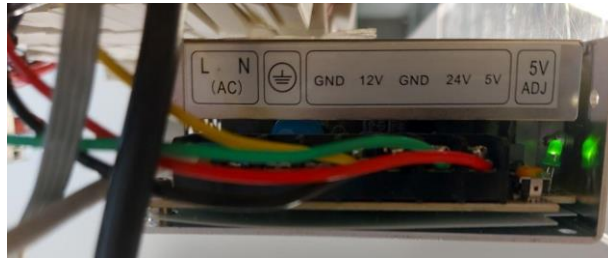


Fonte: Autor

Abaixo, na Figura 11, encontra-se as tensões disponíveis da fonte que serão utilizadas pela Jiga. A saída de 5 V é responsável por alimentar uma variedade de componentes essenciais, incluindo o microcontrolador, relés de sinais, display LCD,

sensor de corrente, botões e os optoacopladores. Em seguida, a saída de 12 V é dedicada ao acionamento dos relés responsáveis pelo controle das cargas. Por fim, a saída de 24 V é utilizada para gerar 17 V na fonte, possibilitando a visualização da frequência de chaveamento da fonte de alimentação

Figura 11 – Saídas da Fonte Externa de Alimentação Jiga.



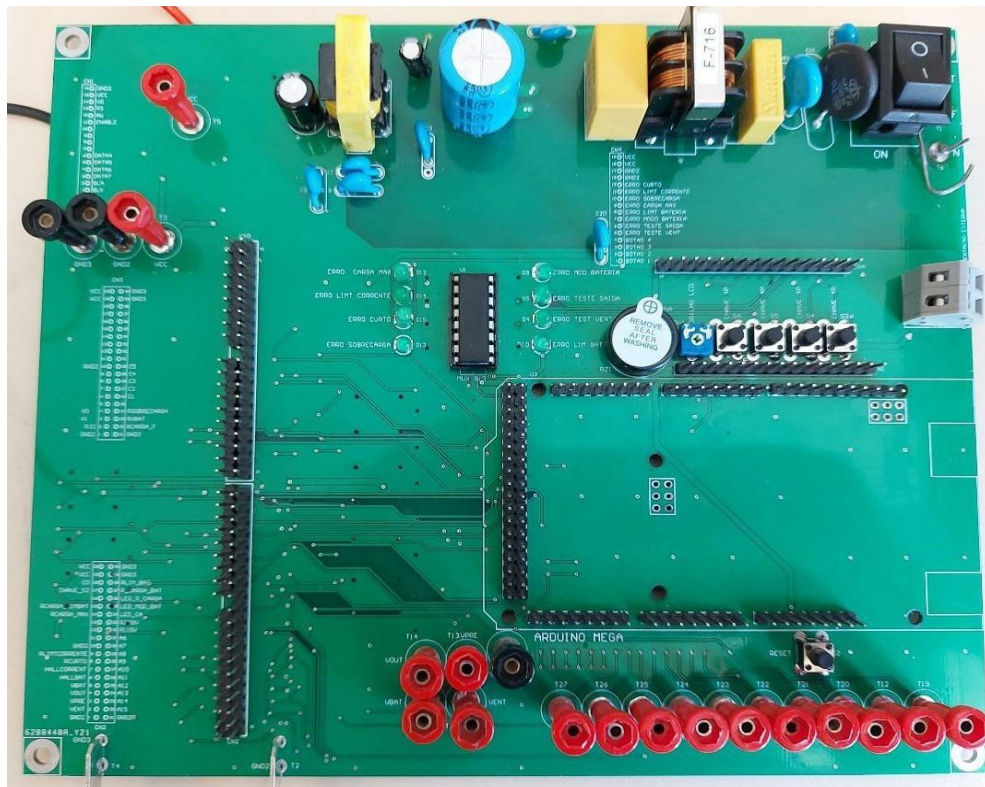
Fonte: Autor

3.3.1.1 MÓDULO DE CONTROLE

O bloco central deste módulo é o microcontrolador, responsável por coordenar e gerenciar todas as operações da Jiga. É por meio do sistema de software executado pelo microcontrolador que esses processos são realizados de forma sincronizada e eficiente. Além do microcontrolador, este bloco inclui elementos como conectores para a interconexão com outros módulos de hardware, circuitos para acionamento dos relés no bloco de potência, optoacopladores, e a interface de visualização para o operador, que é realizada por meio de um display.

Na Figura 12 apresenta-se a PCB desenvolvida para este módulo, oferecendo uma visão detalhada da disposição dos componentes e das trilhas condutoras que compõem essa parte crucial do sistema.

Figura 12 – PCB de Módulo Controle.

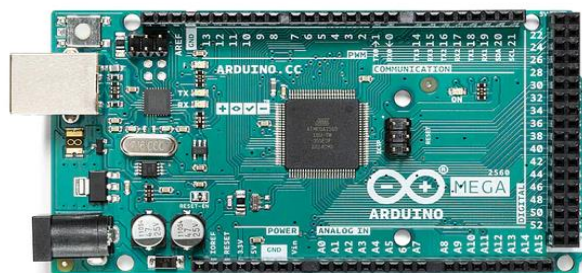


Fonte: Autor & CEBRA

3.3.1.1.1 MICROCONTROLADOR

A utilização de um microcontrolador no bloco de controle da Jiga tem um desempenho crucial na eficiência de controle e na automação de operações complexas do projeto. Por isso, para este projeto, foi utilizado o microcontrolador Arduino Mega 2560.

Figura 13 – Arduino MEGA 2560.

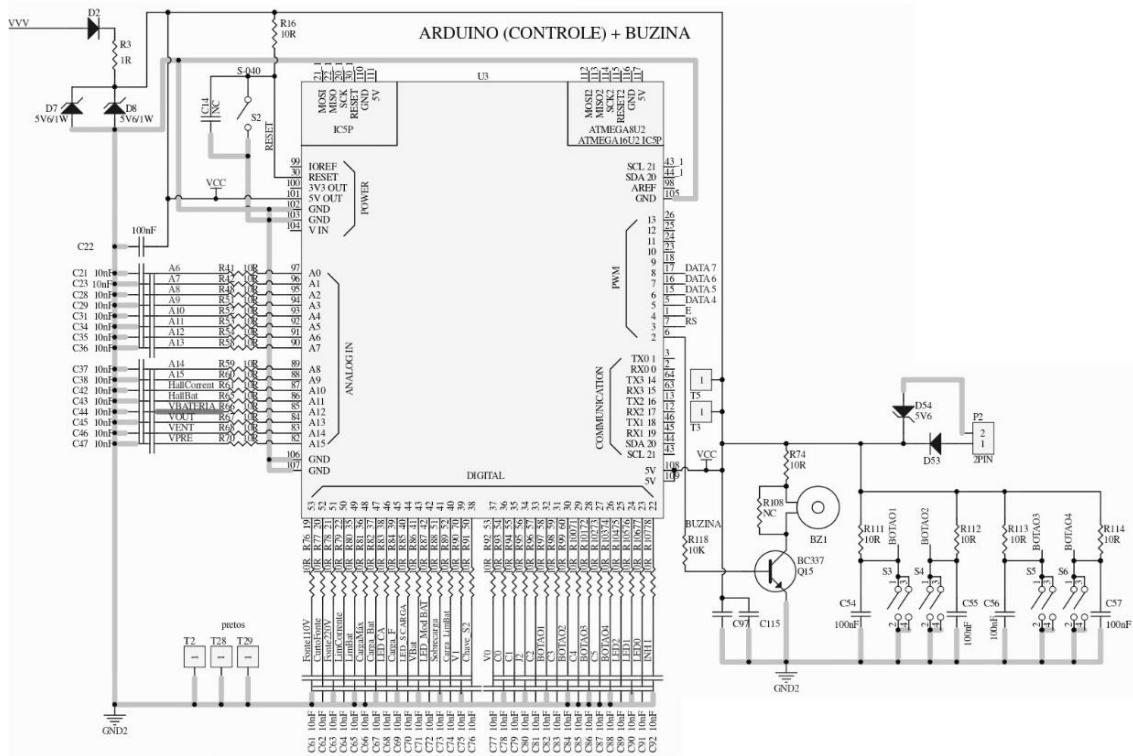


Fonte: Disponível em: <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>

Este componente, baseado no microcontrolador ATmega2560, foi escolhido devido à sua quantidade adequada de portas digitais e analógicas. Com 54 pinos de entradas e saídas digitais, 15 podem ser utilizados como saídas PWM, e 16 entradas analógicas. Além disso, este microcontrolador possui 4 portas de comunicação serial, oferece uma ampla gama de opções para o controle e leitura de sinais e apresenta a facilidade de programação.

Com isso, na Figura 14 abaixo, ilustra-se o esquemático completo do circuito, onde esse componente está sendo implementado, para este bloco.

Figura 14 – Esquemático completo do bloco do Microcontrolador.



Fonte: Autor

Analisando o esquemático, é possível destacar alguns pontos essenciais. Inicialmente, é necessário observar a alimentação do microcontrolador, que, conforme a orientação do fabricante, para este modelo escolhido, deve estar próxima de 5 V. Com o intuito de prevenir problemas relacionados a surtos na alimentação ou outras situações adversas, foram incluídos diodos zener. Esses componentes não apenas

protegem contra picos de tensão no sistema, mas também regulam a tensão de alimentação do componente.

Além da parte de alimentação, o esquemático inclui a conexão de uma buzina, que será destinada para usar como um alerta para possíveis erros durante os testes ou para indicar a conclusão bem-sucedida da validação dos testes.

Outro aspecto crucial do esquemático é a apresentação das principais conexões para os sinais de controle e recebimento de dados no Arduino. Na Tabela 4, encontra-se as descrições de todas as portas conectadas aos sinais analógicos do circuito da Figura 14 e suas respectivas funções no bloco. Vale destacar que os pinos listados nesta tabela desempenham funções específicas, especialmente por estarem associados à recepção de sinais analógicos dos circuitos de medição da fonte. Os detalhes de como serão realizadas as medições, serão explorados com mais profundidade no bloco de potência, compostos dos circuitos de medição dos sinais da fonte.

Os pinos do Arduino não mencionados na tabela, A0 a A9, não possuem uma função específica no contexto deste projeto e, portanto, não serão abordados detalhadamente.

Tabela 4 – Principais portas analógicas utilizadas.

PINOS ANALÓGICOS ARDUINO	NOMES ATRIBUÍDOS	FUNÇÃO PRINCIPAL
A10	HallCorrente	Receber dados da leitura de corrente da fonte do sensor Hall;
A11	HallBat	Receber dados da leitura de corrente da bateria do sensor Hall;
A12	VBAT	Receber dados da leitura da tensão de saída da Bateria;
A13	VOUT	Receber dados da leitura da tensão de saída da Fonte;
A14	VENT	Receber dados da leitura da tensão do Ventilador, colocado em conjunto com a Fonte
A15	VPRE	Receber dados da leitura da tensão de controle da Fonte;

Fonte: Autor

Além disso, a partir da Figura 14, apresenta-se os pinos relacionados à parte de sinais digitais do circuito. Na Tabela 5, apresenta-se os pinos que desempenham funções associadas à recepção ou envio de sinais digitais para todos os módulos da Jiga de Testes.

Tabela 5 – Principais portas digitais utilizadas.

PINOS DIGITAIS ARDUINO	NOMES ATRIBUÍDOS	PINOS DIGITAIS ARDUINO	NOMES ATRIBUÍDOS
53	Fonte 110V	37	V0
52	Curto Fonte	36	C0
51	Fonte 220V	35	C1
50	LimtCorrente	34	J2
49	LimBat	33	C2
48	CargaMax	32	BOTAO1
47	Carga_Bat	31	C3
46	LED_CA (Led Verde)	30	BOTAO2
45	Carga_F	29	C4
44	LED_SCARGA (Led Vermelho)	28	BOTAO3
43	VBat	27	C5
42	LED_Mod_BAT(Led Amarelo)	26	BOTAO4
41	Sobrecarga	25	LED2
40	Carga_LimBat	24	LED1
39	V1	23	LED0
38	CHAVE_S2	22	INH I

Fonte: Autor

Os pinos Fonte110V, Fonte220V, VBat, LimtCorrent, LimBat, CargaMax, Sobrecarga, Carga_LimBat, Carga_F, J2, C0, C1, C2, C3, C4 e C5 desempenham a função de realizar o controle e acionamento dos relés no bloco de potência.

As portas LED_SCARGA, LED_Mod_Bat e LED_CA recebem sinais do circuito de verificação do comportamento dos LEDs da fonte. Cada porta está associada a uma situação de análise do modo de operação da fonte, onde

LED_SCARGA receberá o sinal para o LED vermelho, LED_Mod_Bat para o LED amarelo e LED_CA para o LED verde.

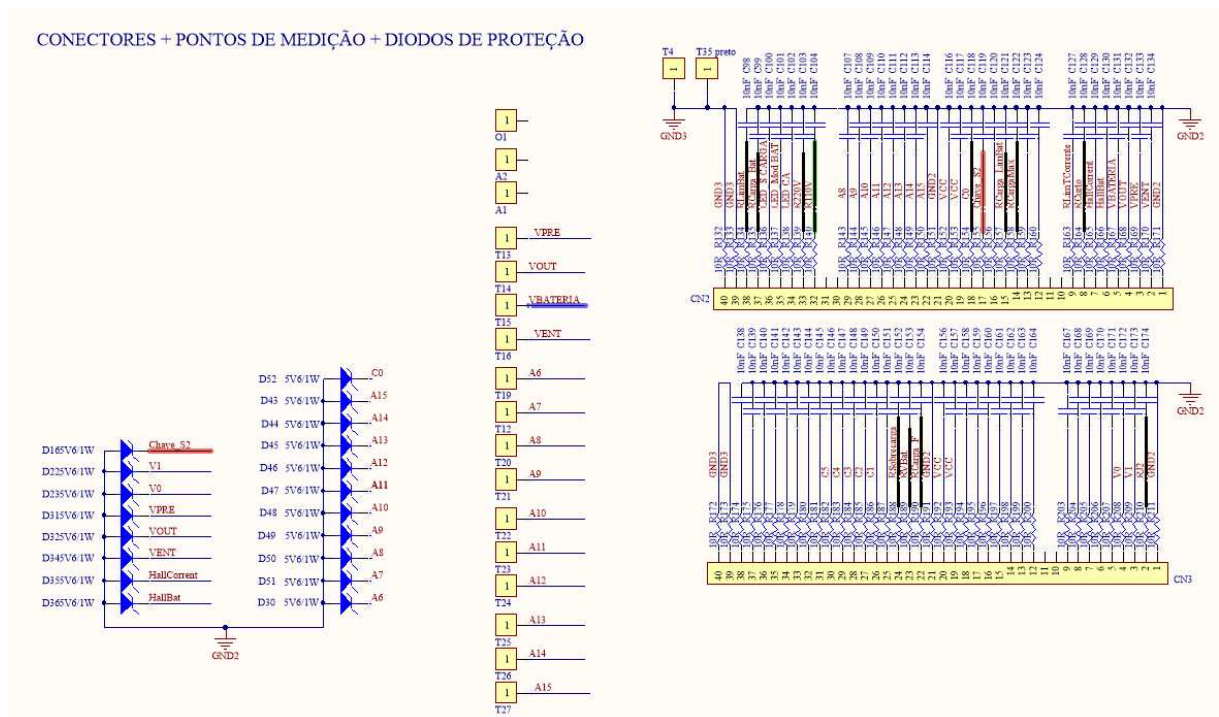
Os pinos BOTAO1, BOTAO2, BOTAO3 e BOTAO4 recebem os bits de acionamento dos botões no circuito de controle, desempenhando o papel de avançar na sequência de testes da Jiga. Eles estão associados às etapas de ajuste T2 e T19. Ao serem pressionados após a conclusão bem-sucedida dos ajustes, validam as etapas subsequentes.

Por último, as portas LED0, LED1, LED2 e INH I são responsáveis por enviar bits de seleção para um multiplexador. Esse multiplexador está associado à função de exibir os erros de medição obtidos pela Jiga.

3.3.1.1.2 CONECTORES E DIODOS DE PROTEÇÃO

Neste bloco, encontram-se os conectores e os diodos de proteção, onde ilustra-se o esquemático completo do circuito para este bloco, representado na Figura 15.

Figura 15 – Esquemático completo do bloco conectores e diodos de proteção.



Os conectores desempenham o papel de realizar interconexões de sinais entre módulos. No âmbito deste projeto, o conector utilizado é constituído por uma barra de pino dupla de 20 vias. É relevante destacar que, devido à grande quantidade de sinais empregados no projeto, foram incorporados dois desses conectores.

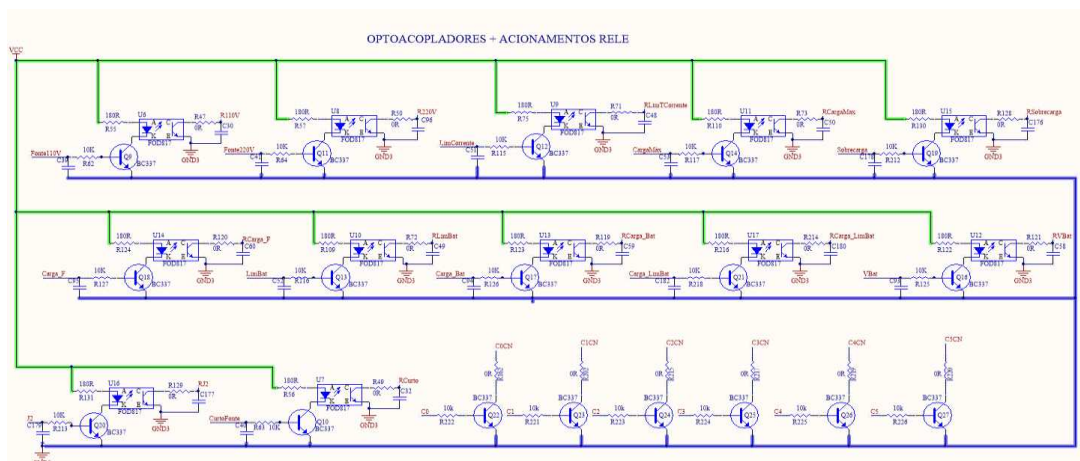
Conforme mostrado no esquemático, também a utilização de diodos de proteção. Diodos são semicondutores polarizados por terminais positivos (ânodo) e negativos (cátodo). Ao serem corretamente polarizados, permitem a condução de corrente em um único sentido. Eles são desenhados para proteger contra inversão de polaridade, sendo eficazes contra sobretensões transitórias (PIRES, MAGRI, 2019).

Os diodos estão posicionados para proteger o microcontrolador, especialmente contra problemas de leitura de sinais analógicos ou digitais, sobretudo quando ocorrerem níveis de tensão superiores aos suportados nas portas do Arduino. Essa medida preventiva fortalece a integridade do sistema, garantindo funcionamento seguro e estável.

3.3.1.1.3 OPTOACIPLADORES

Neste bloco, ilustra-se todos os optoacopladores do projeto. Na Figura 16, apresenta-se o esquemático completo e na Figura 17, tem-se um exemplar de um deles, onde será utilizado como base para explicação do uso deste componente.

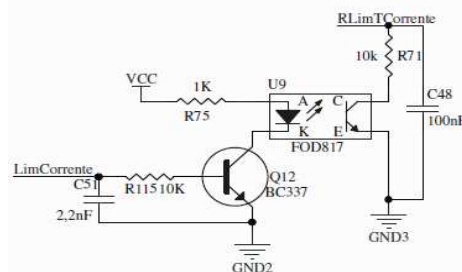
Figura 16 – Esquemático completo do bloco dos optoacopladores.



Fonte: Autor

Na Figura 17 é apresentado o esquemático do circuito de acionamento. Observa-se que os optoacopladores são utilizados para acionar os relés que estão conectados à parte de potência do circuito. Para realizar o acionamento, cada optoacoplador é associado a um transistor BC337. Quando o microcontrolador envia o comando para acionar um relé específico, o sinal é direcionado para a base do transistor, fazendo com que ele conduza corrente. Essa corrente, por sua vez, ativa o LED interno do optoacoplador, emitindo luz. A luz emitida pelo LED é então detectada pelo fotodiodo do optoacoplador, o que resulta na ativação do relé.

Figura 17 – Exemplo de circuito do acionamento optoacopladores.

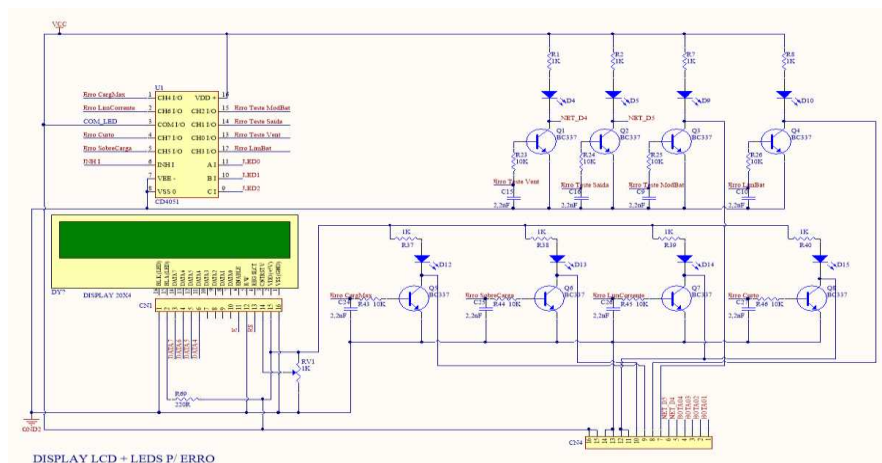


Fonte: Autor

3.3.1.1.4 DISPLAY LCD E MULTIPLEXADOR

Por fim, encontra-se o bloco do display LCD e do sinalizador de erros do circuito. Na Figura 18, tem-se o esquemático completo.

Figura 18 – Esquemático completo do bloco do Display LCD e multiplexador.



Fonte: Autor

Para a parte do display LCD, foi empregado a utilização do Display LCD 20x4, conforme um exemplo de modelo na Figura 19.

Figura 19 – Exemplo Display LCD 20x4.



Fonte: Disponível em: <https://www.autocorerobotica.com.br/display-lcd-20x4-backlight-verde>

Esse componente tem a função de ser uma interface visual para os operadores acompanharem o processo de teste e os resultados obtidos. Ele é utilizado para mostrar a sequência de testes em andamento, bem como os valores medidos de corrente e tensão, além de também apresentar se as medidas estão corretas dentro da faixa limite da sequência de teste.

Um display LCD 20x4 é um tipo de display de cristal líquido que consiste em 20 caracteres por 4 linhas. Cada caractere pode ser composto por 5x8 pixels. Esse componente tem uma configuração básica de pinos e funções específicas de configuração. Na figura 20, ilustra-se a lista deles e juntamente com a descrição de cada um deles e como ele foi configurado no circuito.

Figura 20 – Tabela com descrição dos pinos Display LCD 20x4.

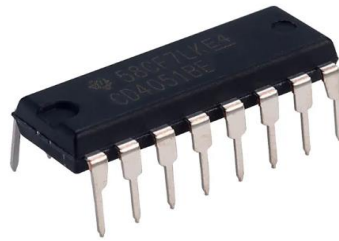
INTERFACE PIN FUNCTION		
PIN NO.	SYMBOL	FUNCTION
1	V _{SS}	Ground
2	V _{DD}	+ 3 V or + 5 V
3	V ₀	Contrast adjustment
4	RS	H/L register select signal
5	R/W	H/L read/write signal
6	E	H → L enable signal
7	DB0	H/L data bus line
8	DB1	H/L data bus line
9	DB2	H/L data bus line
10	DB3	H/L data bus line
11	DB4	H/L data bus line
12	DB5	H/L data bus line
13	DB6	H/L data bus line
14	DB7	H/L data bus line
15	A	Power supply for LED (4.2 V)
16	K	Power supply for B/L (0 V)

Fonte: Disponível em: <https://www.vishay.com/docs/37314/lcd020n004l.pdf>

- **VSS (GND):** Este pino é conectado ao terra (GND) do circuito para fornecer uma referência de potencial.
- **VDD (VCC):** Este pino é conectado à fonte de alimentação positiva (VCC) para fornecer energia ao display. Neste caso, a tensão de alimentação é de 5V.
- **Vo (Contraste):** Este pino é usado para ajustar o contraste do display. Ao variar a tensão aplicada a este pino, é possível controlar a intensidade da exibição dos caracteres. Por isso, foi colocado um trimpot de $1k\Omega$, para realizar esse papel de ajuste.
- **RS (Register Select):** Este pino indica ao display se os dados enviados para ele devem ser interpretados como comandos (como limpar a tela) ou como caracteres a serem exibidos. Se este pino estiver em nível baixo (0), os dados são tratados como comandos; se estiver em nível alto (1), os dados são interpretados como caracteres. Neste caso, esse pino foi colocado diretamente conectado no microcontrolador.
- **RW (Read/Write):** Este pino indica ao display se os dados estão sendo lidos (leitura) ou gravados (escrita). Se estiver em nível baixo (0), os dados são gravados no display; se estiver em nível alto (1), os dados são lidos dele. Para o projeto, colocado diretamente conectado ao terra do circuito, ou seja, em nível baixo.
- **Enable (E):** Este pino é usado para habilitar o display. Quando um pulso de nível lógico alto é aplicado a este pino, o display lê os dados presentes nos pinos de dados.
- **DB0 a DB7 (Data Lines):** Estes são os pinos de dados bidirecionais que são usados para enviar dados para o display. Para um display 20x4, são necessários 8 bits de dados para enviar um caractere completo (5x8 pixels), então geralmente são utilizados os pinos D4 a D7.
- **A (Anodo LED Backlight):** Este pino é usado para fornecer energia ao backlight (iluminação) do display.
- **K (Catodo LED Backlight):** Este pino é o terra (GND) do *backlight*.

Para a parte de sinalizam dos erros, foi utilizado um multiplexador de sinais, como o CD4051B, conforme está representado na figura abaixo.

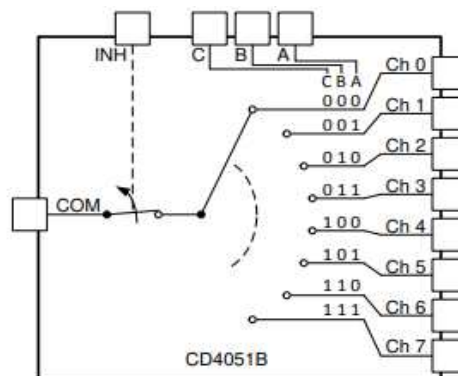
Figura 21 – Multiplexador CD4051B.



Fonte: Disponível em: <https://www.acheicomponentes.com.br/ci-cd4051-cd4051be-dip16-texas>

Ele funciona como um comutador analógico de 8 canais, onde sua operação é controlada por sinais digitais de seleção, permitindo fácil integração com microcontroladores e outros circuitos digitais. Na figura abaixo, apresenta-se um diagrama de funcionamento do componente.

Figura 22 – Diagrama de funcionamento do multiplexador CD4051B.



Fonte: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4051b.pdf>

O pino INH I está diretamente relacionado ao pino COM, que é conectado à alimentação do dispositivo. Ele desempenha um papel fundamental como sinal de habilitação do multiplexador. Quando esse pino está em nível lógico baixo (ou seja, conectado com o pino COM), o multiplexador é ativado, permitindo o roteamento dos sinais de seleção. No entanto, quando o INH I está em nível lógico alto (ou seja, não conectado com o pino COM), o multiplexador é desabilitado e não realiza a seleção dos canais de entrada.

Existem três pinos de seleção, designados como C, B e A. Esses pinos têm a função de determinar qual canal de entrada será conectado à saída do multiplexador.

A atribuição de função para cada pino de seleção é definida de acordo com a lógica de controle do dispositivo, conforme especificado na tabela verdade presente no datasheet do componente.

Figura 23 – Tabela do multiplexador CD4051B.

INHIBIT	INPUT STATES			ON CHANNEL(S)
	C	B	A	
CD4051B				
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	X	X	X	None

Fonte: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cd4051b.pdf>

Com base na tabela verdade, foi elaborada uma lógica para identificação de erros. Quando um erro é detectado durante o teste, o microcontrolador habilita o multiplexador (INH I = 0). Utilizando as portas definidas como LED0, LED1 e LED2 como sinais de seleção, o erro correspondente é direcionado para o display LCD, onde uma mensagem indicativa é exibida. Além disso, cada erro, tem um LED que está associado a um tipo específico de erro, indicando visualmente a natureza do problema. Na tabela abaixo, encontra-se a lógica dos sinais de seleção e os erros correspondentes.

Tabela 6 – Tabela dos Erros Jiga de Teste.

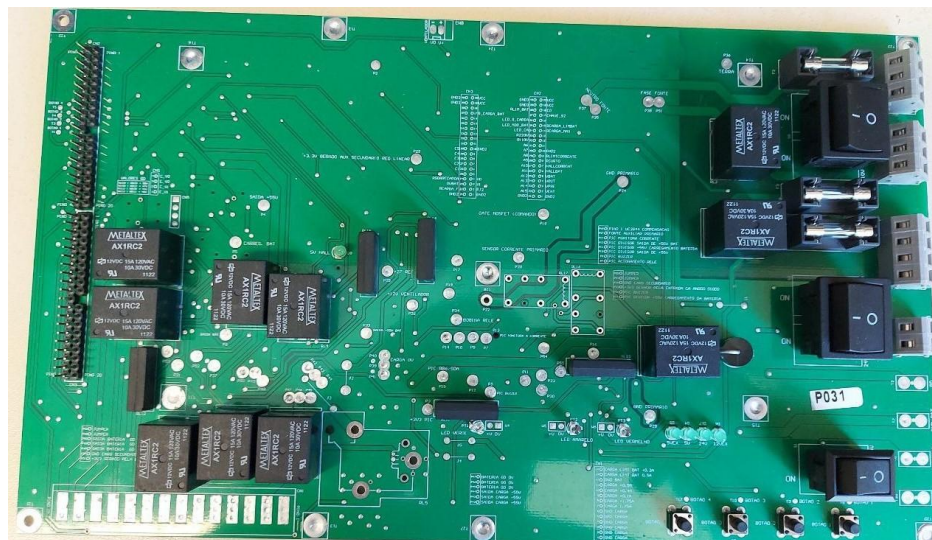
Lógica DIGITAL	PINOS DIGITAIS de SELEÇÃO MULTIPLEXADOR			Erro Indicado
	LED2 = 0	LED1 = 0	LED0 = 0	
0	LED2 = 0	LED1 = 0	LED0 = 0	Erro Tensão Ventilador
1	LED2 = 0	LED1 = 0	LED0 = 1	Erro Tensão Saída
2	LED2 = 0	LED1 = 1	LED0 = 0	Erro Tensão Modo Bateria
3	LED2 = 0	LED1 = 1	LED0 = 1	Erro Limitação Corrente de Bateria
4	LED2 = 1	LED1 = 0	LED0 = 0	Erro Carga Máxima
5	LED2 = 1	LED1 = 0	LED0 = 1	Erro SobreCarga
6	LED2 = 1	LED1 = 1	LED0 = 0	Erro Limitação Corrente de Fonte
7	LED2 = 1	LED1 = 1	LED0 = 1	Erro Curto

Fonte: Autor

3.3.1.2 MÓDULO DE POTÊNCIA

No módulo de potência, concentram-se a maioria dos circuitos destinados a efetuar medições da fonte, acionar dispositivos externos e realizar comutações entre diferentes modos de operação. Na figura abaixo, encontra-se a PCB desenvolvida para este módulo.

Figura 24 – PCB de Módulo Potência



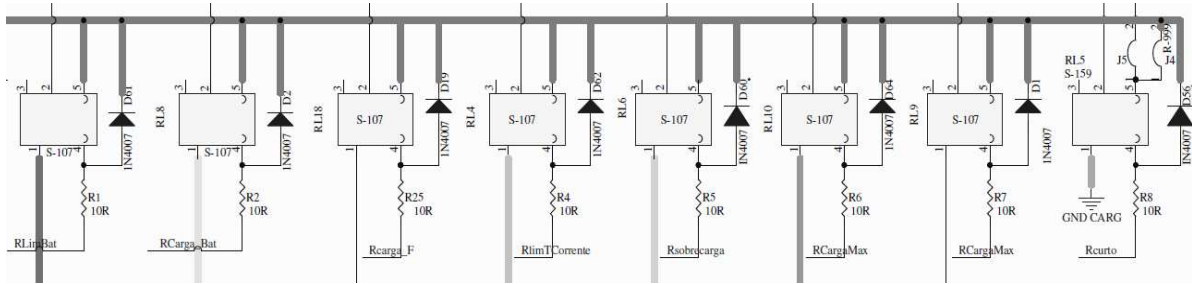
Fonte: Autor & CEBRA

3.3.1.2.1 RELÉS

Os relés são dispositivos eletromecânicos que funcionam como interruptores mecânicos controlados eletricamente. Eles abrem ou fecham circuitos de cargas elevadas, como tensões e correntes, através da aplicação de uma baixa tensão na bobina (ABELHA, 2014).

Na Jiga de Teste, existem duas configurações de tipos de relés, diferenciadas principalmente pelo nível de tensão ao qual estão ligados. Os relés com alimentação de 12V são utilizados para o acionamento das cargas. Conforme indicado na Figura 25, os relés associados são RL4 (LimitCorrente), RL5 (Curto-Circuito), RL6 (Sobrecarga), RL7 (LimBat), RL8 (Carga_Bat), RL9/RL10 (CargaMáx) e RL18 (Carga_F).

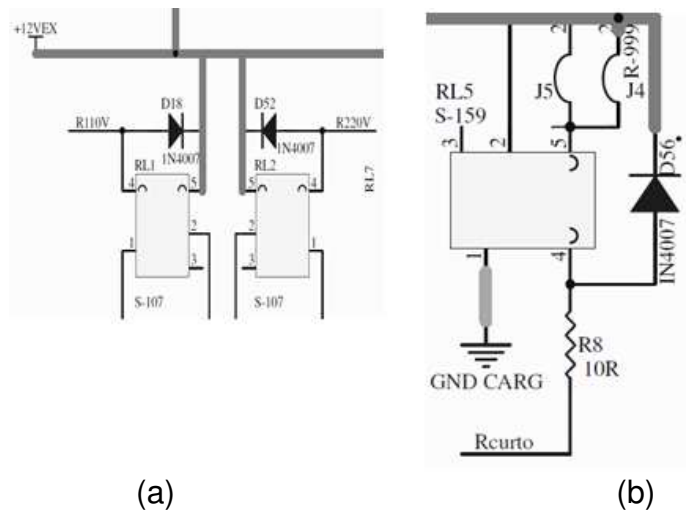
Figura 25 – Circuito com Relés de alimentação 12 V.



Fonte: Autor

Além disso, os relés estão associados ao nível de alimentação CA que será conectada à fonte de teste, seja 110 V (RL1) ou 220 V (RL2). Adicionalmente, há o relé de curto-circuito (RL5) relacionado a esse tipo de dispositivo. Na figura abaixo, está representado de forma simplificada os circuitos.

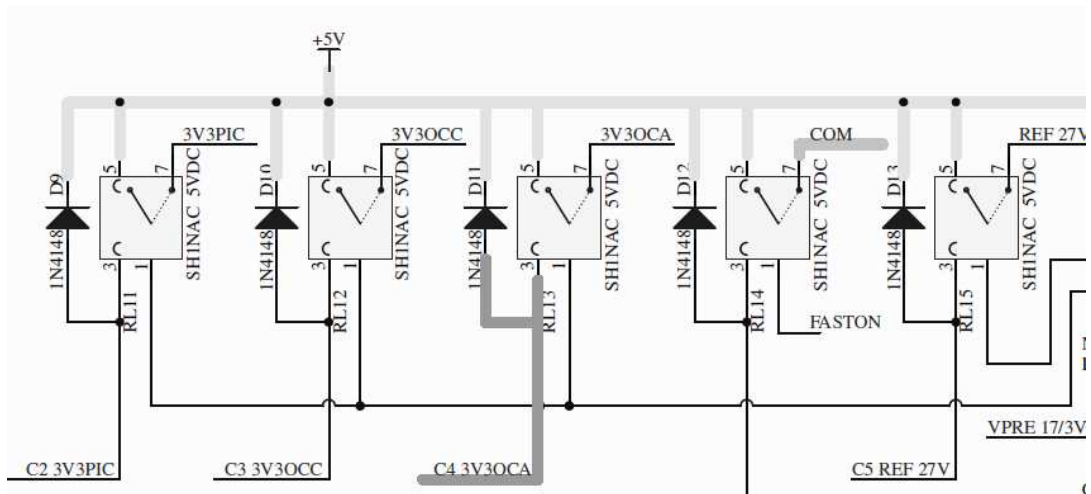
Figura 26 – Relés p/ 110 V e 220 V (a) e curto-circuito (b).



Fonte: Autor

Já para os relés alimentados com 5 V foram empregados para operações relacionadas à parte de controle da fonte. Esses relés são responsáveis por habilitar as medidas de controle da fonte, tais como 3.3 V PIC (RL11), 3.3 V CA (RL13), 3.5 V CC (RL12) e 27 V (RL15).

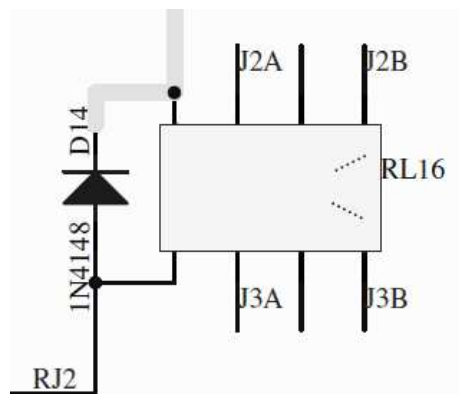
Figura 27 – Circuito com Relés de alimentação 5 V.



Fonte: Autor

Além disso, há um relé associado que permite a conexão com a fonte para visualização dos acionamentos dos LEDs durante os testes. Abaixo, encontra-se uma figura representando o circuito associado a esse relé.

Figura 28 – Relé J2 p/ LEDs fonte.

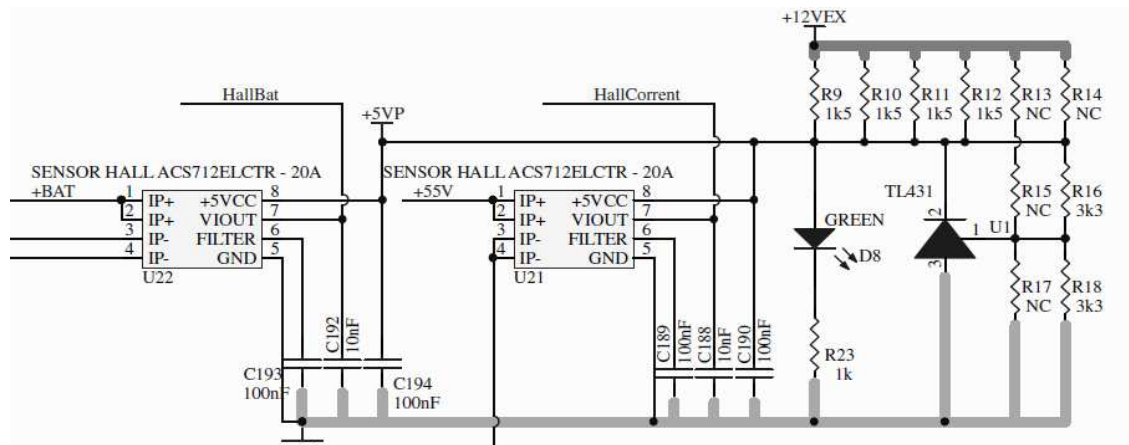


Fonte: Autor

3.3.1.2.2 SENSOR DE CORRENTE

O circuito que contém o sensor de corrente desempenha a medição das correntes que fluem através das cargas. Observa-se abaixo o esquemático do circuito com o sensor de corrente da Jiga.

Figura 29 – Esquemático do circuito do Sensor de Corrente.



Fonte: Autor

No bloco de circuito dedicado à medição de corrente, são utilizados dois desses sensores de corrente de forma específica: um para medir as correntes de carga da fonte em modo nominal e outro para medir a carga fornecida à fonte no modo de operação com bateria. No caso, utilizou-se o sensor ACS712ELCTR-5A.

Figura 30 – Sensor Hall ACS712ELCTR.



Fonte: Disponível em: <https://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/ACS712-Datasheet.ashx>

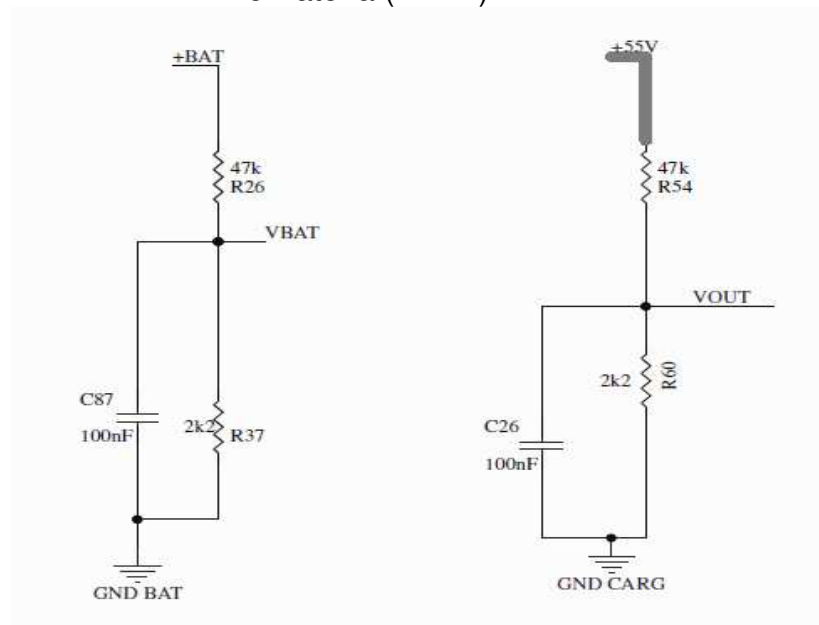
Este sensor opera com base no efeito Hall, detectando o campo magnético gerado pela corrente que flui através do condutor. Essa detecção é convertida em um sinal elétrico proporcional à corrente medida, possibilitando uma saída analógica linear. Este modelo de sensor foi selecionado devido à sua capacidade de medir correntes de até 5A, adequadas para as necessidades da Jiga de Teste.

Esse sinal de saída pode então ser processado pelo microcontrolador da Jiga para exibir a corrente medida em um display ou para realizar outras operações de controle, dependendo dos requisitos do teste.

3.3.1.2.3 SENSOR DE TENSÃO

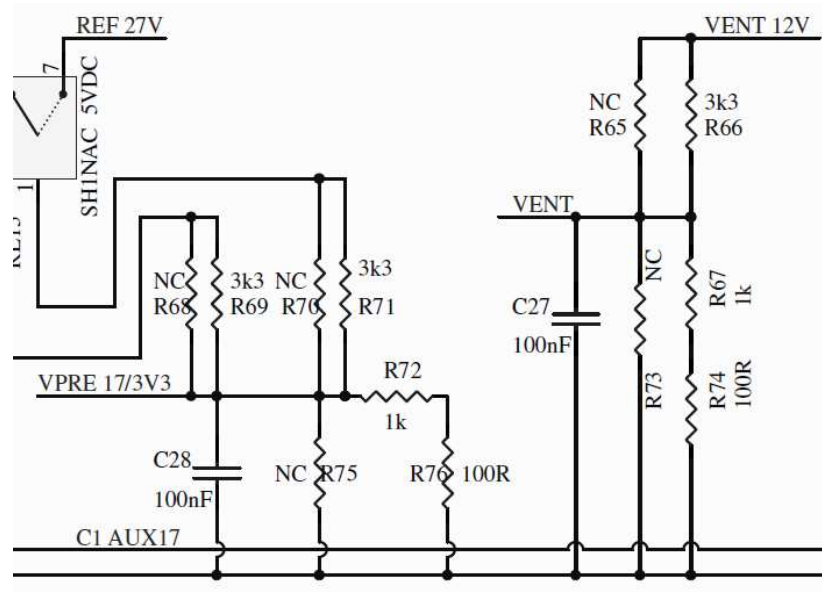
A medição das tensões analógicas na Jiga de Teste é realizada por meio de dois circuitos de divisores de tensão. No primeiro circuito, ilustrado na Figura 31 abaixo, tem a função de adaptar as tensões das saídas da fonte para níveis adequados de leitura pelo microcontrolador. Já para o segundo, representado na Figura 32, é destinado ao cálculo das tensões de controle da fonte. Vale ressaltar que os sinais analógicos medidos são enviados para portas analógicas específicas do microcontrolador, conforme indicado na Tabela 4.

Figura 31 – Esquemático do circuito divisor de tensão: Tensão Saída Fonte (VOUT) e Bateria (VBAT).



Fonte: Autor

Figura 32 – Esquemático do circuito divisor de Tensão - Tensão Controle (VPRE).



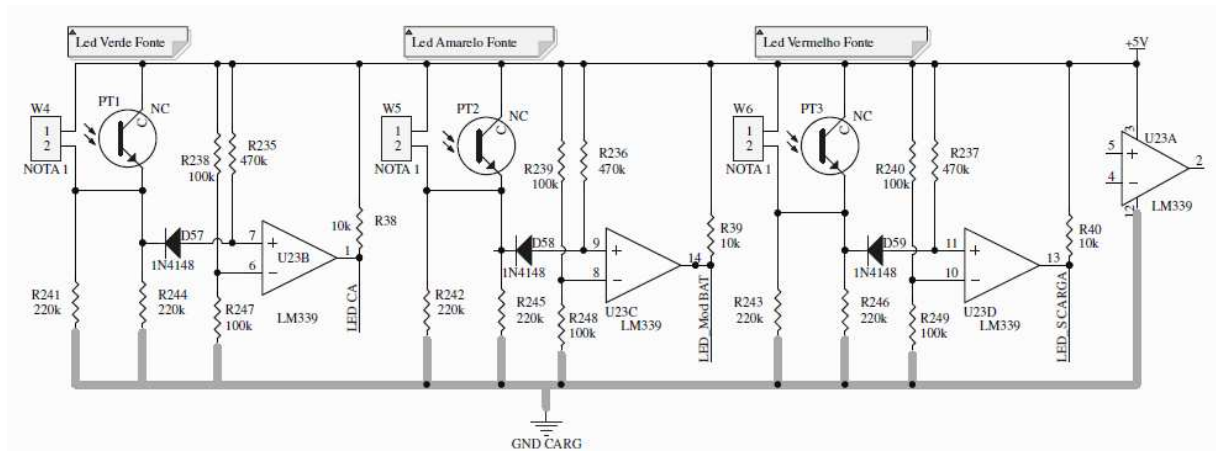
Fonte: Autor

Devido às limitações de tensão de entrada nas portas analógicas do microcontrolador, não é viável conectar diretamente as tensões medidas, especialmente quando estas excedem o limite de operação seguro do dispositivo. Portanto, foram empregados os circuitos das Figuras anteriores para realizar a divisão de tensão e adequar as leituras para o microcontrolador. Foi estabelecido um limite máximo de 2.5V para as leituras de tensão que serão enviadas ao microcontrolador.

3.3.1.2.4 SENSOR DE ILUMINAÇÃO DOS LEDS

O sensor de iluminação dos LEDs da placa foi concebido com base em um fototransistor e um comparador. Na figura abaixo, apresenta-se o circuito correspondente, onde esses componentes desempenham um papel fundamental na detecção da luminosidade dos LEDs.

Figura 33 – Esquemático do circuito do Sensor de Iluminação dos LEDs.



Fonte: Autor

O fototransistor SFH309 é o componente responsável pela detecção da intensidade da luz ambiente em um determinado ambiente. Ele converte a intensidade luminosa em um sinal elétrico que pode ser processado por outros componentes eletrônicos.

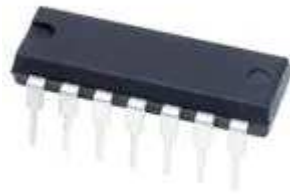
Figura 34 – Fototransistor SFH309.



Fonte: Disponível em: https://dammedia.osram.info/media/resource/hires/osram-dam-5423172/SFH%20309_EN.pdf

Quando os LEDs estão acesos, a luz incide sobre o fototransistor, fazendo com que ele conduza corrente. Esse sinal de corrente é então direcionado para uma das entradas do LM339, um comparador de tensão.

Figura 35 – Componente LM339.

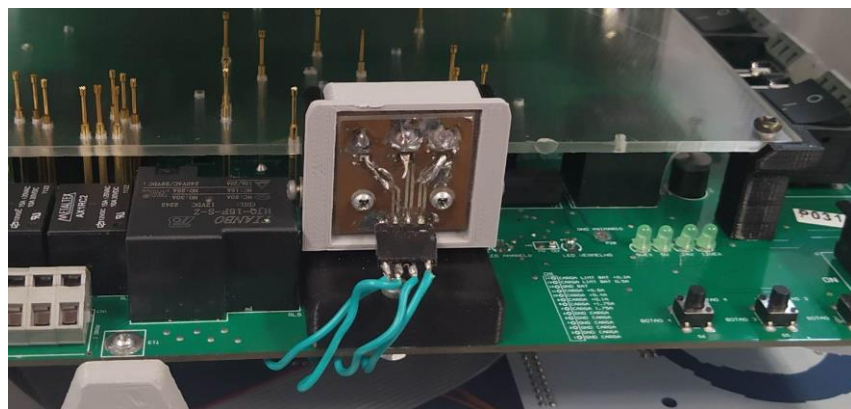


Fonte: Disponível em: https://br.mouser.com/ProductDetail/Texas-Instruments/LM339N?qs=rshUhwI3fbY%252BaR%252BOI3edNw%3D%3D&mgh=1&gad_source=4&clid=CjwKCAiAuNGuBhAkEiwAGId4aoON4nhmUmVUZgbKTrAvbCB9spscJhMeUpXHpVltk5nfL78am0tz15xoC9tgQAvD_BwE

No LM339, a lógica de operação compara as tensões entre suas entradas, determinando se uma é maior ou menor que a outra. Se a tensão no terminal não inversor (positivo) é maior que a no terminal inversor (negativo), a saída do comparador é alta. Essa saída indica a presença de luz dos LEDs quando a entrada do fototransistor supera a referência. O sinal é enviado para o microcontrolador, que processa essa informação para determinar o status dos LEDs. Esses resultados são então exibidos no display LCD da Jiga de Teste, permitindo uma avaliação rápida e precisa pelo operador.

Por uma questão mecânica, os fototransistores foram colocados numa estrutura por fora da placa de potência, pois pelo posicionamento dos LEDs da placa. Abaixo, apresenta-se o posicionamento deles.

Figura 36 – Posicionamento Mecânico dos fototransistores.

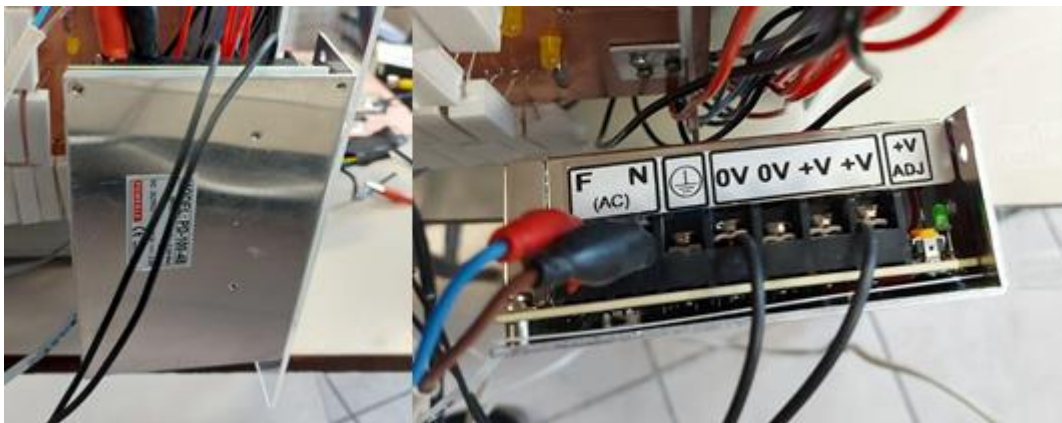


Fonte: Autor

3.3.1.2.5 SELEÇÃO MODOS DE OPERAÇÃO BATERIA EXTERNA

Na etapa de seleção de modos de operação da bateria, foi adicionada uma outra fonte externa à Jiga, que será responsável por alimentar esse modo de operação específico. Essa fonte externa foi integrada à estrutura mecânica da Jiga, conforme pode ser observado nas figuras abaixo, onde já estão acopladas à estrutura da Jiga.

Figura 37 – Fonte externa: Modo Bateria.



Fonte: Autor

Para a mudança das tensões que serão configuradas nessa fonte externa, o microcontrolador desempenha um papel crucial. Ele utiliza uma sequência de bits de seleção para controlar essas tensões. Para garantir o isolamento adequado entre o sinal de controle do microcontrolador e o circuito de potência da fonte, foram empregados 2 optoacopladores.

Na tabela abaixo descreve a sequência de bits de seleção utilizada pelo microcontrolador para configurar as tensões desejadas na fonte externa.

Tabela 7 – Configuração da Fonte externa: Modo Bateria

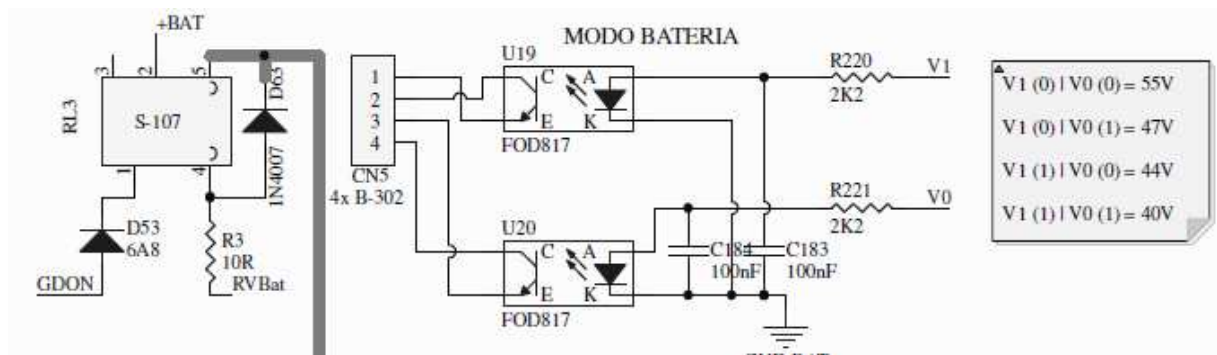
LÓGICA DE LIGAÇÃO DOS PINOS	VALORES BATERIA EXTERNA
V1 = 0 & V0 = 0	40 V
V1 = 0 & V0 = 1	44 V
V1 = 1 & V0 = 0	47 V
V1 = 1 & V0 = 1	55 V

Fonte: Autor

Para utilizar essa fonte externa, é necessário primeiro acionar o relé dedicado à conexão da bateria, RL3, por meio do microcontrolador.

Assim, o microcontrolador configura os níveis específicos dos modos de operação da bateria por meio das portas digitais, e esses valores serão enviados para a bateria externa. Na figura abaixo, encontra-se o esquemático deste bloco.

Figura 38 – Esquemático do circuito da seleção da Bateria Externa.



Fonte: Autor

3.3.1.2.6 PINOS DE MEDIÇÃO

Na etapa de medição dos sinais da fonte, foram integrados pontos de medição diretamente na própria fonte. Esses pontos de medição fornecem acesso aos sinais desejados da fonte, facilitando a realização das medições necessárias. Para utilizar esses sinais, foram empregadas pontas de prova, que são conectadas aos pontos de medição.

Figura 39 – Ponta de prova.



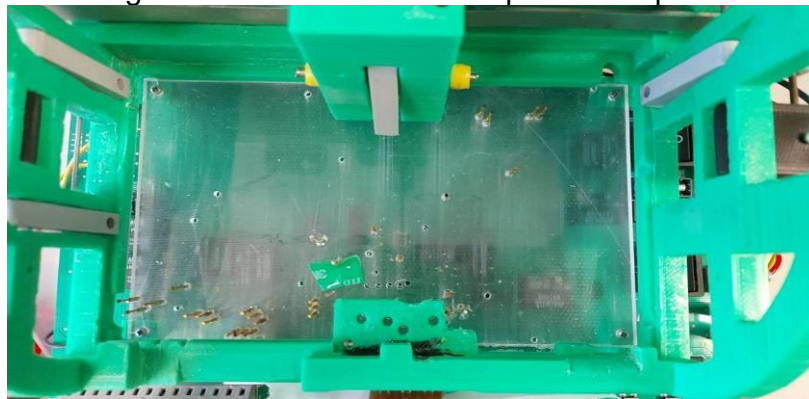
Fonte: Disponível em: <https://sharvielectronics.com/product/p75-q2-pogo-pin-with-crown-head-for-pcb-testing/>

As pontas de provas são pequenos pinos de mola usados para estabelecer conexões elétricas entre uma placa de circuito impresso (PCB) e outro componente ou dispositivo.

Elas foram estrategicamente posicionadas na placa de potência da Jiga, alinhadas de forma idêntica aos pontos de medição na fonte, conforme está na Figura 40.

Dessa forma, quando o processo de abaixar a alavanca é acionado, a fonte faz contato com as pontas de prova, estabelecendo uma conexão elétrica. Isso permite que os sinais da fonte sejam direcionados para os circuitos da Jiga, onde poderão ser devidamente analisados e processados. Essa abordagem garante uma medição precisa e confiável dos sinais provenientes da fonte durante o processo de teste.

Figura 40 – Posicionamento pontas de prova.

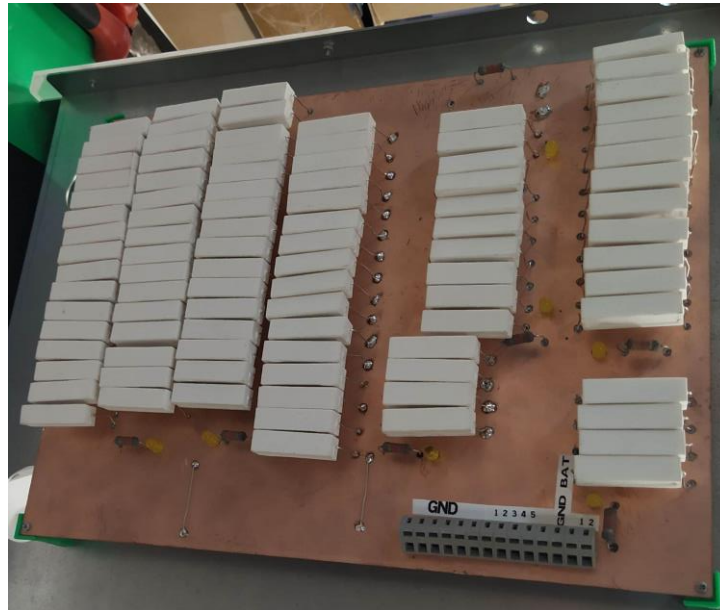


Fonte: Autor

3.3.1.3 MÓDULO DE CARGA

Foi desenvolvido um módulo dedicado à carga do circuito, com o objetivo de proporcionar diferentes níveis de carga para a fonte de alimentação. Para isso, foram implementados circuitos resistivos que, quando conectados à fonte, permitiam a aplicação de cargas específicas no circuito, considerando uma alimentação de 55 V. Na Figura 41, encontra-se a PCB desenvolvida para este módulo.

Figura 41 – PCB de Módulo Cargas.



Fonte: Autor & CEBRA

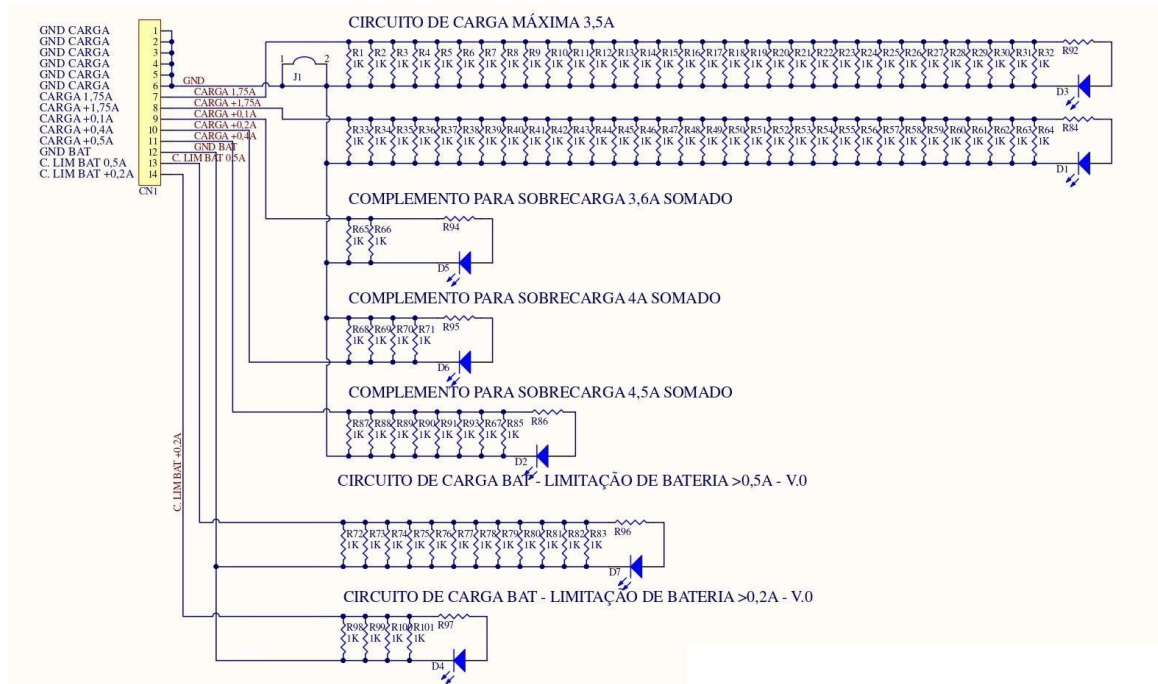
O controle da carga é realizado por meio de um bloco de controle, enquanto os relés responsáveis pelo fechamento dos circuitos de carga estão localizados no bloco de acionamento.

No planejamento, foram definidos seis tipos distintos de cargas. A primeira carga foi configurada para representar a carga máxima, permitindo o teste em condições de carga máxima. Em seguida, as cargas subsequentes foram projetadas para serem incrementais, somando-se às cargas anteriores. Foram estabelecidas cargas de 3,5 A, 3,6 A, 4 A e 4,5 A, respectivamente.

Considerando os diferentes modos de operação da fonte, tanto no modo nominal quanto no modo bateria, também foi criado um conjunto separado para carga da bateria. Nesse caso, foram projetadas apenas duas cargas: uma de 0,5 A e outra de 0,7 A. Estes valores foram escolhidos para simular situações de limitação e sobrecarga da bateria, oferecendo assim um teste abrangente dos diferentes cenários de operação da fonte de alimentação.

Na figura abaixo, encontra-se o esquemático completo deste módulo.

Figura 42 – Esquemático completo do Bloco Carga.



Fonte: Autor

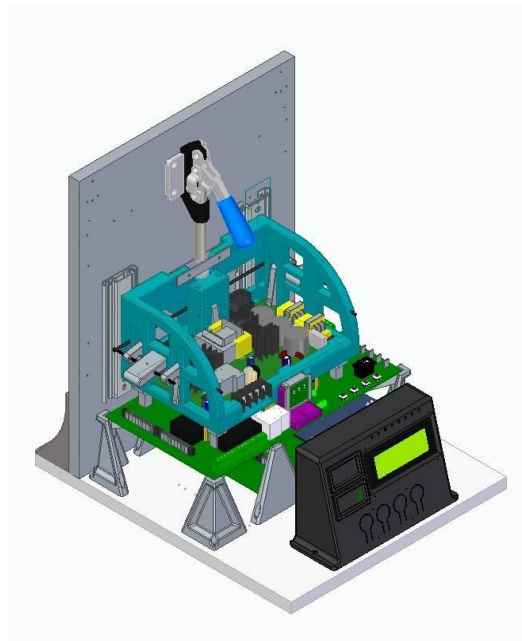
3.3.2 SISTEMA MECÂNICO DA JIGA DE TESTES

A estrutura mecânica da Jiga foi projetada para garantir a estabilidade do processo de a funcionalidade dos componentes durante os testes.

O desenvolvimento da parte mecânica da Jiga de Teste envolveu a criação de uma estrutura capaz de acomodar todos os módulos desenvolvidos, bem como fornecer suporte para as fontes externas. Todos os desenhos foram elaborados no software SolidWorks e impressos em impressoras 3D.

Na Figura 43 abaixo, ilustra-se uma visão de como foi planejada toda a estrutura na Jiga. Observa-se a estrutura metálica projetada para acomodar todas as peças destinadas às placas de controle e potência. Além disso, na estrutura, encontra-se a parte destinada ao suporte para o display LCD. Esta estrutura também possui uma alavanca, responsável por abaixar a fonte de teste até os pontos de contato na placa de potência, assegurando um encaixe preciso e estável durante os testes.

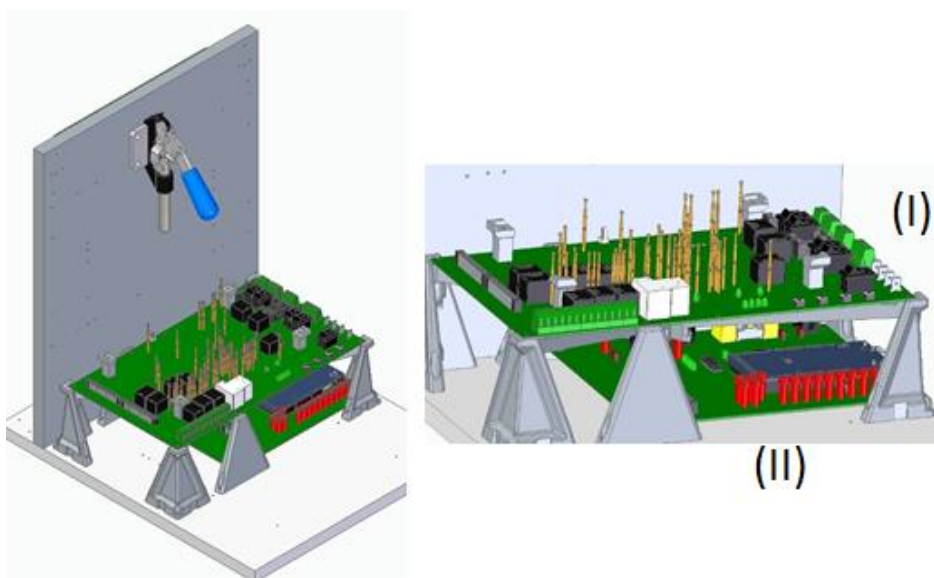
Figura 43 – Desenho da Estrutura Completa Jiga de Teste.



Fonte: CEBRA

Na Figura 44 abaixo, destaca-se as placas de controle e potência dentro da estrutura metálica. A placa de potência (I) está posicionada na parte superior, enquanto a placa de controle (II) está localizada na parte inferior.

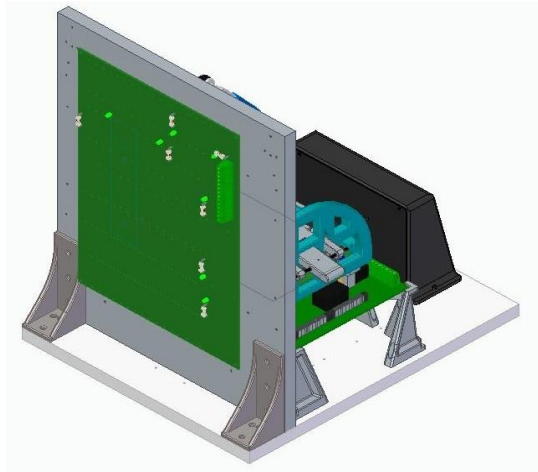
Figura 44 – Posicionamento das Placas de Potência e Controle da Jiga de Teste.



Fonte: CEBRA

Além de que na Figura 44, apresenta-se na Figura 45 o posicionamento da placa das cargas foi adicionado na parte de trás da estrutura metálica.

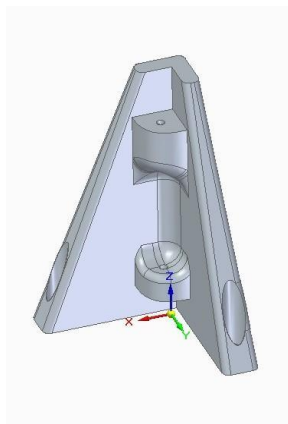
Figura 45 – Posicionamento da placa das cargas na estrutura da Jiga de Teste.



Fonte: CEBRA

Após a apresentação dos posicionamentos das placas da Jiga de Teste, observa-se a parte da estrutura designada para suportar essas placas. Para isso, foram criados quatro pilares de suporte posicionados nas bordas das placas. Cada pilar tem dimensões de 7,3 cm x 8 cm e apresenta duas estruturas de encaixe: uma na parte inferior para a placa de controle e outra na parte superior para a placa de potência. Na figura abaixo, apresenta um pouco melhor o design da peça.

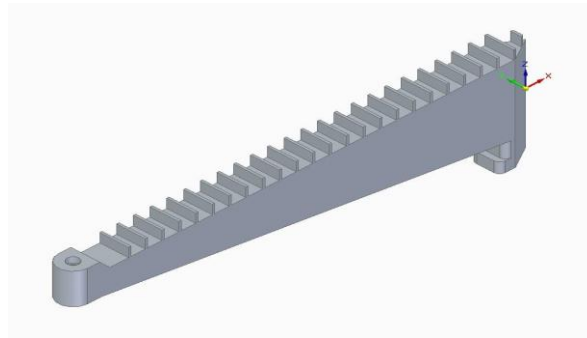
Figura 46 – Desenho do pilar das placas de controle e potência.



Fonte: CEBRA

Para fornecer maior estabilidade à placa de potência, foi projetada uma estrutura adicional de suporte composta por quatro partes, conforme está apresentado na Figura 47.

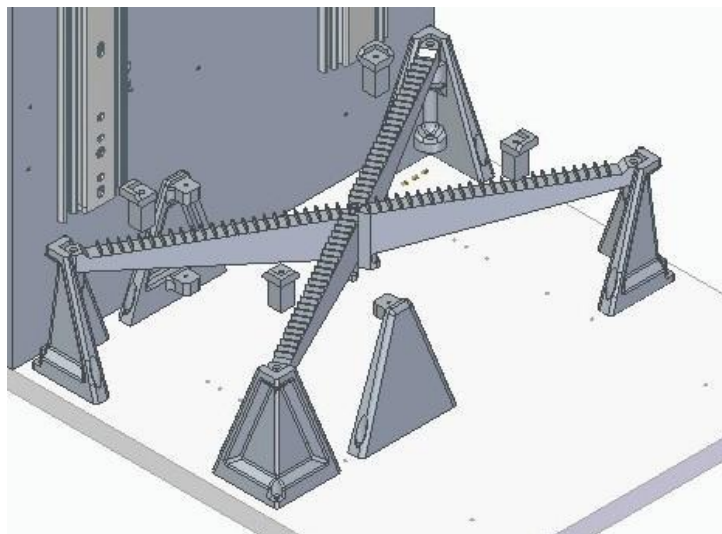
Figura 47 – Desenho do suporte da placa de potência.



Fonte: CEBRA

Essas partes são posicionadas abaixo da placa, proporcionando uma base sólida sobre a qual a placa pode ser colocada. Essa abordagem garante que a estrutura de suporte sustente a placa de forma eficaz, mantendo-a firmemente no lugar durante o funcionamento da Jiga. A disposição dessa estrutura pode ser visualizada na figura abaixo.

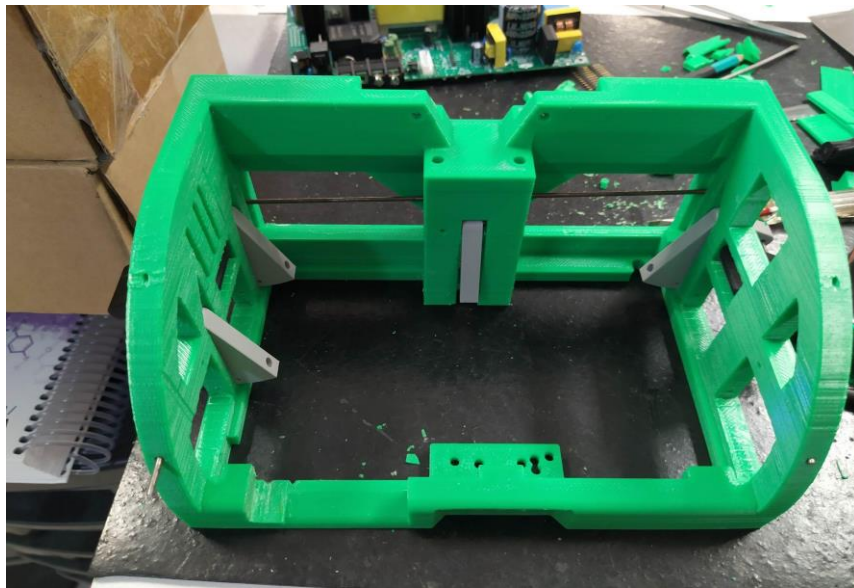
Figura 48 – Desenho com todas as estruturas de pilar/suporte.



Fonte: CEBRA

A estrutura destinada a acomodar a placa da fonte de teste possui medidas de 20,9 x 10,6 x 14,5 cm (comprimento x largura x altura). Na figura abaixo, é possível visualizar uma representação desta estrutura. Destaca-se que ela é posicionada sobre todas as outras estruturas, proporcionando suporte e organização para a placa da fonte de teste.

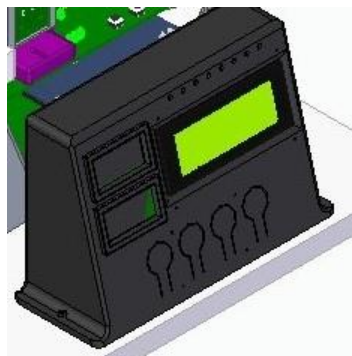
Figura 49 – Estrutura p/ placa de teste.



Fonte: Autor

Também se observa a estrutura projetada para alocar o display LCD. Com dimensões de 18,8 cm x 12,0 cm, essa estrutura proporciona suporte adequado para o display LCD. Na Figura 50, ilustra-se sua representação da estrutura.

Figura 50 – Desenho da Estrutura p/ o display LCD.



Fonte: CEBRA

Finalizando esta seção da estrutura mecânica, apresenta-se na Figura 51, a estrutura completa da Jiga.

Figura 51 – Estrutura Completa Jiga de Teste.



Fonte: Autor & CEBRA

3.3.3 SISTEMA SOFTWARES

Os softwares da Jiga de Teste desempenham um papel fundamental no controle e execução dos testes. Inicialmente, foi desenvolvido o software de controle do microcontrolador, responsável por coordenar e executar as etapas de teste, acionamento de relés, medições, e processamento de dados coletados durante os testes. Este software é programado para interagir com os diferentes módulos de hardware da Jiga

Além do software de controle do microcontrolador, outro software desempenha um papel fundamental na interface entre o usuário e a Jiga de Teste. Este software recebe os dados dos testes realizados e notifica quando o processo de teste é concluído. Além disso, fornece uma maneira intuitiva de iniciar e monitorar os testes, além de apresentar os resultados de forma clara e acessível.

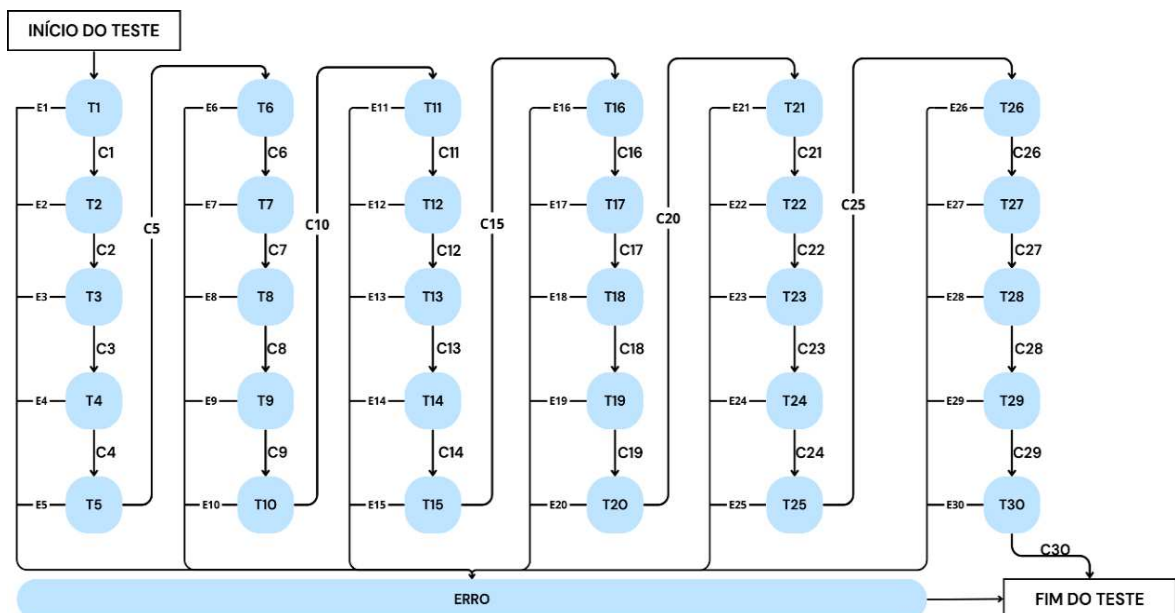
Ambos os softwares foram desenvolvidos segundo os requisitos específicos do projeto, garantindo uma integração entre o hardware e o software da Jiga de Teste. Com uma combinação adequada de hardware e software, a Jiga é capaz de realizar os testes de forma precisa, eficiente e confiável, atendendo às necessidades de verificação e validação do sistema em questão. Por último, os códigos completos, dos dois softwares, encontram-se no APÊNDICE D para visualização.

3.3.3.1 SOFTWARE DE AQUISIÇÃO DE DADOS EM MICROCONTROLADOR

O software de controle da Jiga foi estruturado de forma a permitir flexibilidade e facilidade de manutenção. Cada teste definido foi implementado como uma função específica dentro do código, o que possibilita a reordenação dos testes conforme necessário, sem afetar o fluxo geral do programa.

A partir das definições dos testes a serem realizados, conforme descrito na Tabela 3, foi estabelecido um fluxograma específico para o código, conforme apresentado na Figura 52.

Figura 52 – Fluxograma do código para os testes da Jiga



Fonte: Autor

Com isso, foram estabelecidas as definições de todas as condições de sucesso para cada medida em seu teste específico. Além disso, também são apresentadas as condições de erro, para que as medidas estejam fora das condições de sucesso. Na Tabela 8, encontra-se a lista completa, juntamente com a definição para cada teste específico.

Tabela 8 – Lista das condições/erros no fluxograma dos testes

(continua)

Nº do Teste	Condição de Sucesso Teste	Nº da Condição APROVADO	Condição de Erro	Nº da Condição ERRO
T1	VPRE > 3,32V e VPRE < 3,67V	C1	VPRE < 3,32V e VPRE > 3,67V	E1
T2	VOOUT > 55V e VOOUT < 56V	C2	VOOUT < 55V e VOOUT > 56V	E2
T3	VPRE > 3,3V e VPRE < 3,46V	C3	VPRE < 3,3V e VPRE > 3,46V	E3
T4	VPRE > 26,5V e VPRE < 28,5V	C4	VPRE < 26,5V e VPRE > 28,5V	E4
T5	VENT > 7V e VENT < 11V	C5	VENT < 7V e VENT > 11V	E5
T6	VPRE > 3V e VPRE < 3,5V	C6	VPRE < 3V e VPRE > 3,5V	E6
T7	VBAT > 48V e VBAT < 55V	C7	VBAT < 48V e VBAT > 55V	E7
T8	LED AMARELO CONTÍNUO	C8	LED AMARELO DESLIGADO e PISCANDO; LEDS VERDE E VERMELHO DETECTADOS	E8
T9	VBAT > 46V e VBAT < 48V	C9	VBAT < 46V e VBAT > 48V	E9
T10	LED AMARELO PISCANDO	C10	LED AMARELO DESLIGADO e CONTÍNUO; LEDS VERDE E VERMELHO DETECTADOS	E10
T11	VBAT > 42V e VBAT < 46V	C11	VBAT < 42V e VBAT > 46V	E11
T12	VBAT < 42V	C12	VBAT > 42V	E12
T13	LED VERMELHO PISCANDO	C13	LED VERMELHO DESLIGADO e CONTÍNUO; LEDS VERDE E AMARELO DETECTADOS	E13
T14	VOOUT > 53V e VOOUT < 57V	C14	VOOUT < 53V e VOOUT > 57V	E14
T15	HALLCORRENT > 3,9A	C15	VOOUT < 53V e VOOUT > 57V	E15

Tabela 8 – Lista das condições/erros no fluxograma dos testes

(conclusão)

Nº do Teste	Condição de Sucesso Teste	Nº da Condição APROVADO	Condição de Erro	Nº da Condição ERRO
T16	VOUT > 53V e VOUT < 57V	C16	VOUT > 53V e VOUT < 57V	E16
T17	LED VERDE CONTÍNUO	C17	LED VERDE DESLIGADO; LEDS VERDE E AMARELO DETECTADOS	E17
T18	HALLCORRENT ≈ 3,9A	C18	HALLCORRENT < 3,9A	E18
T19	HALLCORRENT > 3,9A e VOUT < 52V	C19	HALLCORRENT < 3,9A ou VOUT > 52V	E19
T20	LEDs VERDE CONTÍNUO e VERMELHO PISCANDO	C20	LED VERDE DESLIGADO; LEDS VERMELHO DESLIGADO e CONTÍNUO; LED AMARELO DETECTADO	E20
T21	VOUT > 53V e VOUT < 57V	C21	VOUT < 53V e VOUT > 57V	E21
T22	LED VERDE CONTÍNUO	C22	LED VERDE DESLIGADO; LEDS VERDE E AMARELO DETECTADOS	E22
T23	VERIFICAR CURTO e VOUT > 53V e VOUT < 57V	C23	CURTO CONTINUAR e VOUT < 53V e VOUT > 57V	E23
T24	LEDs VERDE CONTÍNUO e VERMELHO PISCANDO	C24	LED VERDE DESLIGADO; LEDS VERMELHO DESLIGADO e CONTÍNUO; LED AMARELO DETECTADO	E24
T25	VBAT > 42V	C25	VBAT < 42V	E25
T26	VBAT < 42V	C26	VBAT ≥ 42V	E26
T27	VOUT > 53V e VOUT < 57V	C27	VOUT < 53V e VOUT > 57V	E27
T28	LEDs VERDE CONTÍNUO e VERMELHO PISCANDO	C28	LEDs VERDE CONTÍNUO e VERMELHO PISCANDO	E28
T29	VERIFICAR CURTO e VOUT > 53V e VOUT < 57V	C29	CURTO CONTINUAR VOUT < 53V e VOUT > 57V	E29
T30	VOUT > 53V e VOUT < 57V	C30	VOUT < 53V e VOUT > 57V	E30

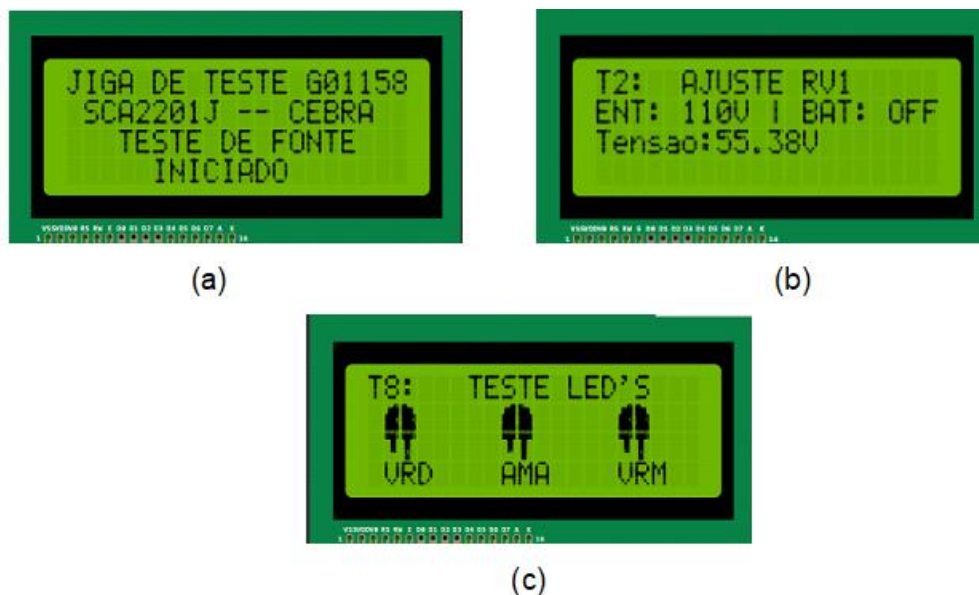
Fonte: Autor

O processo do código envolve a verificação das condições de cada teste, e para cada etapa, os resultados são exibidos no display LCD. Abaixo estão exemplos das mensagens que aparecem durante algumas etapas dos testes, as quais foram emuladas no simulador online Wokwi, uma plataforma que permite emular o funcionamento de circuitos eletrônicos e sistemas embarcados.

Na Figura 53a), é exibida a mensagem de inicialização do processo de teste, que aparece quando todo o equipamento é ligado, antes de iniciar os testes. Nas Figuras 53b) e 53c), tem-se exemplos de testes de tensão e LEDs, respectivamente.

Independentemente do tipo de teste, se alguma condição específica falhar, o programa fluirá para a seção de tratamento de erro do teste correspondente, encerrando-o. O erro detectado será então exibido no display, conforme previsto no bloco de tratamento de erros.

Figura 53 – Exemplos de mensagens no Display LCD.



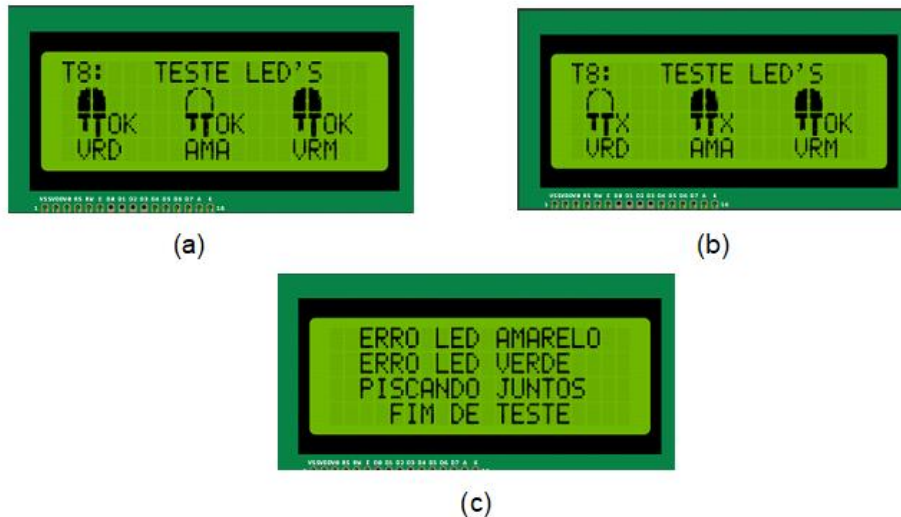
Fonte: Autor

No caso do teste dos LEDs, na figura abaixo, apresenta-se alguns exemplos de mensagens que podem ser exibidas para indicar problemas específicos relacionados ao funcionamento dos LEDs durante o teste.

Na Figura 54a), é exibida a mensagem quando o LED é identificado corretamente de acordo com seu teste pela Jiga de Teste. No exemplo fornecido, trata-se do teste T8, responsável pela identificação do LED Amarelo da fonte. Se o LED estiver identificado corretamente, a mensagem será como a apresentada na figura 54a). Por outro lado, na Figura 54b), é apresentada a mensagem quando o LED não é identificado corretamente ou quando é identificado outro LED junto com ele. Além disso, a mensagem indica qual LED apresentou a falha, como exemplificado.

Por fim, na Figura 54c), é mostrada a mensagem de erro que identifica qual foi o erro ocorrido durante o teste.

Figura 54 – Mensagens no Display LCD para Teste dos LEDS.



Fonte: Autor

Já para os casos de teste de tensão de saída da fonte, Figura 55, apresenta-se alguns exemplos de mensagens que podem ser exibidas para indicar problemas específicos relacionados ao funcionamento da fonte durante o teste.

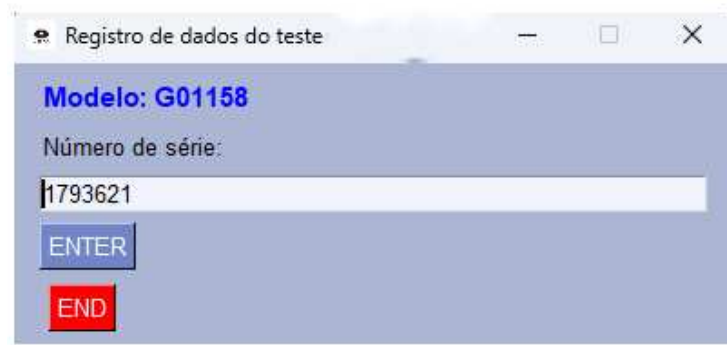
É exibida a mensagem quando a tensão é verificada corretamente de acordo com o teste realizado pela Jiga de Teste. No exemplo fornecido, trata-se do teste T2, que verifica se a tensão está ajustada corretamente. Se a tensão estiver dentro dos limites das condições estabelecidas na Tabela 8, a mensagem exibida será como a apresentada na Figura 55a).

Por outro lado, na Figura 55b), tem-se a mensagem quando a tensão não está ajustada corretamente ou quando está fora dos limites estabelecidos na tabela. Além disso, a mensagem indica o erro específico encontrado, conforme exemplificado.

Por fim, na Figura 55c), mostra-se a mensagem de erro que identifica qual foi o erro ocorrido durante o teste de tensão.

lidos do microcontrolador são recebidos por meio de comunicação serial. Assim que a conexão for estabelecida, a GUI é apresentada ao operador, conforme está representado na Figura 56.

Figura 56 – Exemplo da interface inicial GUI.



Fonte: Autor

A interface da GUI consiste em três seções principais: um campo para inserção do número de série da fonte, um botão "ENTER" para iniciar o teste e uma área para exibir mensagens de sucesso ou erro. Antes de iniciar o teste, o operador deve inserir o número de série da fonte, que será registrado nos resultados. Se o número de série inserido tiver mais ou menos caracteres do que o esperado, uma mensagem de erro será exibida. Além disso, o botão "END" na interface encerra o teste.

Figura 57 – Exemplos da interface quando tem Excesso (a) ou falta de números (b).



(a)

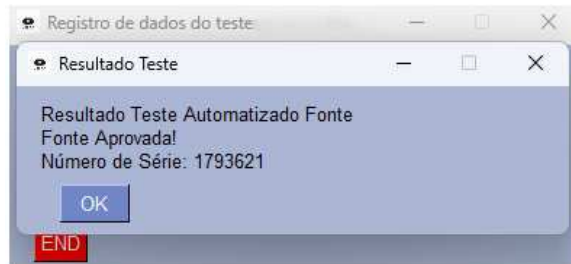
(b)

Fonte: Autor

Após inserir o número de série e iniciar o teste, a GUI envia um sinal ao software de controle por comunicação serial, indicando o início dos testes. Se todos os testes

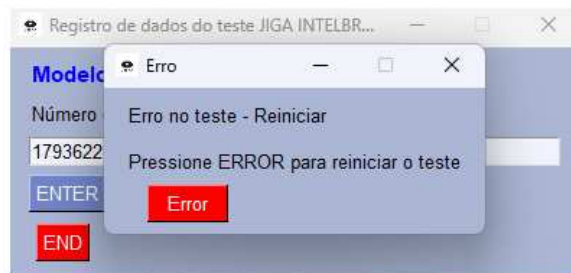
forem bem-sucedidos, uma mensagem de sucesso é exibida, juntamente com o número de série da fonte. Caso ocorra algum erro durante os testes, uma mensagem de erro é exibida, e o operador pode reiniciar o processo pressionando o botão correspondente.

Figura 58 – Exemplo da interface com Sucesso dos Testes.



Fonte: Autor

Figura 59 – Exemplo da interface com Erros dos Testes.



Fonte: Autor

No decorrer do processo de teste, quando todos os testes forem validados com sucesso pelo software de controle, os dados resultantes serão enviados diretamente para o software GUI. Este último software, por sua vez, irá organizar esses dados e salvá-los em um documento de texto (.txt) localizado no servidor de testes da empresa. Dentro deste arquivo .txt, serão registradas informações importantes, tais como os dados medidos durante os testes, o número de série da fonte que foi testada, e quaisquer outras informações relevantes para o processo de monitoramento e análise dos resultados. Essa abordagem garante que os dados dos testes sejam armazenados de forma organizada e segura, facilitando o acesso e a análise posterior por parte dos responsáveis pelo controle de qualidade e engenharia da empresa.

Figura 60 – Exemplo do documento criado com os dados de testes.

```

Fornecedor: CEBRA
Modelo: G01158
Número de série: 1793476
Data: 2024-01-29 13:05:26

ETAPAS DE TESTE
Tensão Ventilador:8.4V
Carga Mínima (0A) -- Tensão Bateria - Modo 1:53.2V
Carga Mínima (0A) -- Tensão Bateria - Modo 2:46.9V
Carga Mínima (0A) -- Tensão Bateria - Modo 3:42.8V
Carga Mínima (0A) -- Tensão Bateria - Modo 4:38.9V
Fonte 110V -- Carga Mínima (0A) -- Tensão Saída CA:55.9V
Fonte 110V -- Carga Máxima (3.5A) -- Tensão Saída CA:55.2V
Fonte 110V -- Carga Limitação (>=3.9A)-- Tensao:50.0V
Fonte 110V -- Carga Limitação (>=3.9A)-- Corrente:4.1A
Fonte 110V -- Partida Carga Máxima (3.5A) -- Tensão:55.2V
Fonte 110V -- Curto Circuito:APROVADO!
Fonte 110V -- Limitação Carregar Bateria (<= 0.5)-- Tensao:44.8V
Fonte 110V -- Sobrecarga Bateria (>0.5A) -- Tensao = 0V -- APROVADO!
Fonte 220V -- Partida Carga Máxima (3.5A) --Tensão:55.31V
Fonte 220V -- Curto Circuito:APROVADO!
Fonte 220V -- Carga Mínima (0A) -- Tensão Saída CA:56.1V

```

Fonte: Autor

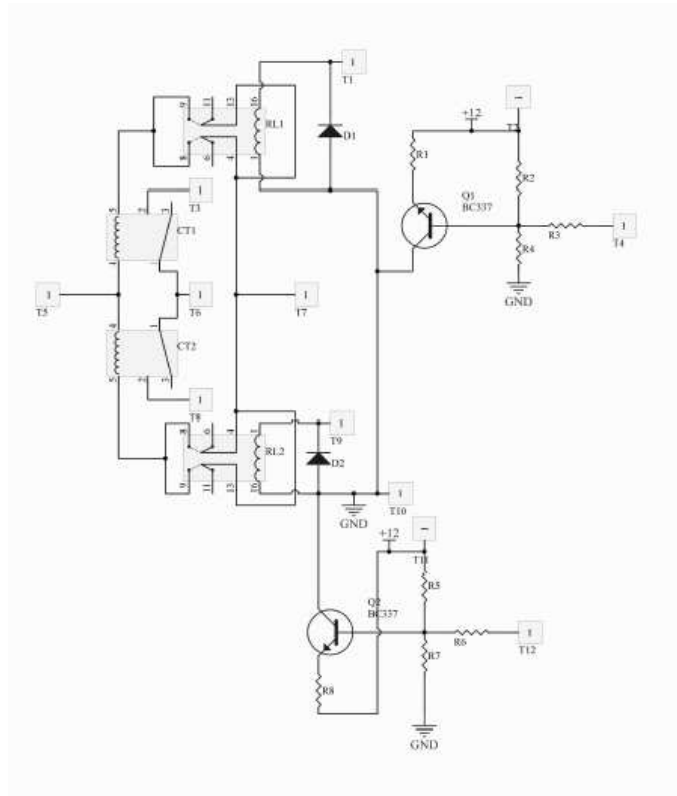
4. RESULTADOS

Os testes iniciais da Jiga enfrentaram diversos problemas. Inicialmente, surgiram problemas com os componentes, como o mau funcionamento de alguns deles, demandando a substituição dos mesmos. Houve a necessidade de trocar os valores de resistores, capacitores e até optoacopladores para resolver essas questões. Além disso, surgiram problemas mecânicos, principalmente relacionados às pontas de prova, que frequentemente não estabeleciam o contato adequado com a placa de teste. Para solucionar esse problema, foram realizados ajustes na alavanca da estrutura metálica visando melhorar o contato.

Além disso, observou-se um problema nas etapas de teste de carga, a partir do teste T15, onde os relés na placa não estavam funcionando corretamente. Após uma análise detalhada, constatou-se que isso ocorreu devido à limitação dos relés para a quantidade de corrente envolvida nessas etapas. Para resolver esse problema, optou-se por substituir os relés por duas contadoras. As contadoras são dispositivos eletromecânicos utilizados para controlar correntes elétricas elevadas. Elas funcionam de maneira semelhante aos relés, mas são projetadas para lidar com cargas de corrente mais altas. Especificamente, os relés substituídos foram os RL9/RL10 e RL5.

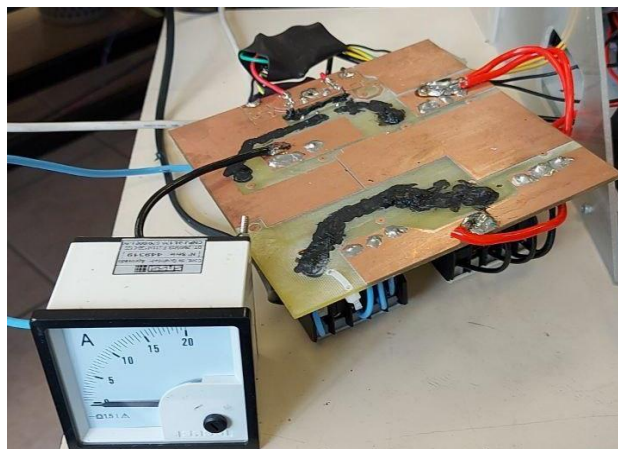
Nas figuras abaixo, Figuras 61 e 62, apresenta-se o novo circuito implementado e a contatora instalada na estrutura da Jiga. Além disso, em APÊNDICE E, encontra-se o design da PCB desse circuito.

Figura 61 – Esquemático do circuito das contadoras.



Fonte: Autor

Figura 62 – Contadoras colocadas na Jiga.



Fonte: Autor

Após a substituição dos relés pelas contadoras no projeto, é apresentada na Figura 63 a configuração final da Jiga de Teste completa, acompanhada do computador pelo qual o operador terá acesso para realizar os testes.

Figura 63– Configuração Final da Jiga de Teste.



Fonte: Autor

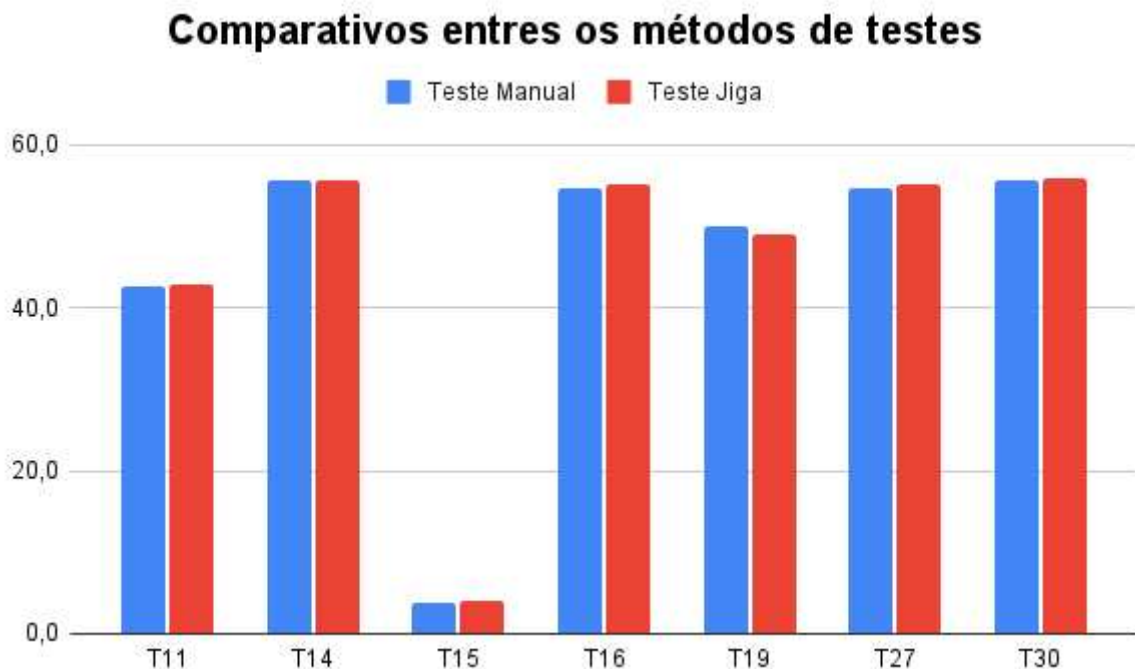
Com a nova configuração da Jiga de Teste, realizou-se novamente o processo de teste das fontes. Nesta fase do projeto, optou-se por testar apenas 20 fontes. Para isso, foram aplicados os mesmos testes que seriam realizados manualmente, conforme ilustrado na Figura 7.

Ao analisar os resultados, será verificada a discrepância entre as medições obtidas nos dois processos, além do tempo total de teste registrado em cada um deles. É importante ressaltar que, para validar a eficácia da Jiga, inicialmente foi realizado o teste manual das fontes, a fim de obter uma quantidade mínima de dados e *feedback* dos operadores sobre as condições dos testes. Além disso, vale destacar que no teste manual podem ser observados testes adicionais que não serão considerados no processo automatizado, sendo considerados apenas os valores atribuídos aos testes da sequência de testes da Jiga.

O comparativo entre os testes manuais e os realizados pela Jiga foi conduzido com base em uma seleção específica de testes nos quais os valores já estavam disponíveis a partir das anotações do processo manual. Para garantir uma avaliação abrangente, foi tomada como referência a média dos resultados obtidos em cada um desses testes. Os testes selecionados para essa análise foram o T11, T14, T15, T16, T19, T27 e T30.

Na Figura 64, é apresentado um gráfico que mostra a média dos valores de corrente e tensão obtidos nos testes. No eixo Y, esses valores são representados, sendo comparados os resultados dos testes manuais (em vermelho) com os obtidos pela Jiga de Teste (em azul). Essa comparação das médias dos valores de corrente e tensão entre os métodos de teste auxilia na avaliação da eficácia da Jiga de Teste em relação aos testes manuais.

Figura 64 – Gráfico com os comparativos entre os tipos de testes.



Fonte: Autor

Ao analisar o gráfico, observa-se que os valores médios obtidos nos testes manuais e pela Jiga estão bastante próximos. Isso indica uma consistência notável nos resultados gerados pela Jiga em comparação com o método manual. A taxa de

erro entre os valores médios das duas abordagens é inferior ou igual a 2%, o que evidencia a eficácia da Jiga na realização das medições.

Na tabela abaixo, são apresentados os valores médios obtidos durante a análise comparativa, permitindo uma visualização detalhada das diferenças entre os testes manuais e automatizados. Os testes T11, T14, T16, T19, T27 e T30 correspondem a valores de tensão, enquanto o teste T15 é referente ao valor de corrente.

Tabela 9 – Lista de comparativo entre os valores obtidos nos testes.

Nº da Fonte	Teste Manual	Teste Automático	Erro
T11	42,7 V	42,8 V	0,16%
T14	55,7 V	55,8 V	0,18%
T15	3,9 A	4,0 A	2,03%
T16	54,8 V	55,24 V	0,87%
T19	50,0 V	49,0 V	2,05%
T27	54,8 V	55,2 V	0,69%
T30	55,6 V	55,8 V	0,36%

Fonte: Autor

Esses dados reforçam a confiabilidade e precisão dos testes realizados pela Jiga, destacando sua capacidade de reproduzir resultados consistentes e precisos. Essa análise comparativa é fundamental para validar a eficácia do sistema automatizado e identificar possíveis áreas de melhoria para garantir a qualidade dos testes realizados.

Além dos resultados obtidos, também é importante considerar o tempo necessário para realizar os testes em ambas as abordagens. Em média, os testes manuais levaram cerca de 10 minutos e 34 segundos, enquanto os testes automatizados pela JIGA tiveram uma média de apenas 3 minutos e 2 segundos. Portanto, mostra-se que a JIGA proporcionou uma redução média de aproximadamente 71% no tempo de teste em comparação com o método manual. Esta diferença é significativa no tempo de execução dos testes, indicando uma melhoria substancial na eficiência do processo com a utilização da JIGA.

5. CONCLUSÃO

O processo de concepção e implementação desse projeto permitiu uma visão mais clara sobre como aproveitar ao máximo os testes em fontes chaveadas, proporcionando uma análise mais precisa e eficiente dos equipamentos.

Inicialmente, ao projetar o hardware para realizar as principais medidas da fonte, o objetivo foi garantir que as informações necessárias estivessem disponíveis para a Jiga realizar aferições dos valores. Os resultados obtidos demonstraram a eficácia dos métodos utilizados nos circuitos, como pode ser observado na Figura 62, confirmando que o processo foi satisfatório e eficaz para as medidas realizadas.

O desenvolvimento do software foi igualmente bem-sucedido, pois foi capaz de controlar e validar os dados recebidos do hardware de forma precisa. Além disso, o tempo utilizado para realizar os testes também foi otimizado, mostrando a eficácia da escolha dos tipos de testes utilizados nas fontes específicas. A criação de uma interface amigável em Python para facilitar o controle das etapas de teste também foi um ponto positivo do projeto. O software tornou o processo mais intuitivo para o operador.

No entanto, para trabalhos futuros, há alguns pontos a serem considerados. Um deles é a possibilidade de reduzir o tamanho do hardware, eliminando componentes desnecessários, principalmente botões e trimpots.

Outra área de melhoria é a parte mecânica da Jiga. Problemas foram observados na obtenção das medidas, principalmente devido à dificuldade de acesso aos pontos de medição em alguns pontos da placa da fonte. Considerar outras maneiras de obter os valores da fonte pode ser uma abordagem a ser explorada.

Por fim, não foi possível validar o uso da Jiga de Teste diretamente com os operadores diretos na produção, por conta do prazo de entrega do projeto. A realização de testes diretos com a equipe de produção é fundamental para avaliar a facilidade de entendimento do equipamento projetado e a legibilidade dos resultados dos testes para os operadores. Essas considerações são essenciais para futuras iterações do projeto, com o objetivo de aprimorar continuamente a eficiência e precisão dos testes realizados pela Jiga de Teste.

REFERÊNCIAS

- ABELHA, Pedro Cláudio Freixo. Estágio-Te connectivity. 2014. Tese de Doutorado.
- BARBI, Ivo. Projetos de Fontes Chaveadas. Florianópolis: Edição do Autor, 2001.
- CESAR, Osias Rafael do Amaral Neto; INSTITUIÇÃO, Gilson Yukio Sato. Aumento da capacidade de uma linha de produção por meio de melhoria em giga de testes, 2014.
- CHRYSSIS, George C.. **High Frequency Switching Power Supplies: Theory and Design**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1989. 301 p.
- DE OLIVEIRA, ANDRÉ MENDES. **JIGA AUTOMÁTICA PARA TESTES DE CONVERSORES CHAVEADOS**, 2012.
- ELETRÔNICA, Antares. **Jiga de teste para fontes**. Disponível em: <https://www.antaresonline.com.br/jiga-teste-fontes>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- ESPERIDON, Jonathan Aguiar; CÉSAR, Thiago Correa; GOMES, Francisco José. **FONTES DE TENSÃO LINEARES: AMBIENTE INTEGRANDO CÁLCULO, ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO**, 2006.
- LUCCA, Gustavo Castoldi et al. **TESTE DE UM SISTEMA DE SUPERVISÃO DE UNIDADES TRANSFORMADORAS E SUBESTAÇÕES ATRAVÉS DE UMA GIGA DE TESTES**. Salão do Conhecimento, 2017.
- MICROCHIP. PIC16F15213/14/23/24/43/44 Low Pin Count Microcontrollers. 2022. Disponível em: <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/MCU08/ProductDocuments/DataSheets/PIC16F15213-14-23-24-43-44-Microcontroller-Data-Sheet-40002195.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2023.
- MEHL, Ewaldo LM. Fontes chaveadas. Apostila-Centro Politécnico–Universidade Federal do Paraná. Revisão, 2002.
- ODILON, ADRIANO NASCIMENTO et al. **GIGA DE TESTES PARA CHICOTE AUTOMOTIVO**. 2012.
- PEREIRA, Paulo Isidoro Siqueira. Processo de melhoria na implementação de Jigas automáticas no teste de placas eletrônicas industriais. 2023.
- PIRES, Paulo Victor Lopes; MAGRI, Luiz Paulo. Circuito de proteção contra sobretensão na rede de alimentação monofásica, utilizando a filosofia de proteção escalonada e alta perda por inserção na frequência de ressonância. Caderno de Estudos em Engenharia Elétrica, v. 1, n. 1, 2019.
- POMILIO, José Antenor. Fontes chaveadas. Publicação FEEC, v. 13, p. 95, 2008.

RADHWAN, H. et al. Design and analysis of jigs and fixtures for manufacturing process. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2019. p. 012028.

RODRIGUES, Carlos Eduardo Bevilacqua. Jiga automática para testes de fontes chaveadas. 2009.

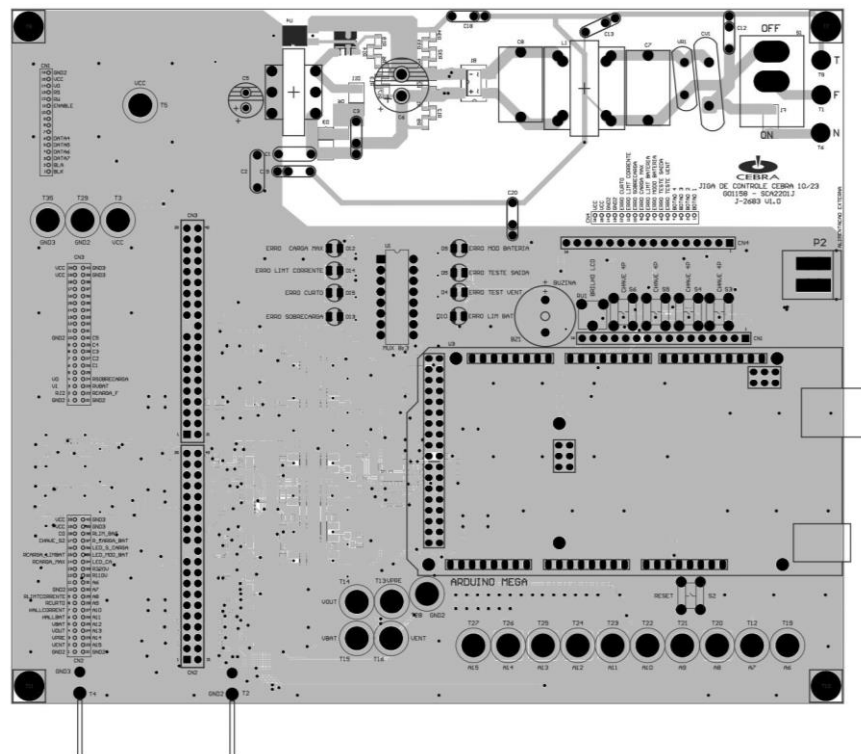
ROGGIA, Leandro; FUENTES, Rodrigo Cardozo. Automação industrial. Santa Maria: E-tec Brasil, 2016.

SILVA, Alejandro Javier Maldonado Rosa et al. Projeto de uma fonte chaveada baseada no conversor push-pull. 2021.

TOKU, H. Alper. Developing new Automatic Test Equipments (ATE) using systematic design approaches. In: **2013 IEEE AUTOTESTCON**. IEEE, 2013. p. 1-7

APÊNDICE A - DESIGN PCB DO MÓDULO DE CONTROLE DA JIGA

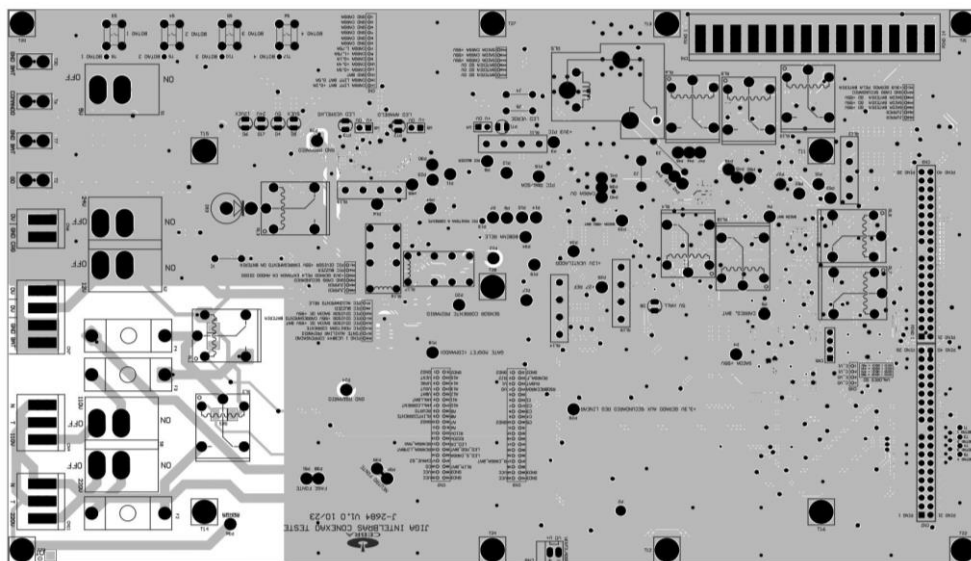
A PCB foi desenvolvida como uma placa de duas faces, otimizando a disposição dos componentes e as conexões. A topologia do circuito priorizou o acesso conveniente ao microcontrolador, aos botões e a incorporação de pontos de medição para sinais analógicos, projetados para permitir a conexão fácil de ponteiros de multímetro, com o objetivo de simplificar a medição desses sinais. A tecnologia de montagem combinou componentes SMDs e manuais, garantindo precisão na disposição dos elementos. As trilhas foram dimensionadas em 20 mil para sinais digitais e 30 mil para sinais analógicos, visando uma transmissão eficaz e integridade do sinal.



Fonte: Autor

APÊNDICE B - DESIGN PCB MÓDULO POTÊNCIA DA JIGA

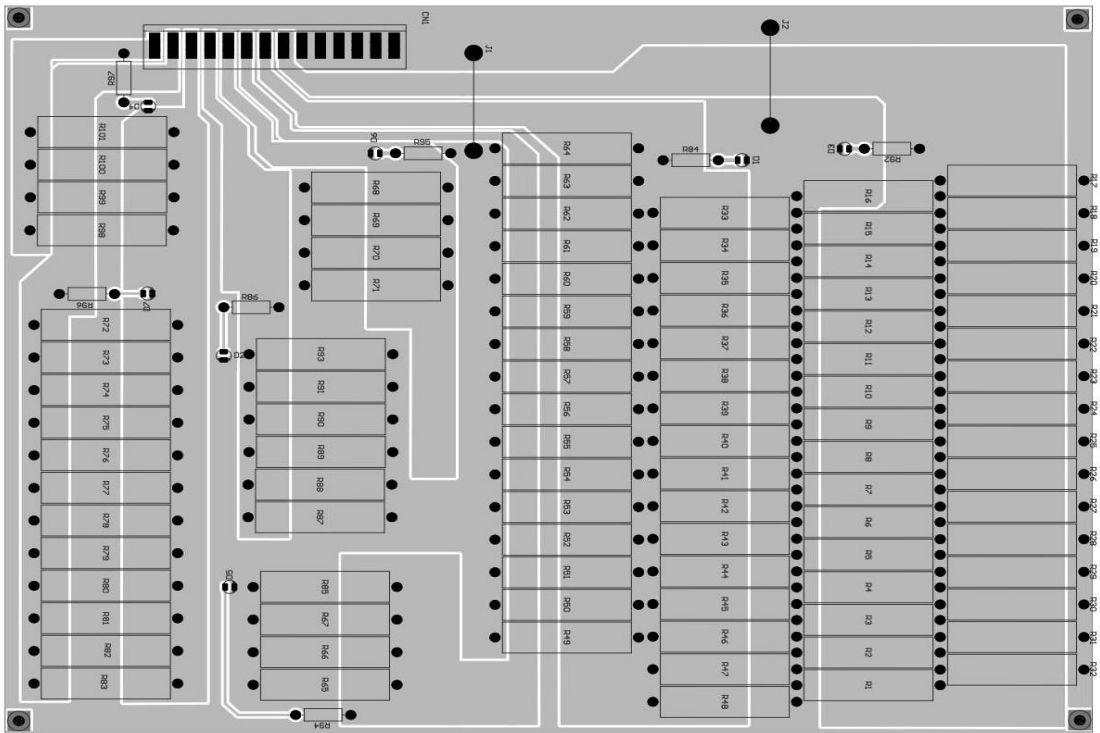
A PCB de duas faces foi projetada para aplicações de potência, visando otimizar a disposição dos componentes e conexões. O design enfatizou o alinhamento dos elementos de medição com os pontos específicos da placa de teste, facilitando as medidas necessárias. Chaves foram incorporadas nas extremidades para controle manual da alimentação (5 V, 12 V e 24 V), enquanto vias de conexão foram posicionadas próximas à borda para facilitar o acesso a outras placas. Para garantir a segurança, foram separados dois planos de terra, um para a conexão com a rede elétrica e outro para a placa de teste. Os tamanhos das trilhas variaram, com 20 mil para sinais digitais, 30 mil para sinais analógicos e 50 mil para os aterramentos, assegurando uma transmissão eficaz dos sinais e a integridade do sistema.



Fonte: Autor

APÊNDICE C - DESIGN PCB MÓDULO DA CARGA DA JIGA

A PCB de face simples, foi projetada para a placa de cargas, utilizando componentes PTH (Through-Hole), incluindo resistores de potência de 5 W. As trilhas foram dimensionadas em 30 mil para os sinais e para o plano de terra (GND) em 40 mil, garantindo uma transmissão eficiente dos sinais e a integridade do sistema.



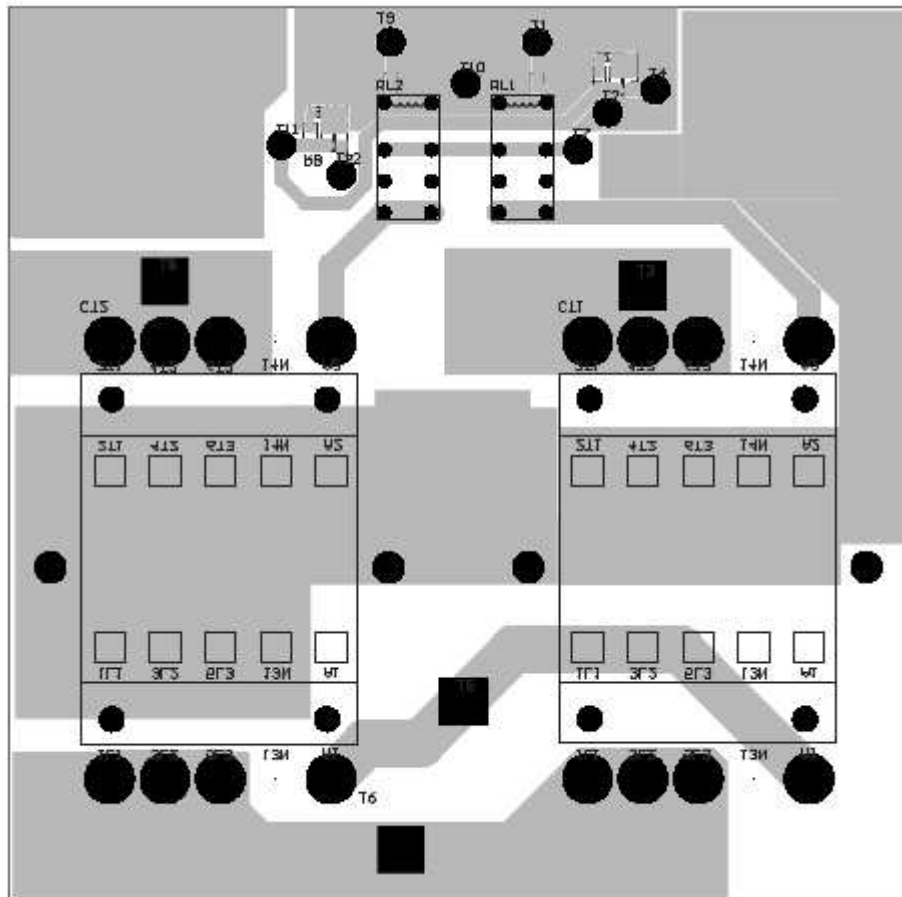
Fonte: Autor

APÊNDICE D - CÓDIGOS DO SOFTWARE

[Códigos Software](#)

APÊNDICE E - DESIGN PCB DO CIRCUITO DA CONTATORA

Foi utilizado um único tamanho de trilha nesta placa, que foi elaborada diretamente na CNC. Os componentes SMD, BCs, resistores e relés foram colocados manualmente durante o processo de montagem.



Fonte: Autor