

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE ERECHIM
ÁREA DE ENGENHARIAS E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

FABIANO KRUGER

GERENCIAMENTO DE ILUMINAÇÃO EM AMBIENTES PRIVADOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ERECHIM - RS
2023**

FABIANO KRUGER

GERENCIAMENTO DE ILUMINAÇÃO EM AMBIENTES PRIVADOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, Área de Engenharias e Ciência da Computação da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Câmpus de Erechim.

Orientador: Prof. Cássio Luciano Baratieri

**ERECHIM - RS
2023**

FABIANO KRUGER

GERENCIAMENTO DE ILUMINAÇÃO EM AMBIENTES PRIVADOS

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica, Área de
Engenharias e Ciência da Computação da
Universidade Regional Integrada do Alto
Uruguai e das Missões – Câmpus de Erechim.**

Erechim, 11 de dezembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Cássio Luciano Baratieri (Orientador)
URI Erechim



Prof. Adilson Luís Stankiewicz (Examinador)
URI Erechim



Prof. Claodomir Antônio Martinazzo (Examinador)
URI Erechim

Este trabalho é dedicado à minha família, por
todo carinho, apoio e incentivo durante essa
experiência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Salete Sebastiana Kruger e Gilberto Kruger, por incentivarem a minha educação, buscando sempre ajudar da melhor forma possível. Expresso minha gratidão à minha companheira, Aline Romanoski, que foi uma das bases para essa conquista, e também aos meus amigos e colegas que participaram dessa etapa, compartilhando os mais diversos momentos e experiências. Agradeço todo o apoio e incentivo que me motivaram a sempre continuar em frente, tornando essa etapa especial e gratificante.

Reconheço, em especial, o orientador Dr. Cássio Luciano Baratieri, por repassar com empenho e dedicação todo o conhecimento e fornecer o suporte necessário para a realização deste trabalho. Agradeço também a todos os demais professores que estiveram presentes ao longo do processo de formação acadêmica, estendendo a minha gratidão à instituição Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai das Missões, por disponibilizar os recursos necessários que tornaram possível chegar ao momento presente.

*A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,
mas pensar o que ninguém pensou sobre aquilo
que todo mundo vê.*

(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

A presente monografia tem como finalidade o desenvolvimento de sistema de tele gestão para ambientes privados, abrangendo desde o surgimento do primeiro Led, que compõem as luminárias atualmente fabricadas. Para isso realizou-se uma revisão de literatura sobre topologias utilizadas na área de microcontroladores abrangendo setores de telecomunicação, leituras AD, leituras de grandezas elétricas do tipo AC e plataforma WEB. A partir disso foram definidos parâmetros do projeto, microcontrolador ESP32, comunicação via Wi-Fi, definido a forma de leitura AD com o conversor analógico digital MCP3202, leitura de corrente AC a partir do circuito integrado ACS712, leitura de tensão com ZMPT101B e o desenvolvimento da estrutura WEB utilizando HTML, CSS e Java Script. Desenvolvimento do circuito elétrico unindo todos os periféricos em uma única placa de circuito impresso, notando que é possível obter resultados confiáveis e precisos de Potência Ativa, Reativa, Aparente e também obter o Fator de Potência (FP) do sistema. Utilizando a tecnologia sem fio Wi-Fi que utiliza diversos protocolos é possível criar uma rede inteligente, fazendo com que os projetores em Led se comuniquem entre eles de forma autônoma e com pareamento automático.

Palavras-chave: Wi-Fi. ESP32. MCP3202. Microcontroladores.

ABSTRACT

This monograph aims to develop a remote management system for private environments, ranging from the emergence of the first LED, which make up the luminaires currently manufactured. To this end, a literature review was carried out on topologies used in the area of microcontrollers covering telecommunications sectors, AD readings, AC electrical magnitude readings and WEB platforms. From this, the project settings were defined, ESP32 microcontroller, communication via Wi-Fi, AD reading method defined with the MCP3202 digital analog converter, AC current reading from the ACS712 integrated circuit, voltage reading with ZMPT101B and the development of the WEB structure using HTML, CSS and JavaScript. Development of the electrical circuit by uniting all peripherals on a single printed circuit board, noting that it is possible to obtain reliable and accurate results of Active, Reactive and Apparent Power and also obtain the Power Factor (PF) of the system. Using Wi-Fi wireless technology that uses several protocols, it is possible to create an intelligent network, making LED projects communicate with each other autonomously and with automatic pairing.

Keywords: Wi-Fi. ESP32. MCP3202. Microcontrollers.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Eficiência dos diferentes tipos de lâmpadas	17
Figura 2 - SIMUC (Circuito de Controle)	19
Figura 3 - Rede-mesh	19
Figura 4 - Led Drive Moso (X6-060M120) 60W	20
Figura 5 - Projetor em Led.	20
Figura 6 - Tomada 07 pinos.....	20
Figura 7 - Curva fotométrica – Lente de 46 ópticas	21
Figura 8 - Central SIMCON	22
Figura 9 - Arquitetura SMART GRID.	24
Figura 10 - Diagrama de construção do projeto	26
Figura 11 - Diagrama de blocos do sistema	26
Figura 12 - Espectro do sinal amostrado para o caso $f_s < 2 f_m$	27
Figura 13 - Conversão analógica digital.....	28
Figura 14 - Circuito passa-baixa passivo.....	29
Figura 15 - Modulo ZMPT101B.	31
Figura 16 - Circuito ZMPT101B.	31
Figura 17 - Leitura para offset aplicando 0VAC	32
Figura 18 - Variável constante.....	32
Figura 19 - Calibração ADC – Tensão de entrada X Valor do ADC	33
Figura 20 - Coeficientes da regressão linear – ZMPT101B	33
Figura 21 - ACS721-5A	34
Figura 22 - Circuito ACS721-5A	35
Figura 23 - Leitura para offset aplicando 0VAC.....	36
Figura 24 - Variável constante do código.....	36
Figura 25 - Variável constante do código.....	37
Figura 26 - Coeficientes da regressão linear – ACS712-5	37
Figura 27 - Circuito integrado MCP3202.....	38
Figura 28 - Circuito eletrônico MCP3202.....	39
Figura 29 - Módulo Microcontrolador ESP32.....	40
Figura 30 - Circuito eletrônico ESP32	40
Figura 31 - Circuito dimerização PWM	41
Figura 32 - Output características 2N7000.....	42
Figura 33 - Circuito de alimentação AC.....	42
Figura 34 - Collector Saturation Region – Região de Saturação.....	43
Figura 35 - Electrical Characteristics – Características elétricas	44
Figura 36 - Arquitetura de rede Wi-Fi tradicional.....	45
Figura 37 - Arquitetura de rede ESP-MESH	45
Figura 38 - Circuito de leitura de luminosidade	46
Figura 39 - Exemplo para identificação	47
Figura 40 - Intensidade luminosa - 5 LUX.....	47
Figura 41 - Intensidade luminosa - 15 LUX.....	48
Figura 42 - Intensidade luminosa - 30 LUX.....	48

Figura 43 - Valores analógicos.....	49
Figura 44 - Circuito fonte de alimentação	50
Figura 45 - Circuito regulador +5V.....	50
Figura 46 - Circuito regulador +3V3.....	50
Figura 47 - Triângulo de potências.....	52
Figura 48 - Zero crossing detector (V)	53
Figura 49 - Zero crossing detector (I).....	53
Figura 50 - Fator de potência (FP).....	54
Figura 51 - Potência Efetiva ou Ativa (W).....	54
Figura 52 - Potência Reativa (Var).....	55
Figura 53 - Potência aparente (Va).....	55
Figura 54 - MH SD Card module	56
Figura 55 - Cartão SD.....	56
Figura 56 - DS3231 RTC	57
Figura 57 - Display LCD 20x4.....	58
Figura 58 - Interface WEB - Home	59
Figura 59 - Interface WEB - Configurações.....	60
Figura 60 - Interface de Acionamento e agendamento.....	60
Figura 61 - Sinal resultante do circuito de passagem por zeros	62
Figura 62 - Protótipo de Bancada (superior)	63
Figura 63 - Protótipo de Bancada	63
Figura 64 - 3D Circuito de Controle (superior).....	63
Figura 65 - 3D Circuito de Controle.....	63
Figura 66 - Protótipo, Central de Controle (superior).	64
Figura 67 - Protótipo, Central de Controle (M2M.	64
Figura 68 - Interface Web (Home)	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	Conversor Analógico/Digital.
AC	Corrente Alternada.
WEB	Teia ou Rede.
INGAN	Índio Gálio Nitrogênio.
AD	Analógico/Digital.
PASSIVO	Filtro eletrônico analógico composto por componentes passivos do tipo resistor e capacitor.
LED	Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz).
IV	Radiações eletromagnéticas com comprimento de onda entre 700 e 50.000 nm.
UV	Radiação ultravioleta, onda eletromagnética oriunda de raios solares.
GW	Giga Whats (1.000.000.000 whats).
Hz	Hertz – Unidade internacional de medidas para frequência.
Dimerização	Processo de controle ou efeito de dimerizar.
Quantização	Aproximação dos valores de amostras em valores discretos.
Fs	Frequência de Amostragem.
Fmax	Frequência máxima de amostragem.
Xc	Reatância Capacitiva.
F	Frequência Hz.
C	Capacitância.
Fc	Frequência de corte Hz.
R	Resistência.
ISM	Industrial, Scientific and Medical – Industria, Científica e Médica.
RF	Radio Frequency – Radio Frequência.
IP	Internet Protocol – Protocolo de Internet.
Ghz	Giga Hertz.
Síncrona	Simultânea e rápida.
Rede-mesh	Rede Teia.
CI	Circuito Integrado.
P	Potência watts.
VAC	Tensão AC - Alternating current.
IAC	Corrente AC – Alternating current.
SPI	Serial Peripheral Interface – Periférico de Interface Serial.

SPS	Sampling rate – Amostras por segundo.
IoT	Internet das Coisas.
SRAM	Static Random Access Memory – Memória Estática de Acesso Aleatório.
UART	Comunicação com dois fios(cabos) bidirecional.
I2C	Inter-Integrated Circuit – Intercircuito Integrado, comunicação com dois fios(cabos) bidirecional.
PWM	Pulse Width Modulation – Modulação de Largura de Pulso.
VGS	Tensão entre Gate e Source.
WLAN	Wireless Local-Area Network.
ADC	Conversor Analógico/Digital.
AC	Corrente Alternada.
WEB	Teia ou Rede.
INGAN	Índio Gálio Nitrogênio.
GSM	Global System for Mobile Communications.
FP	Fator de potencia.
SD	Secure Digital.
FAT16	<i>File Allocation Table 16bits</i> – Tabela de alocação de Arquivos de 16 bits.
FAT32	<i>File Allocation Table 32bits</i> – Tabela de alocação de Arquivos de 32 bits.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivos	15
1.1.1 Objetivos Específicos	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO.....	16
2.1 Primeiras luminárias públicas	16
2.2 Iluminação LED: inovação e tecnologia.....	16
2.3 Vantagens de projetores LED	17
2.4 Sistemas de tele gestão no mercado hoje.....	18
2.4.1 Circuito de controle	18
2.4.2 Circuito drive	19
2.4.3 Projetor LED.....	20
2.4.3.1 Fotometria	21
2.4.4 Central de controle.....	22
2.5 Controle e telegestão	23
2.5.1 Iluminação inteligente	23
2.5.2 Controle	23
2.5.3 Redes inteligentes	23
3 METODOLOGIA.....	25
3.1 Projeto conceitual.....	25
3.2 Circuito de controle.....	26
3.2.1 Frequência de amostragem	27
3.2.2 Filtro passa-baixa RC	29
3.2.3 Frequência de corte.....	30
3.2.4 Sensor de tensão CA.....	30
3.2.5 Sensor de corrente AC	33
3.2.6 Conversor ADC	37
3.2.7 Microcontrolador ESP32	39
3.2.8 Circuito PWM.....	41
3.2.9 Circuito de acionamento do Projetor LED	42
3.2.10 Transmissão de dados	44
3.2.10.1 Arquitetura de rede Wi-Fi tradicional	44
3.2.10.2 Arquitetura de rede ESP-MESH.....	45

3.2.11 Circuito de leitura de luminosidade	45
3.2.12 Fonte de alimentação	49
3.2.13 Consumo de energia	50
3.2.14 Fator de Potência	51
3.2.15 Potência ativa.....	54
3.2.16 Potência Reativa	54
3.2.17 Potência Aparente	55
3.3 Central de Controle.....	55
3.3.1 Modulo cartão SD.....	56
3.3.2 Cartão SD.....	56
3.3.3 Real timer clock.....	57
3.3.4 Display LCD.....	58
3.3.5 Plataforma WEB	58
3.3.5.1 HTML	61
3.3.5.2 CSS	61
3.3.5.3 JavaScript	61
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	62
4.1 Circuito de Controle.....	63
4.2 Central de Controle.....	64
4.3 Custos de protótipo em bancada.....	65
4.4 Perspectivas futuras	66
REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

No ano de 1763 na cidade de Rio de Janeiro existiam apenas 20 lampadários que faziam a iluminação da cidade, estas consumiam óleo extraído de baleias para que a iluminação fosse feita nos locais instalados. No ano de 1963 o primeiro LED foi desenvolvido por Nick Holonyak somente na cor vermelha e com baixa intensidade luminosa, sendo útil apenas para indicações de estado, ou seja, televisores, rádios, apenas para indicar se o equipamento estava ligado ou não. Já nos anos 80 com a introdução de novas tecnologias os LEDs na cor vermelha e âmbar conseguiram atingir nível de intensidade luminosa que permitiram acelerar o processo de substituição de lâmpadas principalmente em indústrias. Entretanto, somente nos anos 90 com a tecnologia INGAN foi possível obter-se LEDs com comprimento de ondas menores, nas cores azul, verde e ciano, tecnologia esta que proporcionou a obtenção do LED branco, cobrindo assim todos os espectros de cores (DE GÓIS, 2021).

A partir de então as primeiras luminárias com a tecnologia em LED foram aos poucos surgindo e sendo instaladas em grandes cidades, visando uma vida útil 25 vezes maior que uma lâmpada incandescente e com a eficiência de 90%, sendo capaz de converter a energia elétrica em luz com uma pequena perda energética. Possuem resistência ao impacto e vibrações por se tratar de uma tecnologia de estado sólido, dispensando filamentos ou vidro.

Não utilizam mercúrio ou qualquer outra substância prejudicial a natureza e apesar de emitirem calor já existem dissipadores acoplados que fazem o papel de troca de calor embutidos nas lâmpadas ou projetores (IPMINAS, 2021).

Com esse avanço de tecnologia foi surgindo então a necessidade de um controle de iluminação, gerenciamento de dados, visando sempre a otimização do sistema e a comodidade. Algumas empresas como a KDL Tecnologia em Iluminação desenvolve o respectivo sistema, mas um dos grandes problemas é o custo para adquirir algo deste porte.

Com o sistema de tele gestão é possível coletar e transmitir dados de sensores em tempo real para uma central de controle, onde as informações serão processadas e analisadas para assim tomar decisões. Um dos maiores benefícios desse sistema é a eficiência operacional, redução de custos de manutenção. Também pode ajudar a reduzir o impacto ambiental, permitindo o uso mais eficiente da energia elétrica (KDL Sistemas de Iluminação, 2023).

1.1 Objetivos

Este trabalho tem o objetivo projetar um sistema de tele gestão microcontrolado de baixo custo para ambiente privado, abrangendo a programação em linguagem C++, plataforma WEB para monitoramento de dados e placa de circuito impresso para implementação do sistema.

1.1.1 Objetivos Específicos

Dos objetivos específicos a serem cumpridos, destacam-se:

- Definir a topologia do sistema de tele gestão;
- Analisar protocolo de comunicação;
- Elaborar *firmware* utilizando a plataforma Arduino IDE;
- Realizar simulações computacionais a fim de verificar parâmetros de funcionamento;
- Elaborar testes em bancada com placas de desenvolvimento (módulos);
- Criar plataforma de acesso WEB ao sistema;
- Estudo e análise de grandezas elétricas;
- Elaborar testes em bancada experimental com placas de desenvolvimento;
- Análise de resultados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será feita a apresentação da fundamentação teórica sobre as primeiras luminárias de classificação pública, bem como seu rendimento, eficiência e vida útil, onde será feita a comparação com as luminárias de linha pública fabricadas atualmente com a tecnologia em LED. Logo após abordar o sistema de tele gestão e suas funcionalidades bem como a apresentação dos sensores e sistemas abordados neste projeto, principalmente a arquitetura de controle, leitura de grandezas elétricas e comunicação sem fio WiFi.

2.1 Primeiras luminárias públicas

As primeiras instalações permanentes de iluminação, com lâmpadas elétricas, ocorreram na Central do Brasil, na capital fluminense, em 1879. Nesta época então imperador Dom Pedro II começou a experimentar as invenções com a energia elétrica do norte-americano Thomas Edison, conhecido como o pai da lâmpada (DE GÓIS, 2011).

Entretanto foi no interior dos estados paulistas e cariocas que a iluminação chegou primeiro. Campos, no Rio de Janeiro, foi a primeira cidade, em 1883. Depois foi a vez de Rio Claro, em São Paulo. Poucos anos depois no fim do século XIX, a iluminação pública por meio de eletricidade já estava presente em boa parte do mundo e em muitas cidades do Brasil urbano também, mas a grande inovação, com a chegada da iluminação LED, estava prestes a acontecer (IPMINAS, 2021).

2.2 Iluminação LED: inovação e tecnologia

Os séculos XX e XXI são marcados por muitas mudanças e inovação na iluminação pública das cidades. Até os anos 1960, a iluminação de rua era utilizada por meio de lâmpadas incandescentes e fluorescentes.

Depois, as lâmpadas que funcionam a base de vapor de mercúrio, com iluminação branca, foram ganhando espaço nas ruas e avenidas das cidades. Poucos anos depois, na década de 1990, as lâmpadas de vapor de sódio, que emitem uma cor mais amarelada, tomaram conta de iluminação das luminárias e postes, e as inovações não pararam (IPMINAS, 2021).

Ao contrária da tecnologia LED, um dos problemas das lâmpadas de sódio são seus componentes tóxicos e perigosos, que emitem metais pesados na atmosfera e podem contaminar o solo.

Enfim, no início dos anos 2000, essas lâmpadas começaram a ser substituídas pelas vapor metálico e, finalmente, pela moderna e ampla utilização, atualmente, tecnologia LED (IPMINAS, 2021).

2.3 Vantagens de projetores LED

Diferentemente das lâmpadas utilizadas no século passado, com metais pesados, como as lâmpadas de vapor de sódio, mercúrio ou vapor metálico, a tecnologia LED não é prejudicial para o meio ambiente.

Outras vantagens é que as lâmpadas LED têm vida útil muito maior e requerem menos manutenção. Além disso, é bastante econômica no uso de eletricidade, o que significa economia para o consumidor e para os cofres públicos.

Além disso, a tecnologia em LED não emite raios IV e UV, não atrai insetos, seu acendimento é imediato e apresenta flexibilidade de usos, formas, tamanhos e designer (IPMINAS, 2021).

Figura 1 - Eficiência dos diferentes tipos de lâmpadas

					
		Incandescentes	Halógenas	Fluorescentes (CFLs)	LEDs
Consumo		Alto	Alto	Baixo	Baixíssimo
Vida útil (horas)		1.000	2.000	6.000	25.000
Eficiência luminosa	1600	100 w	75 w	20 w	20 w
	1100	75 w	55 w	15 w	15 w
Quantidade de luz que a lâmpada produz por segundo, em lumens.	800	60 w	45 w	12 w	12 w
	450	40 w	30 w	8 w	8 w
	210	25 w	19 w	5 w	5 w
		Potência Quanto a lâmpada consome de energia para “produzir” luz, medida em Watts (w)			

Fonte: Abreu (2017)

2.4 Sistemas de tele gestão no mercado hoje

A evolução dos sistemas de iluminação pública, em termos de eficiência energética tem expressivos resultados com a inserção da tecnologia LED. Vários trabalhos abordam a evolução do LED para ser usado na iluminação pública.

A tecnologia LED apresenta diversas vantagens comparadas as outras fontes luminosas para vias públicas. Destacam-se as principais, como melhor índice de reprodução de cores, maior vida útil, miniaturização do conjunto, redução de custos com manutenção, maior eficiência, acionamento instantâneo e muitas outras características que tornam a tecnologia LED muito atraente para iluminação pública (DE CAMPOS 2014).

Os sistemas de tele gestão oferecem uma gama de inovação e benefícios no gerenciamento da iluminação, destacando (DE CAMPOS, 2014):

- Redução na emissão de gases de efeito estufa;
- Melhoria na confiabilidade e segurança;
- Melhora na manutenção e reduz o seu custo;
- Melhora a “imagem verde” da cidade atraindo novos investidores, empresas e moradores.

Com todo esse avanço tecnológico, tornou-se extremamente necessário extrair o máximo possível desta tecnologia. Com o desenvolvimento de sistemas de tele gestão possibilitou esse avanço em diversas áreas, mas principalmente no setor de iluminação. O sistema de tele gestão para iluminação é constituído pelas características descritas nos itens 2.4.1, 2.4.2, 2.4.3 e 2.4.4.

2.4.1 Circuito de controle

Circuito de controle é responsável pelo monitoramento da luminosidade do ambiente, acionamento da carga (*drive*), envio do sinal de dimerização para o *drive*, leitura e transmissão de dados referente a grandezas elétricas utilizando protocolo de comunicação Wi-Fi. Cada ponto do circuito ilustrado na Figura 2, se comunicam entre si de forma síncrona utilizando uma arquitetura de *rede-mesh* ilustrado na Figura 3, onde a tecnologia permite criar um sistema Wi-Fi formado por dois ou mais dispositivos, também chamado de nós, que se comunicam entre si para formar uma rede única de comunicação.

Esta tecnologia é utilizada a muitos anos em ambientes específicos, como bases militares e grandes corporações especialmente em países da Ásia e Europa, além dos Estados Unidos. O próprio nome já ajuda a entender como este sistema funciona, em inglês a palavra *mesh* significa malha, como se cada nó, ou ponto de contato quando conectados uns aos outros, formam uma malha que cobre todo o ambiente, distribuindo o sinal Wi-Fi.

Figura 2 - SIMUC (Circuito de Controle)



Fonte: (KDL, 2023).

Figura 3 - Rede-mesh



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

2.4.2 Circuito drive

O dispositivo ou circuito capaz de acionar o LED, ou seja, realizar o controle do acionamento ou dimerização para emissão de luz é chamado de *driver* ilustrado na figura 4. O mesmo tem como objetivo o acionamento da carga instalada, um *drive* de LED é um circuito eletrônico que converte a alimentação de entrada em uma fonte de corrente contínua, uma fonte no qual a corrente permanece constante apesar das flutuações de tensão. Um *drive* de LED de boa qualidade, protege os LED's de flutuações normais da rede bem como de sobre tensões e picos de tensão, possui 02 cabos de leitura de sinal de tensão (DIM+ e DIM-) DC de 0 à 10Vdc. Essa faixa de leitura foi projetada para aceitar o acionamento com diversos modelos de microcontroladores, sendo que 0Vdc o drive identifica que o mesmo deve estar desligado, não gerando corrente da saída para o LED, se o sinal estiver na faixa de 10Vdc significa que o *drive* vai liberar a máxima potência possível.

Figura 4 - Led Drive Moso (X6-060M120) 60W



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

2.4.3 Projetor LED

A luminária a ser controlada e monitorada é do tipo projetor em LED, significa que, possuem como fonte luminosa diodo emissor de luz (LED) e sua construção em alumínio injetado em alta pressão e por sua vez muito compactas ilustrado na Figura 5, contendo diversas classificações fotométrica possuindo mais detalhes no item 2.4.3.1. A grande maioria de projetores para iluminação pública já possuem a aceitação da tecnologia de tele gestão por possuírem em sua construção tomada 07 pinos para conexão do sistema, ilustrada na figura 6, possuindo características específicas (KDL Sistemas de Iluminação, 2023):

- 03 cabos de carga nas cores branco, preto e vermelho que são comuns em outros modelos deste produto;
- 04 cabos de comunicação, sendo 02 para dimerização (DIM+ e DIM-) utilizado pelo sistema para dimerização do drive e 02 cabos auxiliares para eventuais demandas de controle.

Figura 5 - Projetor em Led



Fonte: ESB LIGHT (2023)

Figura 6 - Tomada 07 pinos



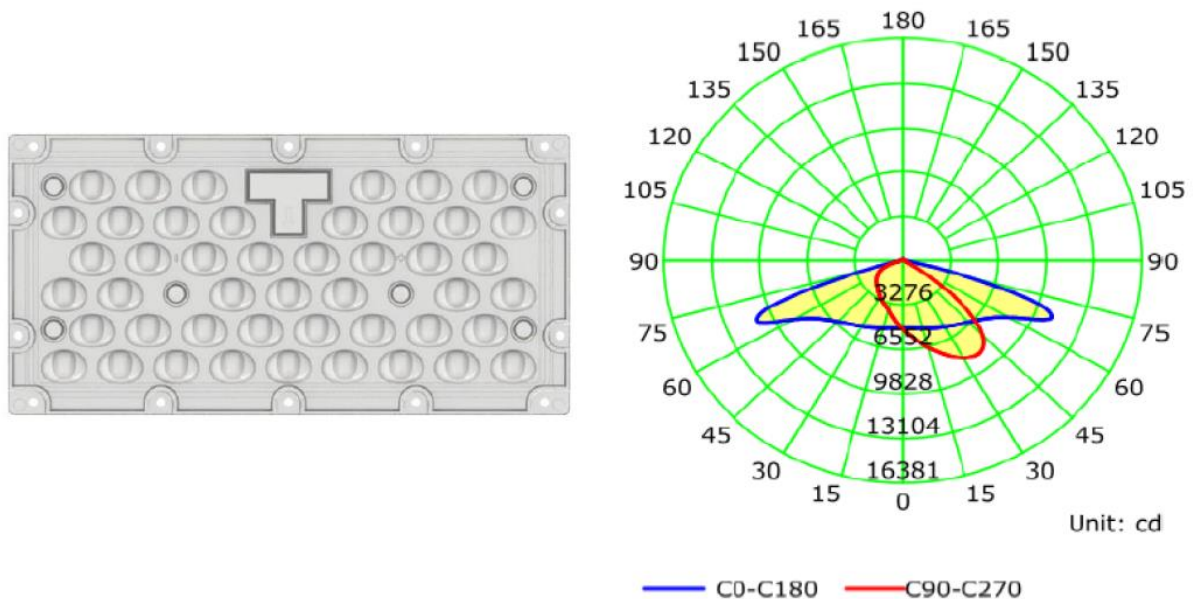
Fonte: ORBLIGHT (2023)

2.4.3.1 Fotometria

A fotometria em luminárias em Led perante a ABNT NBR 5101 (2018) é um processo de medição e análise de distribuição da luz produzida pela luminária. É de suma importância para avaliar a quantidade e a qualidade da luz produzida, bem como seu direcionamento e uniformidade ilustrado na Figura 7. Existem diversos parâmetros e medidas que podem ser obtidos através da fotometria de luminária em LED, alguns dos mais comuns são (VENDRUSCOLO, 2023):

- Intensidade luminosa é uma medida da quantidade de luz emitida ou refletida por uma fonte luminosa em uma determinada direção. Medido em candelas (cd) ou lumens (lm) por unidade de ângulo, fornece também informações sobre o brilho relativo da luminária em diferentes direções;
- Distribuição de luz, refere-se à forma de como a luz é distribuída pela luminária em diferentes direções, podendo ser medido em termos de curvas fotométricas, que mostra a intensidade luminosa em diferentes ângulos de omissão;
- Fluxo luminoso, é a quantidade total de luz emitida por uma fonte luminosa sendo o parâmetro mais importante para o desenvolvimento de um projeto luminotécnico;
- Eficiência energética, refere-se à quantidade de luz emitida pela luminária em relação a quantidade de energia consumida. É expressa pela relação entre lumens emitidos e watts de energia consumido (lm/W).

Figura 7 - Curva fotométrica – Lente de 46 ópticas



Fonte: ORBLIGHT (2023)

2.4.4 Central de controle

Para que todos esses periféricos se comuniquem com a internet em tempo real, faz-se necessário de uma Central de controle ilustrada pela figura 8, onde a mesma possui uma tecnologia mais avançada complementando o circuito de controle que fica alocado internamente em um relé fotoelétrico SIMUC como demonstrado na figura 2, devido à falta de espaço físico.

Sistemas mais modernos além de possuir a tecnologia Wi-Fi contam também a tecnologia GSM, possibilitando a conexão com a internet via 4G. É a central de gestão de dados que permite o acionamento individual dos pontos de iluminação e por estar diretamente conectada aos demais circuitos de controle SIMUC recebe todas as informações de consumo de energia por ponto de iluminação ou até possíveis falhas ou problemas na rede, como mal funcionamento dos projetores instalados juntamente com a data e hora do evento.

Todos esses dados são armazenados em um banco de dados que pode ser acessado remotamente pelo gestor do sistema, em alguns modelos podendo ter a informação até da localização geográfica por ponto instalado.

A tecnologia utiliza a rede de área local sem fio (*wireless*) WLAN ou WiFi. É o mais popular entre os padrões sem fio desenvolvido pela Wi-Fi *Alliance* de acordo com os padrões IEEE 802.22 e permite trabalhar na banda ISM de 2.4GHz. Ela emprega DSSS, técnica de modulação com taxas de dados de até 11 Mbps para ambientes internos e até 1Mbps para ambientes ao ar livre.

Figura 8 - Central SIMCON



Fonte: KDL Sistemas de Iluminação (2023)

2.5 Controle e telegestão

2.5.1 Iluminação inteligente

O principal intuito da iluminação externa é a qualidade de vida humana para o período noturno. Entende-se sobre qualidade de vida a acessibilidade para atividades sociais, prevenção criminal, segurança no tráfego. Por outro lado, iluminação externa está associada a economia de energia e relacionada a questões ambientais. Em particular, iluminação consome cerca de ~3% da energia elétrica total do país o equivalente a 2,2GW (CREA-PR, 2009).

2.5.2 Controle

Controle é um termo geral para uma ampla gama de métodos, protocolos e dispositivos para operar equipamentos de iluminação LED, as formas mais simples de controle são “ON/OFF” e dimerização. O dispositivo chamado de *drive* normalmente aceitam a entrada de controles especiais, sinais de tensão DC de 0 à 10VDC.

O controle digital permite o controle de dispositivos individuais de iluminação através de comunicação direta entre estes dispositivos, proporcionando métodos avançados de controle e diversos níveis de controle de iluminação, tais como interface de usuário para monitoramento de dados e ajustes do sistema ou até mesmo acionamento instantâneo de algum ponto específico.

Os princípios básicos de controle inteligente envolvem a dimerização individual da iluminação, que é implementada por linhas de alimentação de duas vias e/ou com comunicação sem fio entre as luminárias e a central de gestão de dados, sensores de tráfego, medidor de iluminância e estação meteorológica.

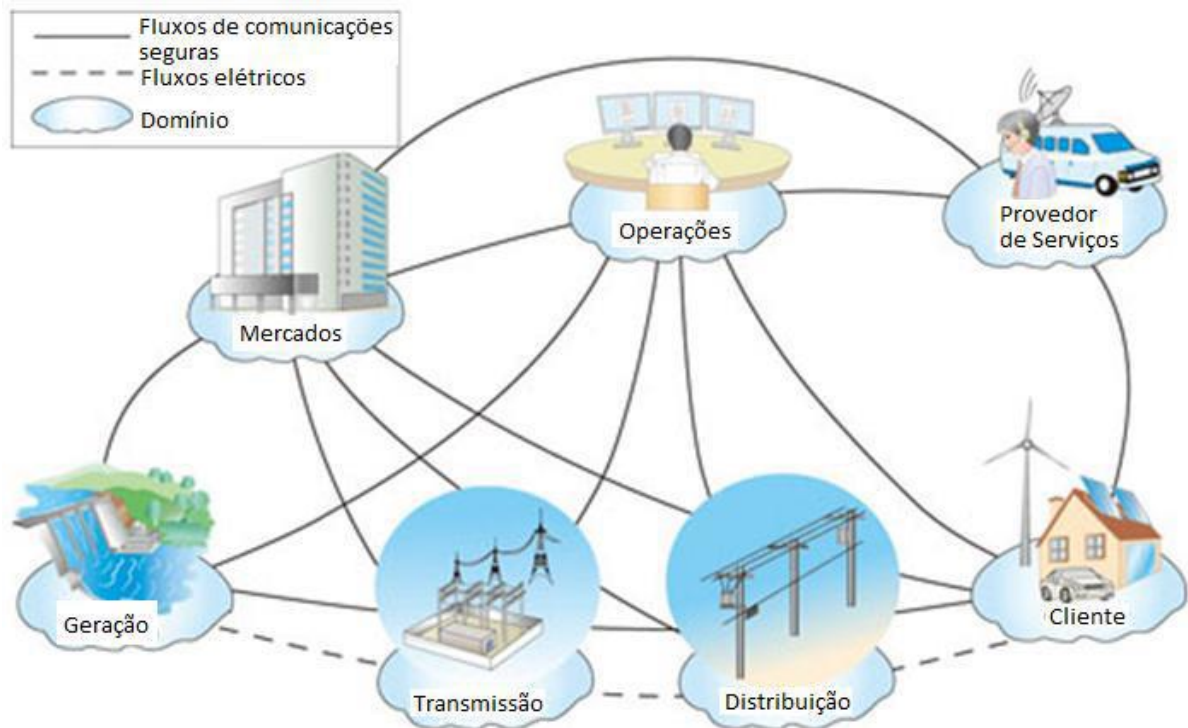
2.5.3 Redes inteligentes

A definição de Redes Inteligentes de monitoramento, também denominada de *Smart Grid* tem variações, mas o aspecto comum é a forma de comunicação bidirecional ou de duas vias juntas com o fluxo de energia entre as duas entidades envolvidas, ou seja, do consumidor a Rede. As principais características da rede *Smart Grid* envolvem monitoramento, proteção, automação, otimização, integração e segurança de fluxo de potência dos geradores para os

aparelhos de usuários final, isso eventualmente resulta em conservação de energia e sua utilização eficiente tanto para aplicação de energia quanto para infraestrutura (USMAN, 2013).

Diferentes métodos conceituais e arquitetura tem sido proposta para implementação de redes inteligentes. Um método arquitetônico conceitual é proposto pelo Instituto Nacional de Normas e Tecnologia (*National Institute of Standards and Technology*). O objetivo principal desta arquitetura é para ser usado como um guia para a descrição, discussão, análise e desenvolvimento de arquitetura de redes inteligentes e padrões. O alto nível de abstração é demonstrado na figura 9 (USMAN, 2013).

Figura 9 - Arquitetura SMART GRID.



Fonte: USMAN (2013)

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho foi baseada em livros, artigos digitais e legislações normatizadoras. Na etapa inicial foi realizada uma revisão bibliográfica sobre a iluminação pública e sistemas de tele gestão.

Com o avanço da tecnologia cada vez mais luminárias de LED estão sendo utilizadas no mercado de iluminação pública devido as suas vantagens em relação às lâmpadas de descarga, isso fez com que houvesse um aumento de demanda muito grande neste mercado motivando empresas a desenvolverem novos produtos e componentes e consequentemente desenvolvendo sistemas para extrair o máximo proveito que esta tecnologia oferece, trazendo comodidade, praticidade e principalmente segurança, proporcionando uma iluminação de qualidade em vias públicas, rurais e urbanas.

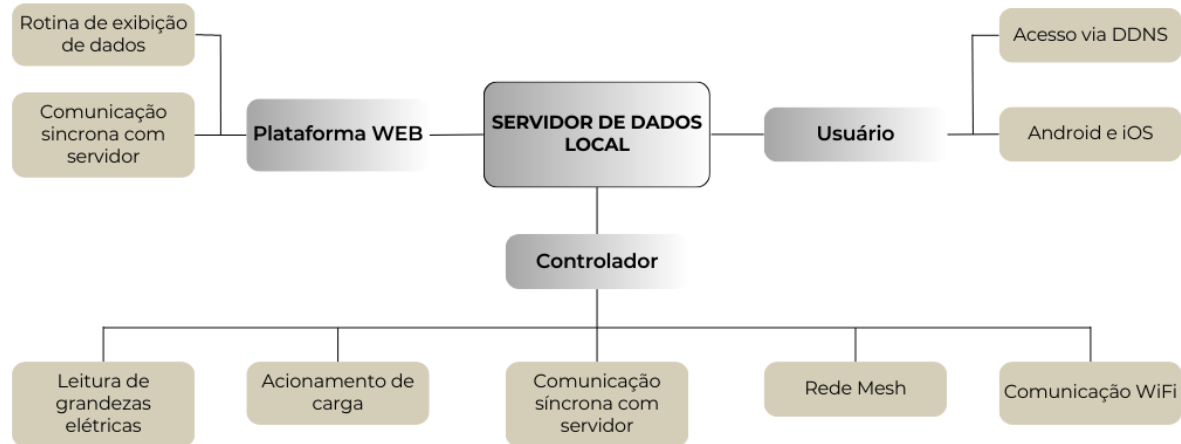
3.1 Projeto conceitual

Nesta etapa será abordado o conceito e premissas básicas do projeto, conceitos esse explorados e refinados antes da definição do projeto por completo. Todo e qualquer dispositivo eletrônico desenvolvido passa por uma análise preliminar, a fim de identificar possíveis erros ou problemas em sua construção. Este trabalho não é e nem será diferente.

Com a evolução da iluminação em led, faz-se necessário dispositivos de controle que possibilitam tirar o maior rendimento e eficiência que essa tecnologia oferece, além de trazer comodidade e agilidade quando se trata de manutenção tornando o processo rápido e prático, atraente em diversas aplicações, não só em ambientes privados, mas também em áreas públicas.

Partindo do princípio de que o projeto em questão exige algumas leituras de grandezas elétricas, comunicação sem fio entre dispositivos, cálculos precisos, sistema de monitoramento WEB e por fim confiabilidade e estabilidade, foi desenvolvido diagrama ilustrado pela Figura 10 para o melhor entendimento do processo.

Figura 10 - Diagrama de construção do projeto



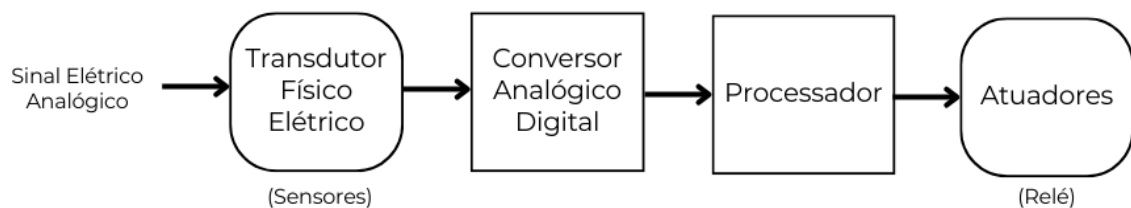
Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

3.2 Circuito de controle

Um “circuito de controle” é um sistema eletrônico projetado para regular e controlar o funcionamento de outros componentes eletrônicos ou sistema em um dispositivo. Esses circuitos são projetados e usados em uma ampla variedade de aplicações, desde sistemas simples até sistemas mais complexos de controle industrial. O objetivo principal é monitorar e tomar decisões com bases em entradas de sinais ou dados recebidos e gerar as saídas necessárias correspondentes para manter o funcionamento desejado do sistema, demonstrado em forma de diagrama de blocos na Figura 11. Pode assumir diferentes formas, desde circuitos analógicos até circuitos digitais mais avançados. Um sistema de controle típico consiste nos seguintes componentes:

- Sensor, para coleta de dados;
- Conversor ADC, analógico digital;
- Processador ou microcontrolador para gestão dos dados e tomada de decisões;
- Atuadores, sendo mais comum a utilização de reles mecânicos.

Figura 11 - Diagrama de blocos do sistema



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

3.2.1 Frequência de amostragem

Como o objetivo é monitorar a rede elétrica AC, foi projetado um sistema de leitura analógico devido ao formato do sinal a ser analisado, formato esse adotado em todo o país com a frequência de 60Hz. No Brasil a rede elétrica assume este parâmetro, isso significa que a mesma possui um período(T) de $\sim 16,66 \times 10^{-3}$ segundos por ciclo conforme equação 1.

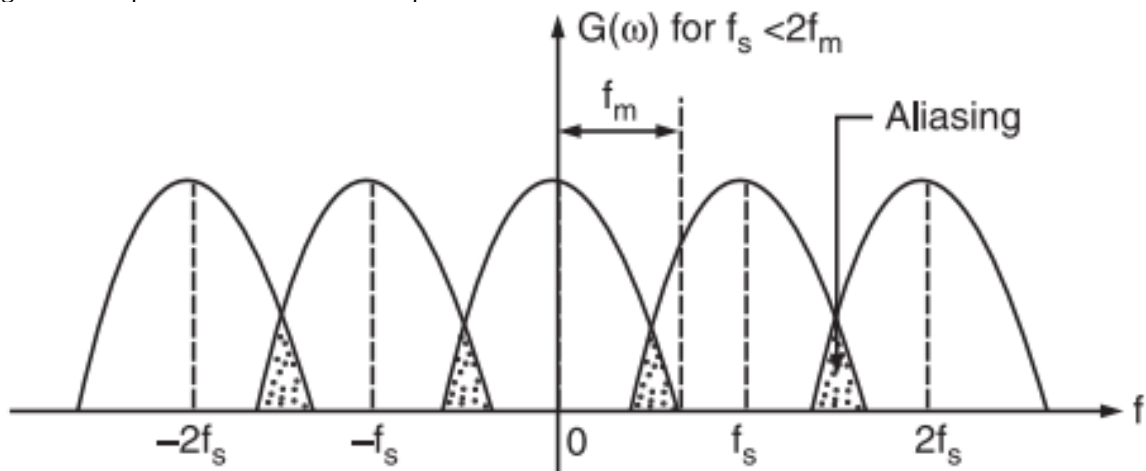
$$T = \frac{1}{f} \quad (1)$$

Segundo Teorema de amostragem de Nyquist-Shannon, um sinal pode ser perfeitamente reconstruído se a frequência de amostragem for maior que 2 vezes a frequência do sinal, ilustrado pela equação 2.

$$f_m \leq \frac{f_s}{2} \quad (2)$$

Caso essa regra não for obedecida e consequentemente o período de amostragem, pode-se enfrentar um problema chamado *Aliasing*, onde as amostras irão se sobrepor, tal que a replicação dos espectros vai resultar na sobreposição dos espectros consecutivos, os ciclos sucessivos do espectro $G(\omega)$ do sinal amostrado $g(t)$ se sobrepõem como ilustrado na Figura 12.

Figura 12 - Espectro do sinal amostrado para o caso $f_s < 2f_m$



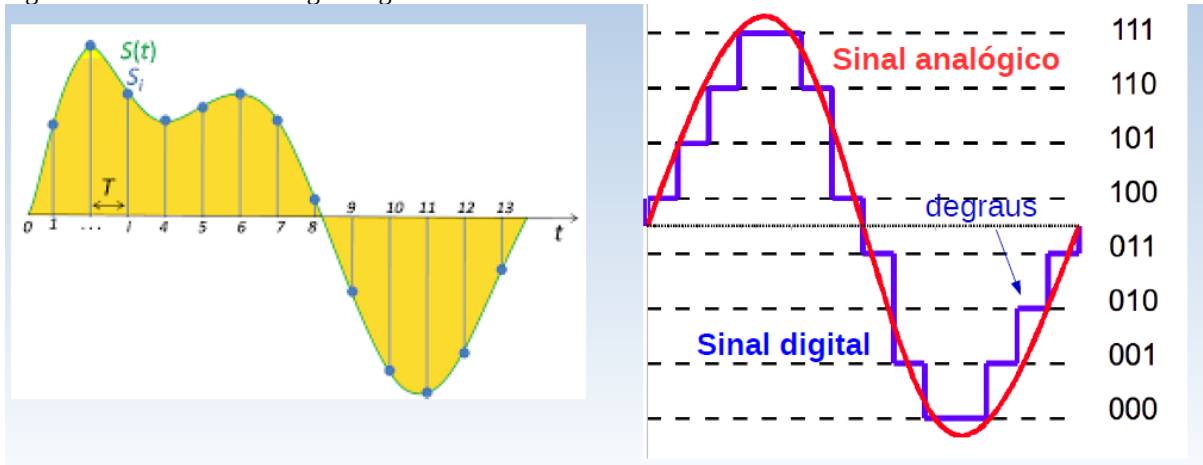
Fonte: POSTO ELETRONICO (2023)

Portanto, o sinal é subamostrado neste caso ($f_s < 2f_m$) e alguma quantia de *aliasing* é produzida neste processo de subamostragem. De fato, o *aliasing* é um fenômeno no qual um componente de alta frequência no espectro de frequência do sinal assume a identidade de um componente de frequência mais baixa no espectro do sinal amostrado.

Devido ao fenômeno de *aliasing*, não é possível recuperar o sinal original $x(t)$ do sinal de amostrado $g(t)$ por filtragem passa-baixa, pois os componentes espectrais nas regiões de sobreposição causam um sinal distorcido. Como qualquer sinal de informação possui um grande número de frequências o mesmo deve passar primeiramente por um filtro passa-baixa, este filtro bloqueia todas as frequências que estão acima de f_m Hz.

O sistema em questão deve ser projetado de forma que consiga o maior número de amostragens do sinal analógico demonstrado pela Figura 13 e por fim executar uma quantização dos valores das amostras em valores discretos representáveis em sinal digital. Por tanto, podemos adotar a equação 3 para calcular o número de amostras do sinal.

Figura 13 - Conversão analógica digital



Fonte: POSTO ELETRONICO (2023)

$$x[n] = x(n * T) \quad (3)$$

Para definirmos as amostras do sinal de tempo contínuo que vão formar o sinal de tempo discreto, podemos utilizar $x(t)$ por um trem de impulsos periódico que será a função de amostragem do sistema, função esta demonstrada pela equação 4.

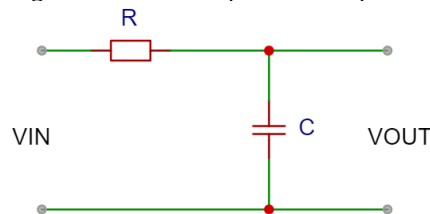
$$p(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT) \quad (4)$$

3.2.2 Filtro passa-baixa RC

Os filtros passivos passa-baixa são circuitos que permitem a passagem de sinais de baixa frequência e reduz a intensidade de sinais de alta frequência, ou seja, a partir de um sinal de referência ele permite que as frequências mais baixas que ela passe livremente a as frequências mais altas sejam atenuadas.

Os filtros passivos passa-baixa são compostos por uma resistência e um capacitor, que são conectados em série. O sinal de saída já filtrado fica em paralelo com o capacitor, como um divisor de tensão demonstrado na Figura 14.

Figura 14 - Circuito passa-baixa passivo



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Com a fórmula da reatância capacitiva da equação 5 e considerando o valor da capacitância constante é o suficiente para compreender o funcionamento do filtro passa-baixa.

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} \quad (5)$$

A partir da equação 5 pode-se definir que se o valor da frequência for baixo, a reatância capacitiva será alta, ou seja, sinais de baixa frequência o capacitor tende a aumentar sua reatância capacitiva e bloqueá-lo, e sinais de alta frequência o capacitor tende a baixar sua reatância capacitiva e permitir que o sinal passe. Se uma carga for ligada em paralelo com o capacitor os sinais de alta frequência passarão pelo capacitor e os de baixa frequência passarão pela carga, caracterizando um circuito passa-baixa.

Logo, estipulamos um valor para o capacitor utilizando valores comerciais para que possamos calcular o valor do resistor do filtro, esta técnica é a mais usual, pois os valores de resistores possuem um gama maior comparado a de capacitores. O mesmo circuito pode ser adotado tanto para leitura de corrente com ACS712 quando para leitura de tensão com o ZMPT101B pelo fato de que o objetivo é filtrar a mesma faixa de frequência.

3.2.3 Frequência de corte

Podemos observar que apenas com o capacitor é possível cortar os sinais de maior frequência e deixar passar os de menor frequência, mas é necessário definir a frequência de corte do filtro demonstrado pela equação 6. Para isso faz-se necessário o uso do resistor, sem ele não seria possível selecionar o maior valor de frequência permitido passar sem corte.

$$F_c = \frac{1}{2\pi R_c} \quad (6)$$

A frequência de corte é definida também com a relação do ponto em que o sinal sofre uma atenuação, sendo que o valor desta atenuação é aproximadamente 30%, ou seja, o sinal de saída possui aproximadamente 70% da intensidade do sinal de entrada. O resistor tem uma função muito importante no circuito pois estes valores não são aleatórios. Obtemos estes valores de atenuação quando a reatância capacitiva é igual a resistência, isto é, quando eles entram em ressonância.

3.2.4 Sensor de tensão CA

Para obtenção de “valores” de tensão CA oriundos da rede elétrica, faz-se necessário a utilização de alguns sensores específicos ou circuitos de grande precisão. Sensor de leitura escolhido para aplicação é o ZMPT101B demonstrado pela Figura 15, este sensor é um módulo muito popular usado para medir tensão CA. É comumente utilizado em projetos baseados em microcontroladores e pode ser facilmente integrado em várias aplicações de monitoramento da rede elétrica.

O módulo ZMPT101B foi projetado para medir tensão CA na faixa de 0 a 255V. Ele fornece um método não invasivo de detecção de tensão, o que significa que pode medir a tensão sem a necessidade de contato elétrico direto ou interrupção do circuito.

Figura 15 - Módulo ZMPT101B.

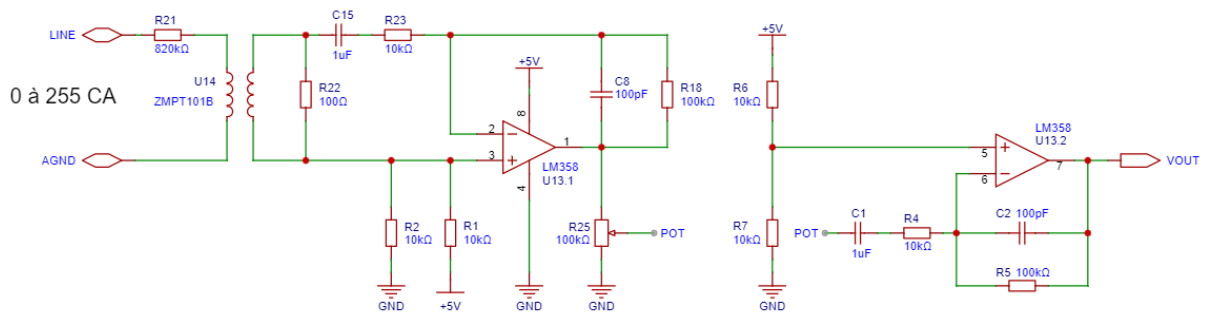


Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

O módulo consiste em um pequeno transformador de 1000:1000 e circuitos associados que reduzem a tensão de entrada para um nível adequado para medição. Geralmente possui um divisor de tensão embutido para reduzir a tensão medida para uma faixa compatível com microcontroladores ou conversores analógicos-digitais (ADCs).

Para a implementação do circuito ZMPT101B, desenvolveu o circuito utilizando o software EasyEda apresentado na figura 16, no esquema elétrico pode-se observar que o ZMPT101B age como um isolador entre a rede e o circuito de medição. O sinal detectado é da tensão induzida sobre o resistor R22, capturado por um amplificador de diferença com ganho 10, o sinal resultante é aplicado em um divisor de tensão formado pelo trimpot R25 e em seguida, aplicado em outra etapa amplificadora de mesmo nível de ganho.

Figura 16 - Circuito ZMPT101B.



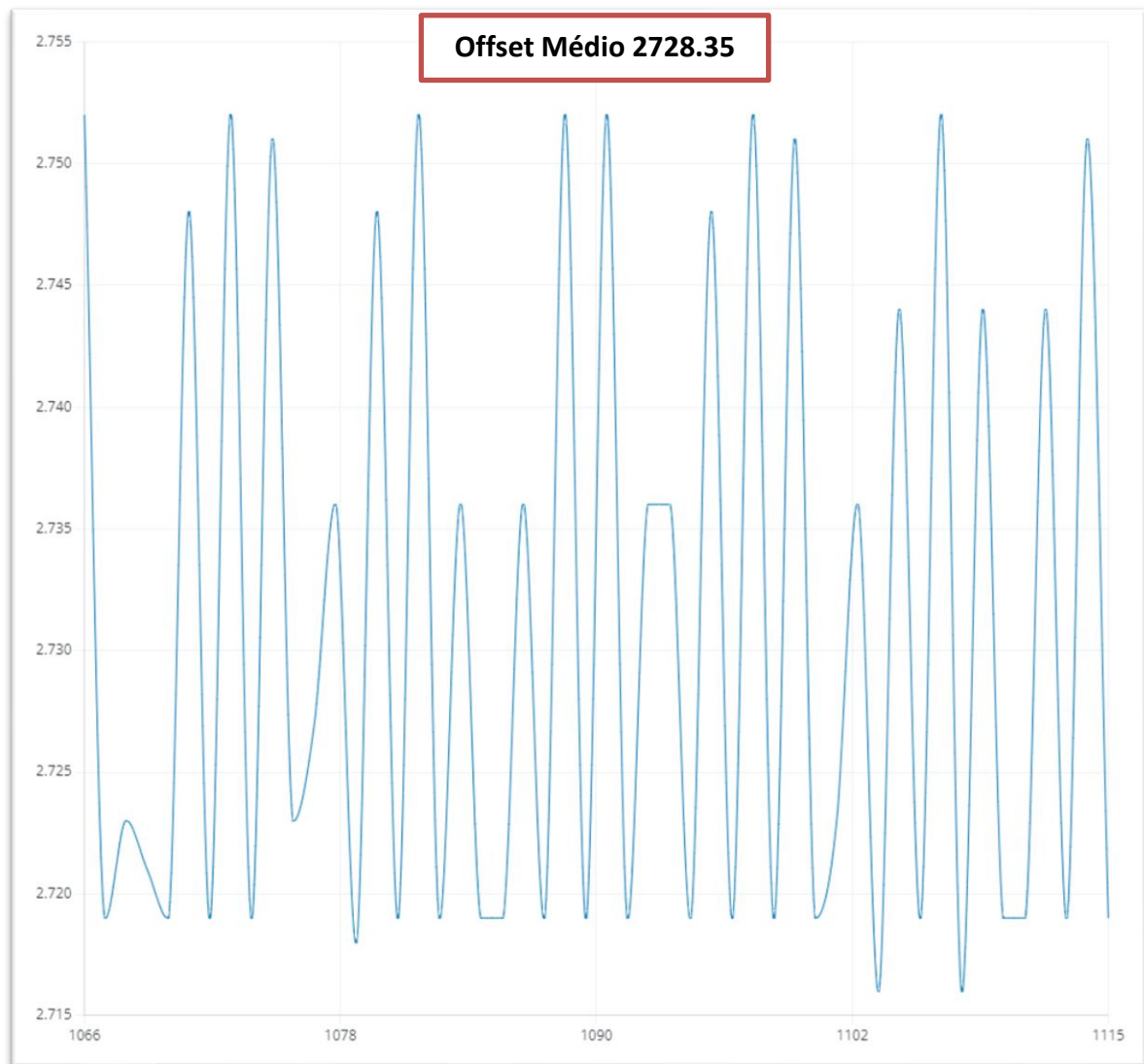
Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Para efetuar a calibração do sensor de tensão, deve-se recordar que sua saída contém um *offset* da metade da tensão de alimentação como mostra a equação 7. Esta tensão de *offset* produzirá um valor de *offset* na leitura ADC. Para determiná-la executou-se a leitura aplicando 0VAC no sensor.

$$V_{out} = \frac{V_{cc}}{2} \quad (7)$$

A Figura 17, mostra dados capturados via serial com auxílio da plataforma Arduino IDE e o valor médio obtido para o código de *offset* do sensor de tensão ZMPT101B, este valor será importante para a conversão em valores de tensão e será utilizado como uma constante no código fonte de captura, como mostra a Figura 18.

Figura 17 - Leitura para offset aplicando 0VAC



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Figura 18 - Variável constante

```
// Variável de offset do sensor de Tensão (determinados através de capturas)
const double offsetVCA = 2728.35;
```

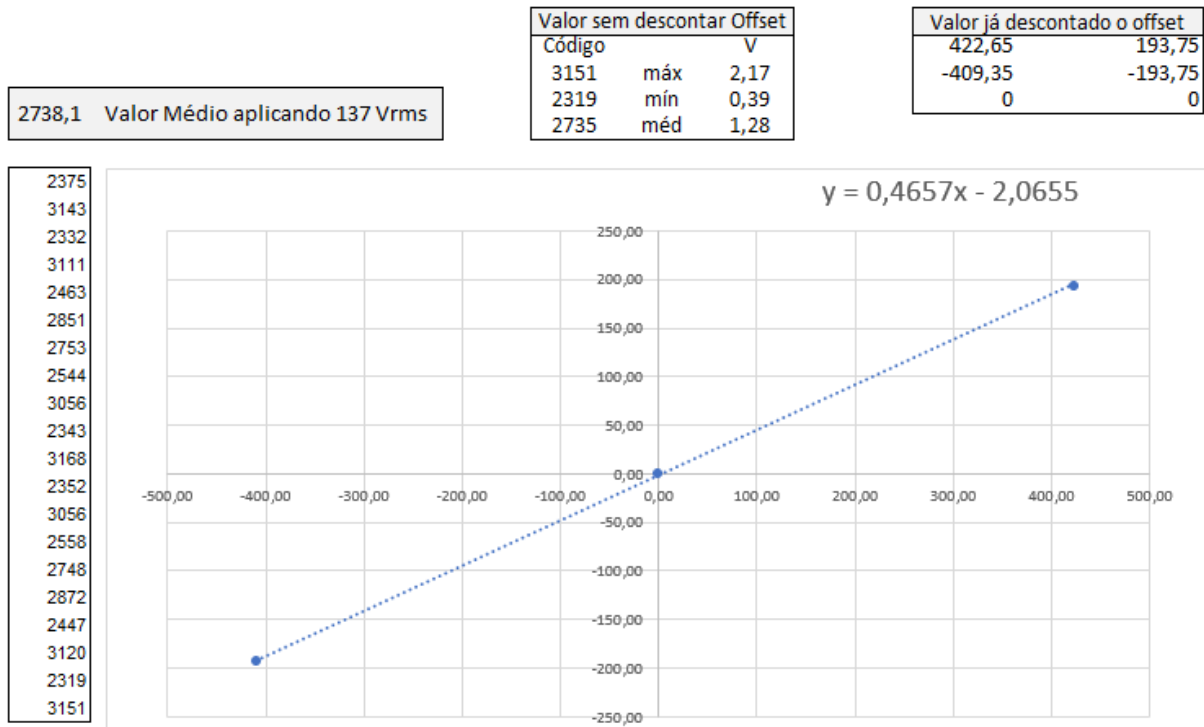
Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Uma vez determinado o *offset*, é aplicada uma tensão senoidal conhecida e através desta tensão comparar os valores obtidos na saída do sensor. Nesta situação com o auxílio de um

Variac, aplicando-se uma tensão de 137Vrms, que produzira um pico positivo de +193,7V e -193,7V.

Capturados os valores de máximo e mínimo desconsiderando os picos causados por eventuais ruídos, pode-se obter uma relação direta entre os valores ADC e os valores instantâneos, como mostra a Figura 19.

Figura 19 - Calibração ADC – Tensão de entrada X Valor do ADC



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Logo, usamos a função da reta de regressão representada na Figura 19, seus coeficientes angular e linear (A e B) são utilizados no código fonte como mostra a Figura 20.

Figura 20 - Coeficientes da regressão linear – ZMPT101B

```
// Variaveis de coeficiente das regressoes lineares -----
const float coefA_VAC = 0.4657;
const float coefB_VAC = 2.0655;
```

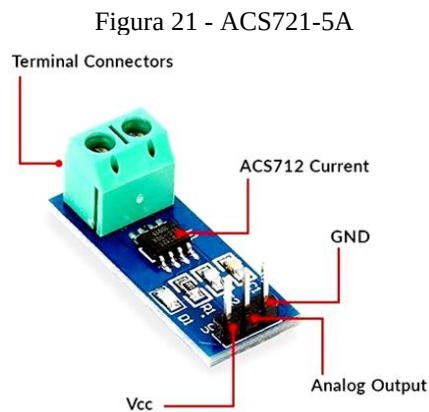
Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

3.2.5 Sensor de corrente AC

Para a obtenção do valor de corrente que circula sobre o projetor em LED, faz-se necessário a utilização de sensores de corrente AC, o sensor ACS712 é um sensor muito popular para medir corrente em circuitos eletrônicos, sendo um circuito CI baseado nos princípios de

efeito-hall. Hall é um núcleo magnético utilizado para detectar campo magnético gerado pelo condutor de corrente possibilitando mensurar correntes do tipo CA e CC.

O ACS712 demonstrado na Figura 21 fornece uma isolamento galvânica entre o condutor de corrente e o circuito de medição, ajudando a melhorar a segurança e evitar danos a eletrônica. O sensor é relativamente fácil de implementar em circuitos eletrônicos. A aplicação deste sensor inclui controle de motores, monitoramento de energia, carregador de baterias, inversores e vários sistemas industriais onde a detecção de corrente é necessária.

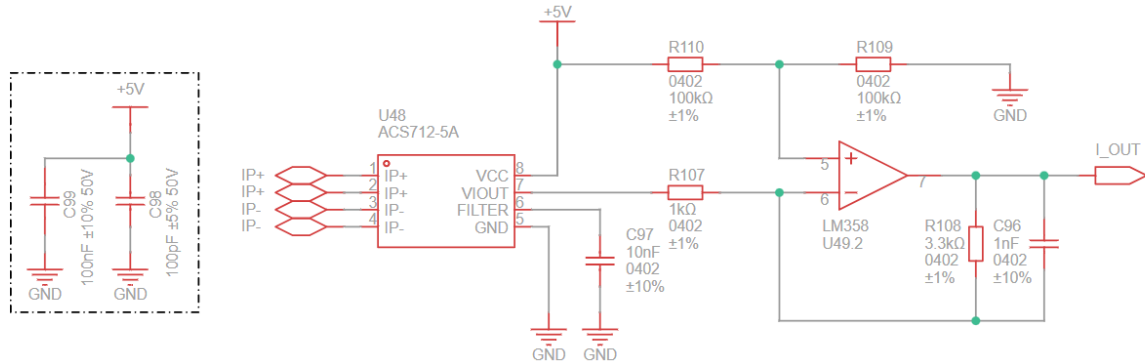


Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Disponíveis em alguns modelos que por sua vez possuem diferente faixas de leitura, sendo elas, corrente de 5A, 20A e 30A. Como o projeto em questão emprega projetores LED de 40 a 200watts de potência luminosa, o modelo de 5A foi a melhor escolha levando em consideração o baixo consumo de corrente elétrica em projetores de 40watts, aproximadamente 0,181mA com a tensão de alimentação de 220Vac.

O modelo de 5A entrega em sua saída uma range de 66 a 185mV/A logo não sendo capaz executar uma leitura precisa, para contornar este problema aplicou-se um amplificador de sinal de ganho 100dB garantindo um range 100 vezes maior e possibilitando a leitura do sinal facilmente. Para a implementação do circuito ACS712-5A, desenvolveu o circuito utilizando o software EasyEda apresentado na Figura 22.

Figura 22 - Circuito ACS721-5A



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Como forma de amenizar ruídos oriundos de fonte de alimentação +5V, são aplicados 02 capacitores em paralelo com a alimentação do CI, C99 para frequências baixas e C98 para as maiores frequências, evitando assim ruídos e garantindo um funcionamento adequando.

O grau em que a tensão varia em proporção direta a corrente primária através de sua amplitude em escala total. A não linearidade na saída pode ser atribuída a saturação do concentrador de fluxo que se aproxima da corrente de fundo de escala, abaixo a equação 8 necessária para derivar a linearidade.

$$100 \left\{ 1 - \left[\frac{\Delta_{gain} * \%_{sat} * (Viout_{full} - scale_{amperes} - Viout(Q))}{2(Viout_{half_{scale}} - Viout(Q))} \right] \right\} \quad (8)$$

A saída da tensão de referência do sensor quando a corrente do primário é zero para uma tensão de alimentação unipolar, ela permanece nominalmente. O sensor fornece uma saída Vout analógica que é linearmente proporcional a corrente medida, sendo Vcc a tensão fornecida para alimentação do sensor.

Uma característica deste sensor é simetria, significa que sua saída de 0 amperes acontece quando a tensão (Vout) nominal é igual a metade da tensão usada para alimentar o circuito e sua sensibilidade são proporcionais a sua tensão de alimentação Vcc, como mostra a equação 7 usada para derivar a alteração da simetria na tensão de saída em zero (0) amperes.

Da mesma forma que o sensor de tensão, a saída do sensor de corrente também apresenta um *offset* da metade da tensão de alimentação como mencionado anteriormente na equação 7, aplicando uma corrente de 0VAC também obtivemos um valor ADC de *offset*.

A Figura 23, mostra dados capturados via serial com auxílio da plataforma Arduino IDE e o valor médio obtido para o código de *offset* do sensor de corrente ACS712, este valor será

importante para a conversão em valores de corrente e será utilizado como uma constante no código fonte de captura, como mostra a Figura 24.

Mesmo os dois sensores, ZMPT101B já mencionado e o ACS712 oferecerem a mesma característica de tensão de saída, não podemos utilizar o mesmo valor de *offset* obtido com o sensor ZMPT1101B como padrão para o *offset* do sensor ACS712 devido a variação entre os componentes de ambos, a variação é nitidamente observada entre a Figura 17 e 23.

Figura 23 - Leitura para offset aplicando 0VAC.



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Figura 24 - Variável constante do código

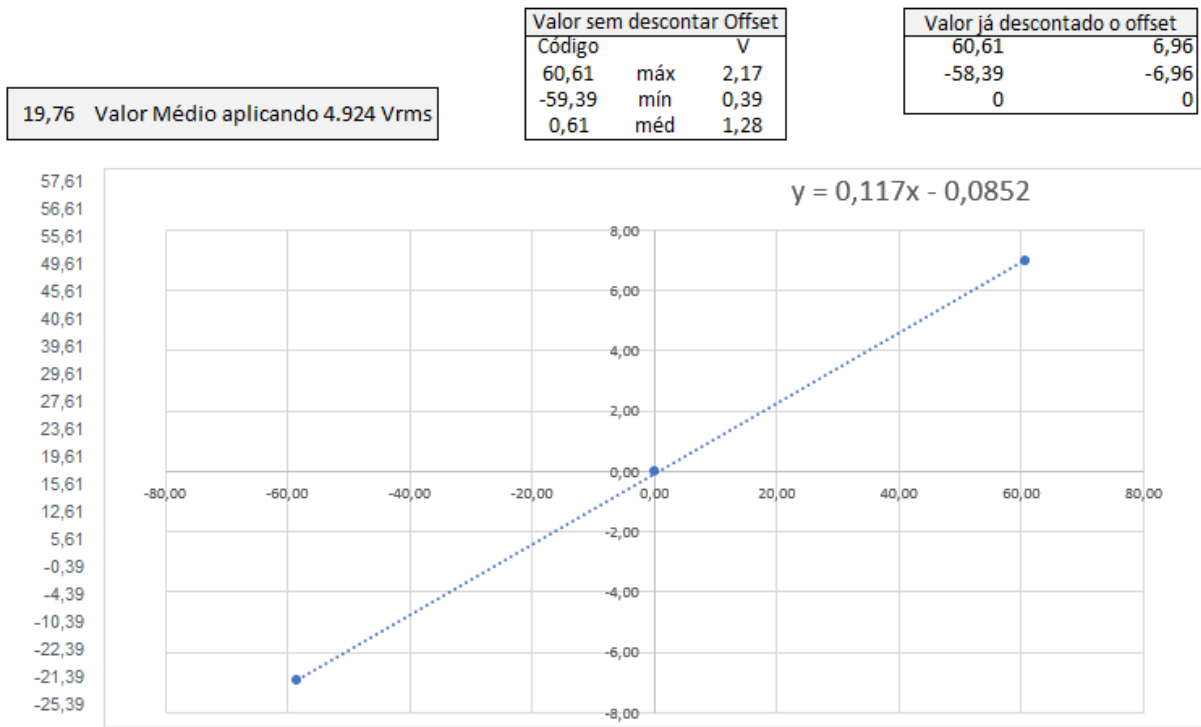
```
// Variável de offset do sensor de Corrente (determinados através de capturas)
const double offsetIAC = 2629.25;
```

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Uma vez determinado o *offset*, é aplicado uma corrente senoidal conhecida e através desta corrente comparar os valores obtidos na saída do sensor. Aplicando uma corrente senoidal de 4.924Arms, que produzira um pico positivo de +6.964A e -6.964A.

Capturados os valores de máximo e mínimo desconsiderando os picos causados por eventuais ruídos, pode-se obter uma relação direta entre os valores ADC e os valores instantâneos, como mostra a Figura 25.

Figura 25 - Variável constante do código



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Logo, usamos a função da reta de regressão representada na Figura 25, seus coeficientes angular e linear (A e B) são utilizados no código fonte como mostra a Figura 26.

Figura 26 - Coeficientes da regressão linear – ACS712-5

```
// Variaveis de coeficiente das regressoes lineares Corrente -----
const float coefA_IAC = 0.117;
const float coefB_IAC = 0.0852;
```

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

3.2.6 Conversor ADC

O MCP3202 é um dispositivo integrado fabricado pela Microchip Technology de conversão analógica-digital (ADC), com uma resolução de 12 bits, permitindo a distribuição da faixa de tensão de entrada em 4.096 endereços ou códigos. Possui dois (2) canais independentes,

o que significa que pode converter dois sinais analógicos simultaneamente *dual single-ended inputs*.

O MCP3202 apresentado na Figura 27 é amplamente utilizado em aplicações que requerem a conversão de sinais analógicos em sinais digitais em alta precisão possuindo recurso de comunicação SPI para transferência de dados com o microcontrolador ou outro dispositivo host, além de possuir uma faixa de tensão de referência selecionável, permitindo adaptar a faixa de entrada analógica às necessidades específicas da aplicação.

Figura 27 - Circuito integrado MCP3202



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

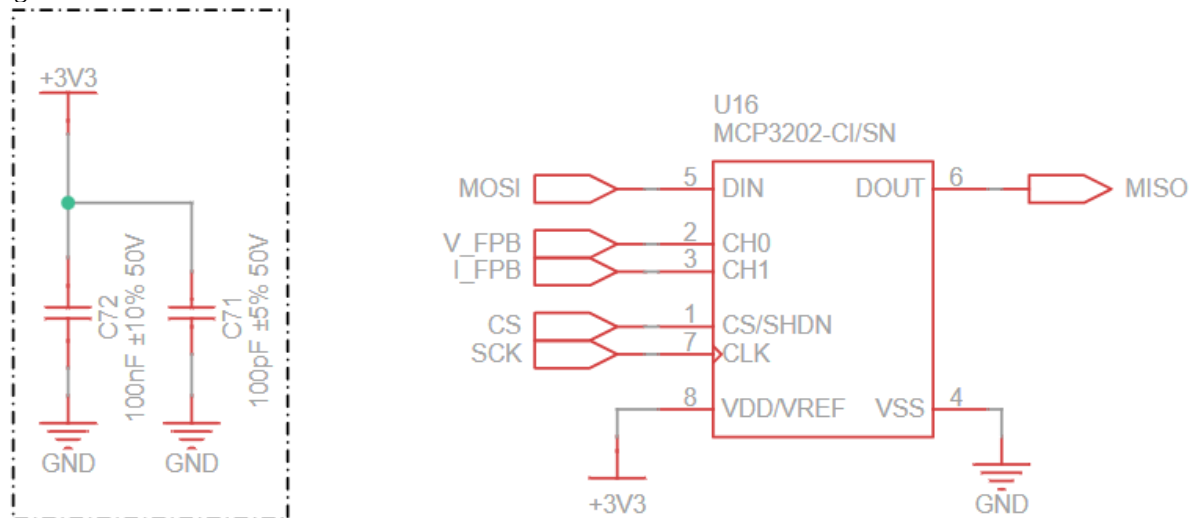
Possui uma faixa de alimentação de 2.7 a 5Vdc, viabilizando seu uso em diversos projetos, uma de suas características que levaram a escolha desde CI é sua capacidade de leitura de até 100 Ksps, projetado para realizar até 100.000 amostras por segundo desde que seja utilizado no pino Vss uma tensão de alimentação de 5Vdc, suprimindo as especificações do projeto como mostra a equação 9.

Considerando uma frequência de amostragem $F_s = 450\text{kHz}$ e 6ksps.

$$F_s = \frac{1}{\overline{T}} \quad (9)$$

Para a implementação do circuito MCP3202, desenvolveu o circuito utilizando o software EasyEda apresentado na Figura 28.

Figura 28 - Circuito eletrônico MCP3202



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Como forma de amenizar ruídos oriundos de fonte de alimentação +5V, são aplicados 02 capacitores em paralelo com a alimentação do CI, C72 para frequências baixas e C71 para as maiores frequências, evitando assim ruídos e garantindo um funcionamento adequado.

3.2.7 Microcontrolador ESP32

Para o processamento e transmissão de dados optou-se pelo microcontrolador ESP32 apresentado na Figura 29, sendo uma popular placa de baixo custo e consumo de energia amplamente usada para aplicativos de IoT. Desenvolvido pela empresa Espressif Systems e é uma versão melhorada de seu antecessor, o ESP8266. O ESP32 oferece uma ampla gama de recursos e capacidades, tornando-o uma plataforma versátil para vários projetos. De suas principais características destaca-se:

- Tensão de operação 3,3V;
- Processador *single/dual-core 32 bit*;
- Memória ROM 448 Kb;
- Memória RAM 520 Kb;
- Flash 4 Mb;
- *Clock* máximo 240 Mhz
- GPIOs 34;
- Entrada com conversores Analógico/Digital 7.

Figura 29 - Módulo Microcontrolador ESP32



Fonte: ESPRESSIF SYSTEMS (2021)

O ESP32 contém dois microprocessadores Xtensa LX6 de 32 bits, que podem ser controlados e programados individualmente. Essa arquitetura dual-core permite melhor a aplicação de multitarefa com alto desempenho.

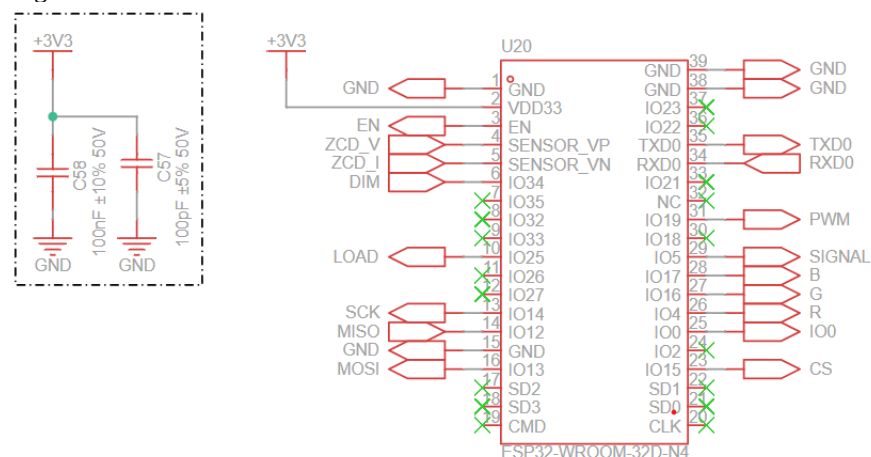
Possuindo em sua própria construção Wi-Fi 802.11 b/g/n. Todos os microcontroladores da família *espressif*, como o ESP01 e o ESP8266, utilizam como principal forma de conexão à rede Wi-Fi. Existem dois principais modos de operação de comunicação Wi-Fi no ESP32, o *station mode* e o *Access Point mode*.

O *station mode* é o modo de operação para que o microcontrolador funcione como um cliente *wireless*. Um exemplo do uso é quando for criada uma *web server* a ESP32 será conectada a uma rede Wi-Fi e fornecerá páginas web no endereço dela.

O *Access Point mode* é o modo de operação para que o microcontrolador funcione como um servidor/roteador. Esse modo é interessante para o caso de monitoramento de dados proveniente de outra placa ESP32 exatamente o caso do sistema em questão.

Para a implementação do circuito ESP32-D, desenvolveu o circuito utilizando o software EasyEda apresentado na Figura 30.

Figura 30 - Circuito eletrônico ESP32



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

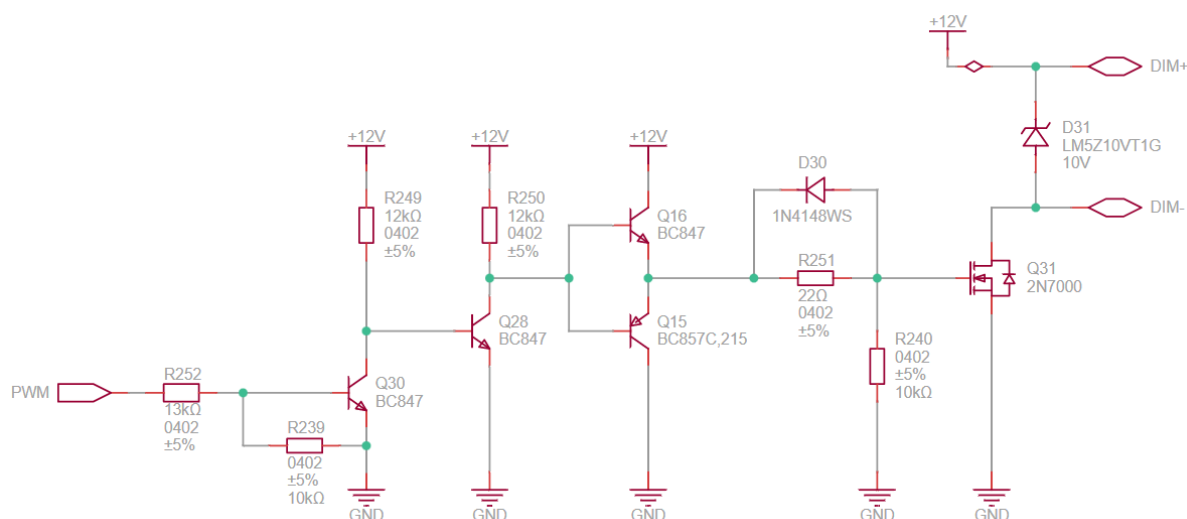
Como forma de amenizar ruídos oriundos de fonte de alimentação +3V3, são aplicados 02 capacitores em paralelo com a alimentação do CI, C58 para frequências baixas e C57 para as maiores frequências, evitando assim ruídos e garantindo um funcionamento adequando.

3.2.8 Circuito PWM

O dispositivo ou circuito capaz de acionar o LED, ou seja, realizar o controle do acionamento ou dimerização para emissão de luz é chamado de *driver*, possuindo uma característica que identifica uma tensão PWM de 0 a 10Vdc em sua entrada de dimerização, entradas essas demarcadas como DIM+ e DIM-. Essa característica faz com que este circuito seja muito utilizado em sistemas de tele gestão pois permite o controle da intensidade da luz por meio desta entrada.

Para a implementação do circuito PWM que atenda o ranger de tensão de 0 a 10Vdc, desenvolveu o circuito utilizando o software EasyEda apresentado na Figura 31.

Figura 31 - Circuito dimerização PWM



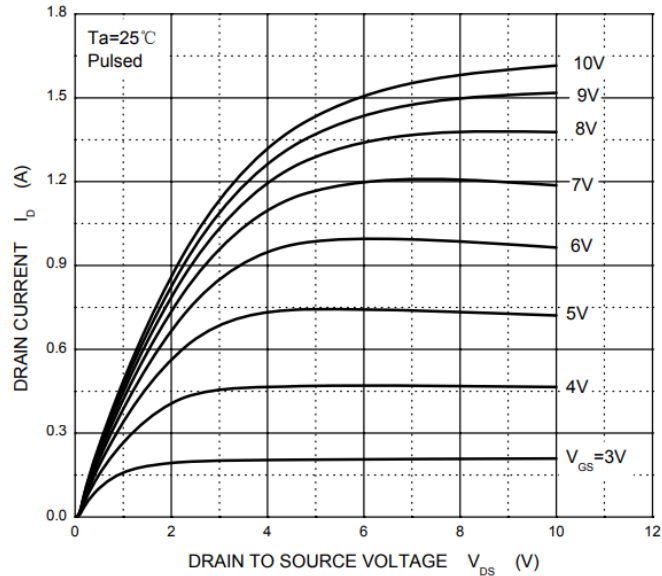
Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Para melhor atender a característica de 0 a 10Vdc, o circuito foi projetado utilizando um Mosfet 2N7000, que tem como principal característica o chaveamento de altas correntes sendo controlado por tensão, garantindo a corrente necessária para o sinal PWM do *drive*.

Por se tratar de um acionamento PWM gerado por um microcontrolador ESP32 que opera na região de +3V3 faz-se necessário um circuito Drive, projetado com transistores do tipo BC847 NPN e BC857C PNP que possibilita o chaveamento de tensão de 5 a 12Vdc, pois a tensão mínima de chaveamento do Mosfet 2N7000 é de 3Vdc mas sendo necessário fazer com

que o Mosfet entre na região de saturação que só é possível aplicando uma tensão acima de +5Vdc no Gate do Mosfet denominada pelo fabricante como V_{GS} (Figura 32).

Figura 32 - Output características 2N7000



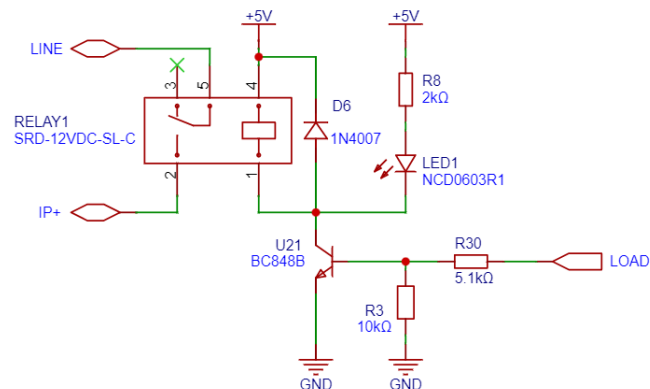
Fonte: Datasheet 2N7000

3.2.9 Circuito de acionamento do Projetor LED

O circuito *drive* além da tensão de dimerização necessita uma alimentação AC, sendo ela 220V ou 127V em algumas cidades do Brasil. Para a liberação ou chaveamento da tensão 220Vac para o circuito *drive*, faz-se necessário um circuito de chaveamento relativamente simples, mas, eficiente e utilizado em diversos projetos de eletrônica.

Para a implementação do circuito de acionamento, desenvolveu-se o circuito utilizando o software EasyEda apresentado na Figura 33.

Figura 33 - Circuito de alimentação AC

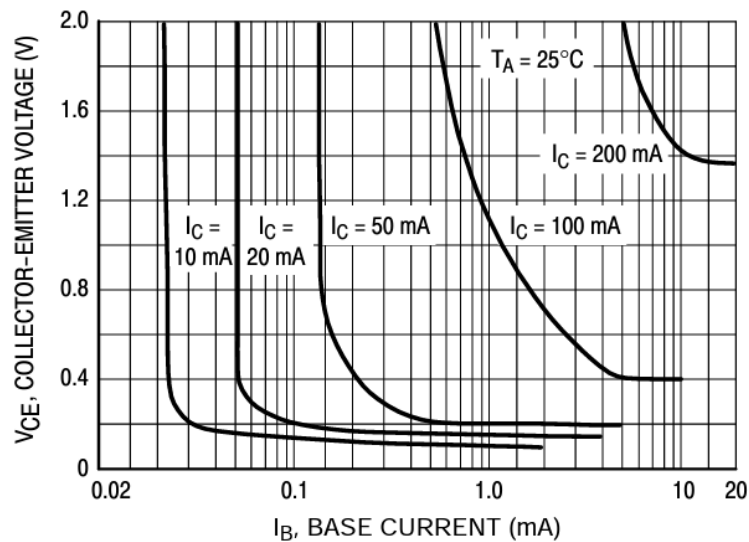


Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Como já mencionado acima, trata-se de um circuito relativamente simples, mas extremamente necessário para o projeto, pois é ele que irá controlar quando a luminária ou projetor irá receber energia para sua alimentação. O chaveamento novamente é feito por um circuito externo ao microcontrolador ESP32, devido ao relé (Relay1) consumir uma corrente de 100ma(A_{carga}) para seu chaveamento e o microcontrolador entregar uma corrente máxima absoluta por GPIO (LOAD) de 40ma.

Logo, utilizado o transistor BC484B por se tratar de um circuito que pode chavear correntes de até 200ma e necessitar de apenas 10ma em sua base como mostra a Figura 34.

Figura 34 - Collector Saturation Region – Região de Saturação



Fonte: Datasheet BC848

Para que seja realmente aplicado a corrente de 0,5ma na base do transistor, faz-se necessário o uso da equação 10 para calcular o valor do resistor de base que limitará a corrente aplicando apenas a necessária ao circuito.

$$\frac{3,3v - 0,7V}{\left(\frac{A_{carga}}{h_{fe}}\right)} = R30 \quad (10)$$

O sinal de chaveamento partirá de um microcontrolador que opera na região dos 3,3Vdc (3V3) e considerando uma queda de tensão de 0,7Vdc oriunda de um diodo de base característico do componente BC848B, devemos considerar o desconto dessa queda.

Analisando o datasheet conseguimos observar que o BC848B possui um ganho mínimo de 200 representado por h_{fe} , como mostra a Figura 35.

Figura 35 - Electrical Characteristics – Características elétricas

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
DC Current Gain ($I_C = 10 \mu A$, $V_{CE} = 5.0 V$)	BC846A, BC847A, BC848A	h_{FE}	–	90	–	–
	BC846B, BC847B, BC848B		–	150	–	–
	BC847C, BC848C		–	270	–	–
($I_C = 2.0 mA$, $V_{CE} = 5.0 V$)	BC846A, BC847A, BC848A		110	180	220	
	BC846B, BC847B, BC848B		200	290	450	
	BC847C, BC848C		420	520	800	

Fonte: Datasheet BC848

3.2.10 Transmissão de dados

Por se tratar de um microcontrolador ESP32 que porta em sua construção uma comunicação Wi-Fi 802.11 b/g/n, a forma de transmissão de dados será aproveitado esta portabilidade, porém extraindo um pouco mais a fundo deste recurso.

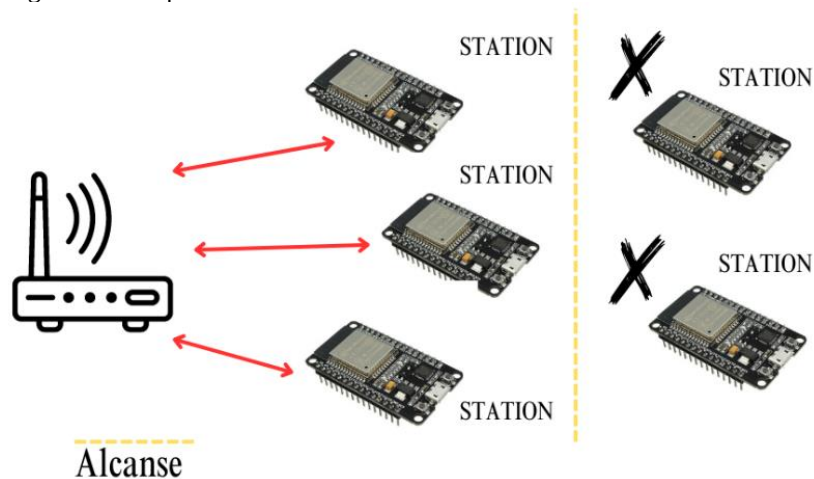
O protocolo “*ESP-MESH*” é um protocolo de rede construído sobre o protocolo Wi-Fi. O ESP-MESH permite que vários dispositivos (referidos como nós) espalhados por uma grande área física (interna e externa) sejam interconectados em uma única WLAN.

O ESP-MESH é auto-organizado e auto recuperável, o que significa que a rede pode ser construída e mantida de forma autônoma, com facilidade de implementação. A topologia de rede ESP-MESH pode escalar até 1.000 nós em grandes áreas, sem exigir qualquer suporte específico de infraestrutura Wi-Fi. O ESP-MESH pode ser usado para cobrir pontos cegos de Wi-Fi em cenários de implementação doméstica onde o sinal de Wi-Fi não pode ser alcançado.

3.2.10.1 Arquitetura de rede Wi-Fi tradicional

Em uma arquitetura de Wi-Fi tradicional, um único nó (ponto de acesso – geralmente o roteador) é conectado a todos os outros nós (estações). Cada nó pode se comunicar uns com os outros usando o ponto de acesso. No entanto, é limitado pela cobertura do Wi-Fi do ponto de acesso, cada estação deve estar dentro do alcance para se conectar diretamente ao ponto de acesso. Como demonstra a Figura 36.

Figura 36 - Arquitetura de rede Wi-Fi tradicional

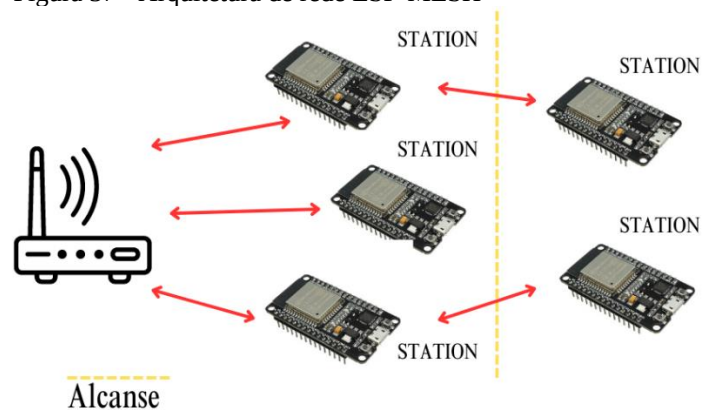


Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

3.2.10.2 Arquitetura de rede ESP-MESH

Com o ESP-MESH, os nós não precisam se conectar a um nó central, os nós são responsáveis por retransmitir as transmissões (informações) uns dos outros. Isso permite que vários dispositivos se espalhem por uma grande área física. Os nós podem se auto-organizar e “conversar” dinamicamente uns com os outros para garantir que o pacote (informação) chegue ao destino final do nó. Se algum nó for removido da rede, ele é capaz de se auto-organizar para garantir que os pacotes cheguem ao destino final, demonstrado pela Figura 37.

Figura 37 - Arquitetura de rede ESP-MESH



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

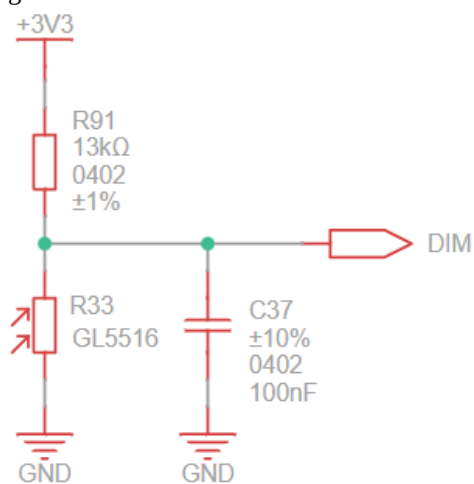
3.2.11 Circuito de leitura de luminosidade

A luminosidade é mensurada a partir da quantidade de luz (Lux) presente em um ambiente ou restrita por uma forma de iluminação. Uma das principais formas de medir esta

grandeza é por meio de um Luxímetro, um dispositivo portátil usado para medir a luminância, que é a quantidade de luz incidente em uma superfície específica.

Para a captação de luminosidade foi projeto com o software EasyEda o circuito da Figura 38, o circuito nada mais é que um divisor de tensão, quanto maior a luminosidade incidente no componente GL5516 menor é o valor de tensão enviado ao pino (GPIO) do microcontrolador expressado pela nomenclatura DIM.

Figura 38 - Circuito de leitura de luminosidade



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Para que o valor de tensão na saída (DIM) seja o mais aproximado do ideal/real, o circuito é projetado com resistores de 1% de tolerância, considerados resistores de precisão R91. A equação 11 demonstra como é calculado o valor da tensão de saída V_{out} enviado a GPIO (DIM) do microcontrolador.

$$V_{out} = \frac{3,3 * R33}{R33 + R91} \quad (11)$$

Como demonstra a Figura 39, trecho da norma ABNT 5123, “tabela 5, página 15”. Norma que define parâmetros de dispositivos do tipo Relé fotocontrolador, o modelo T1LNFDRNAR em questão deve acionar (Ligar) a carga entre 5 a 15 lux e desliga-la em até 30 lux.

Figura 39 - Exemplo para identificação

Tipo do relé fotocontrolador	Modo de operação	Modo de falha	Relação liga-desliga e níveis	Retardo tr = tempo de resposta (s)
T1: monotensão	LN: liga de noite	FL: ligado	RN: normal liga entre 5 lux a 20 lux desliga até 40 lux	AI: instantâneo tr < 0,5
T2: eletrônico multitensão	LD: liga de dia	FD: desligado	RN: normal liga entre 5 lux a 15 lux desliga até 30 lux	AR: rápido 0,5 < tr < 5
T3: eletrônico monotensão		FB: biestável	RI: inversa liga até 30 lux desliga entre 5 lux a 15 lux	AL: lento tr > 5
T4: temporizado				

Fonte: NBR 5123 (2016)

Utilizando um Luxímetro Digital LD-400 a fim de identifica a intensidade da luz (lux) e a tensão de saída Vout (DIM) do circuito da Figura 38 utilizando um Multímetro Minipa ET-1110B é possível identificar a tensão que o microcontrolador recebe em seu GPIO (DIM) quando a intensidade da luz atinge 5, 15 e 30 LUX demonstrado pelas Figuras 40, 41 e 42.

Figura 40 - Intensidade luminosa - 5 LUX.



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Figura 41 - Intensidade luminosa - 15 LUX



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Figura 42 - Intensidade luminosa - 30 LUX.



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

De modo a compilar as tensões obtidas nas Figuras 40, 41 e 42 e converter em sinal de escala analógica que possibilite que o microcontrolador execute a dimerização do drive via PWM com o circuito apresentado na figura 31, faz-se necessário a utilização da equação 12.

$$V_{(analógico)} = \frac{4095 * V_{(out)}}{3,3} \quad (12)$$

Onde, o valor de 4095 é referente resolução de 12 bits do microcontrolador e o $V_{(out)}$ o valor adquirido das Figuras 40, 41 e 42.

Executado 20 amostras em cada condição utilizando a plataforma Arduino IDE de modo a garantir uma melhor precisão dos valores analógicos, logo, aplicado uma simples média dos valores referidos como demonstra a Figura 43.

Figura 43 - Valores analógicos

5 LUX	Média 4062,05	15 LUX	Média 3318,15	30 LUX	Média 2715,3
4066		3306		2719	
4041		3285		2720	
4066		3354		2722	
4067		3342		2709	
4047		3291		2691	
4043		3328		2731	
4055		3327		2727	
4091		3307		2711	
4034		3299		2727	
4095		3277		2727	
4053		3328		2720	
4048		3309		2684	
4068		3317		2736	
4095		3333		2681	
4051		3297		2725	
4075		3321		2747	
4051		3344		2717	
4086		3319		2771	
4071		3367		2618	
4038		3312		2723	

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

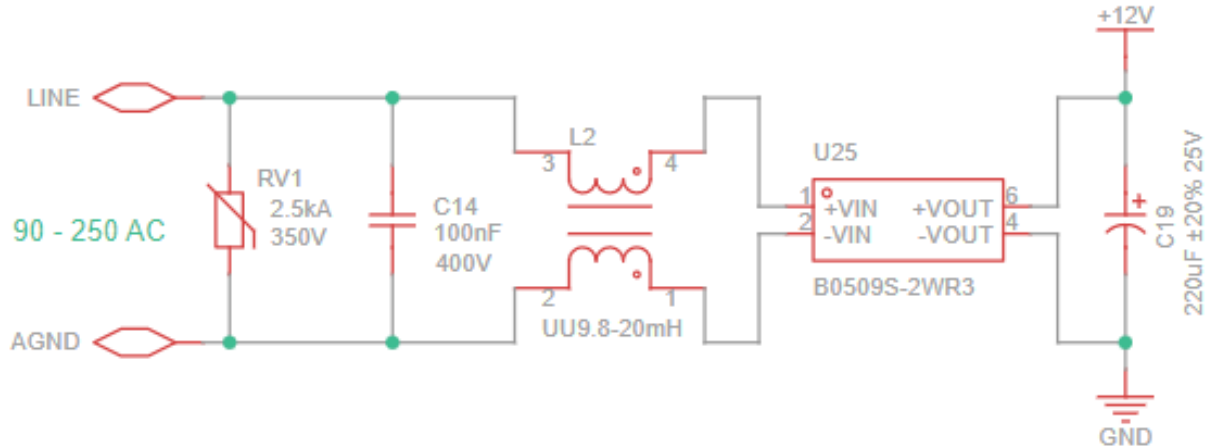
3.2.12 Fonte de alimentação

Fonte de alimentação é um dos últimos circuitos projetados, mas o mais importante. Pois é ele quem vai entregar a energia necessária para todo o circuito de modo a conseguir suprir a demanda de consumo.

Fontes lineares funcionam usando transformadores e reguladores lineares para fornecer uma fonte de alimentação estável, sendo relativamente simples e de baixo nível de ruído, mas podem ser menos eficientes em termos de conversão de energia. A fonte de alimentação comutadas, também conhecidas como fontes de alimentação chaveadas, essas fontes usam circuitos eletrônicos para converter a energia de entrada em uma forma pulsante e, em seguida, filtrar e regular a tensão de saída com circuito de malha fechada realimentada. São fontes mais eficientes e compactas.

Na Figura 44, podemos verificar o circuito da fonte desenvolvida com o software EasyEda. Uma fonte linear visando o baixo custo e o uso direto da rede elétrica AC podendo entregar até 1,5 amperes, mais que o suficiente para o projeto em questão.

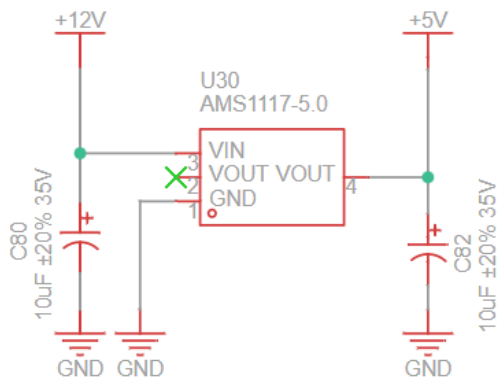
Figura 44 - Circuito fonte de alimentação



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

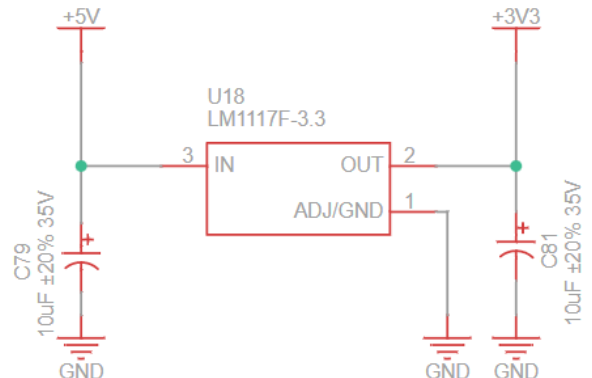
Devido ao sistema trabalhar com 03 níveis de tensão DC, sendo elas +3,3V, +5V e +12V foi projetado mais 02 circuitos para atender esta demanda, mas seguindo a mesma proposta de fontes lineares apresentadas na Figura 45 e 46.

Figura 45 - Circuito regulador +5V



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Figura 46 - Circuito regulador +3V3



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

3.2.13 Consumo de energia

Algumas cargas das unidades consumidoras, como por exemplo, transformadores, motores e lâmpadas de descarga consomem energia reativa e indutiva (DUAILI-BE, 2000).

Par determinar a especificação do medidor de consumo de energia em relação ao processamento, armazenamento e precisão é importante caracterizar as variáveis que são monitoradas de acordo com as normas vigentes, a qual foi utilizada a normativa do PRODIST da ANEEL, e seu módulo 5, revisão 6, que trata especificamente sobre sistemas de medição.

O relatório técnico realizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) sugere os requisitos mínimos a serem cumpridos pelo sistema de medição destinados à coleta e apuração dos parâmetros de QEE. Dentre os pontos mencionados, os principais são:

1. Ser capaz de apurar a demanda ativa e demanda reativa, integralizadas em intervalos de 15 (quinze) ou 5 (cinco) minutos, em kW e kVar, respectivamente;
2. Possuir capacidade de medição em 4 (quatro) quadrantes, caso haja possibilidade de ser fluxo de energia nos dois sentidos no ponto de medição;
3. Ser provido de memória de massa com capacidade de armazenar dados de energia ativa, energia reativa, tensão, considerando separadamente os montantes consumidos e os gerados, quando necessário. O intervalo de armazenamento pede ser fixo em 5 (cinco) minutos, ou programável de 5 (cinco) à 60 (sessenta) minutos, devendo armazenar dados referente a no mínimo 37 (trinta e sete) dias de uso;
4. Alternativamente, até o ano de 2030, para a medição de tensão em regime permanente podem ser utilizados instrumentos de medição com precisão de até 1% (um por cento), e os valores eficazes podem ser calculados a partir de amostras coletadas em janelas sucessivas, as quais compreendem uma sequência de 12 (doze) a 15 (quinze) ciclos (0,2 a 0,25 segundos).

A partir destes critérios, foi desenvolvido alguns circuitos que atendessem a demanda exigida pelo PRODIST, visando capturar os principais fatores de consumo de energia:

- 1 Fator de Potência;
- 2 Potência Ativa;
- 3 Potência Reativa;
- 4 Potência Aparente.

3.2.14 Fator de Potência

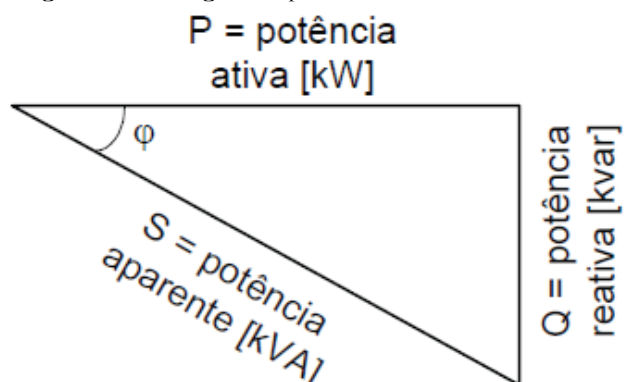
O fator de potência é uma medida elétrica que descreve a eficiência com que a energia elétrica é convertida em trabalho útil em um circuito elétrico. Ele é definido como a relação entre potência ativa (também conhecida como potência real) e a potência aparente de um sistema elétrico.

O fator de potência é um valor dimensional que varia de 0 a 1 (ou de 0% a 100%). Um fator de potência ideal é considerado valor 1 (ou 100%), o que significa que toda energia elétrica fornecida é convertida em trabalho útil. No entanto, em muitos sistemas elétricos, o fator de potência é inferior a 1 devido a presença de componentes reativos, como indutores, capacitores, que não contribuem para o trabalho útil, mas ainda consomem energia.

Um fator de potência baixo (próximo a 0) indica eficiência ruim na conversão de energia elétrica em trabalho útil, o que resulta em desperdício de energia e aumento dos custos de eletricidade. Portanto, muitas empresas e instalações elétricas procuram melhorar seu fator de potência através de uso de correção de fator de potência, como a adição de capacitores para compensar a potência reativa e melhorar a eficiência do sistema (CREDER, 2017).

A Figura 47 ilustra o chamado Triângulo de potências que é a relação entre as potências aparente, reativa e ativa.

Figura 47 - Triângulo de potências.

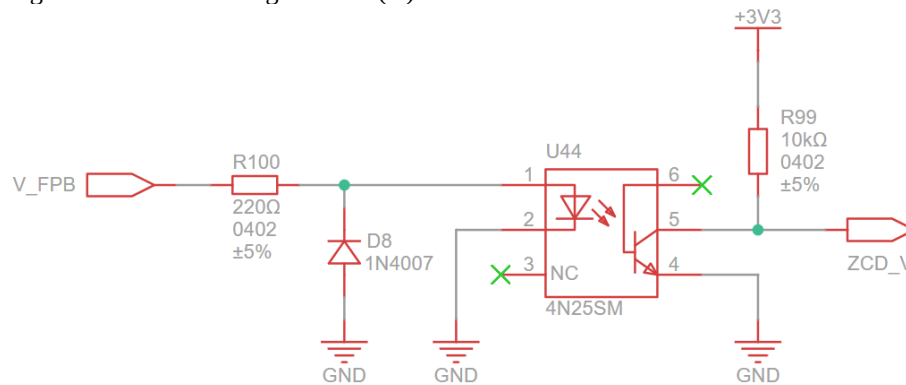


Fonte: CREDER (2017)

Para que seja possível estipular o valor do FP de um sistema é necessário conhecer a defasagem, em um contexto elétrico ou de ondas, refere-se ao deslocamento temporal entre duas ondas ou grandezas elétricas. Essa defasagem é medida em graus ou radianos e indica o quanto uma onda está atrasada ou adiantada em relação a outra.

Para detectar a curva de tensão foi utilizado o CI 4N25, um opto acoplador, diodo 1N4007 e alguns resistores desenvolvido com auxílio do software EasyEda, desta forma no semiciclo positivo, a saída do 4N25 ficará em nível 0 (LOW), já no semiciclo negativo fica em nível 1 (HIGH), que será o momento no qual o software irá iniciar a contagem do tempo e contará o pulso inicial da medição da corrente. A figura 48 ilustra o circuito para detectar a curva de tensão (zero crossing detector (v)).

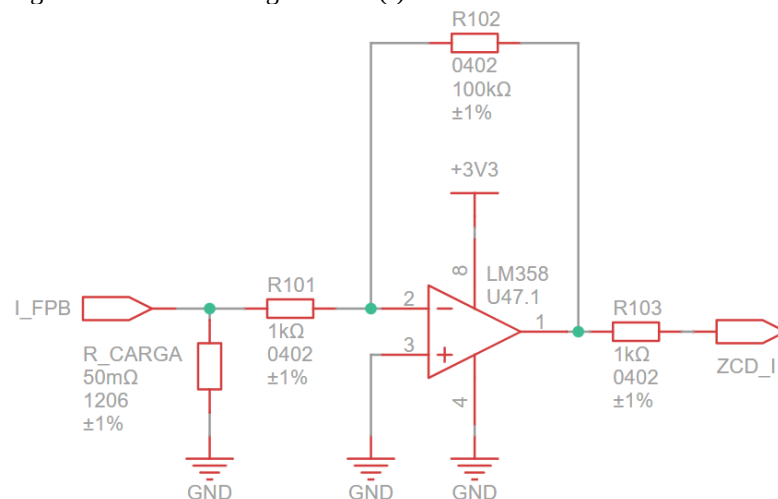
Figura 48 - Zero crossing detector (V)



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Da mesma forma que o circuito para detectar a curva da tensão (Zero crossing detector(v)) faz-se necessário projetar um circuito para detectar a curva da corrente. Com o auxílio do software EasyEda foi projetado o circuito da figura 49, o mesmo utiliza um resistor para medir a corrente e criar uma queda de tensão proporcional a corrente que passa por ele, juntamente com um amplificador operacional (AmpOp) usado para amplificar a tensão medida no resistor.

Figura 49 - Zero crossing detector (I)



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Com os circuitos das Figuras 48 e 49, possibilita calcular a defasagem e consequentemente calcular o ângulo θ (teta) como demonstra a Figura 50, figura essa um segmento do firmware.

Figura 50 - Fator de potência (FP)

```
double FatorPot() {
    double theta;
    theta = (circular_buffer[2] - circular_buffer[1]) / t_angle;

    return theta;
}
```

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

3.2.15 Potência ativa

Potência ativa, também conhecida como potência real, é um conceito fundamental em eletricidade e desempenha um papel crucial em sistemas elétricos, medida em watts (W).

A potência ativa representa uma parcela de energia elétrica que é efetivamente convertida em trabalho útil, em outras palavras, é a potência que realiza tarefas reais no circuito. A Figura 51 demonstra o cálculo realizado internamente no firmware de modo a calcular esta grandeza.

Figura 51 - Potência Efetiva ou Ativa (W)

```
double PotAtiva(double x, double y, double z) {
    double P;
    P = (x * y * acos(z));

    return P;
}
```

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

3.2.16 Potência Reativa

A potência reativa não produz trabalho útil diretamente, mas é necessária para sustentar campos magnéticos e elétricos em dispositivos como motores elétricos, transformadores e indutores. A potência reativa é responsável por alterar a direção da corrente em circuitos indutivos e capacitivos, mas não realiza trabalho no sentido tradicional.

A potência reativa é positiva em circuitos indutivos, onde a corrente está atrasada em relação a tensão, e negativas em circuitos capacitivos, onde a corrente está adiantada em relação a tensão. Muito importante para dimensionar componentes elétricos, projetar sistemas elétricos eficientes e evitar problemas de baixo fator de potência (FP). Um baixo FP, geralmente causado

por uma alta potência reativa, resulta em um desperdício de energia, aumento de custo de eletricidade e problemas de qualidade de energia em sistemas elétricos.

A Figura 52 demonstra o cálculo realizado internamente no firmware de modo a calcular esta grandeza.

Figura 52 - Potência Reativa (Var)

```
double PotReativa(double x, double y, double z) {  
    double Q;  
    Q = (x * y * sin(z));  
  
    return Q;  
}
```

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

3.2.17 Potência Aparente

A potência aparente apresenta a magnitude total da energia elétrica que flui em um circuito. É a combinação vetorial de potência ativa (que realiza trabalho útil) e da potência reativa (que sustenta campo elétricos e magnéticos). É importante notar que a potência aparente é sempre igual ou maior que a potência ativa, e a relação entre essas duas potências é “governada” pelo fator de potência (FP).

A Figura 53 demonstra o cálculo realizado internamente no firmware de modo a calcular esta grandeza.

Figura 53 - Potência aparente (Va)

```
double PotAparente(double x, double y) {  
    double S;  
    S = sqrt((x*x) + (y*y));  
  
    return S;  
}
```

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

3.3 Central de Controle

Uma central de controle é um componente fundamental em sistemas de monitoramento ou controle remoto, desempenhando um papel crítico na automação, monitoramento e controle de sistemas distribuídos em tempo real, permitindo uma gestão eficiente e eficaz.

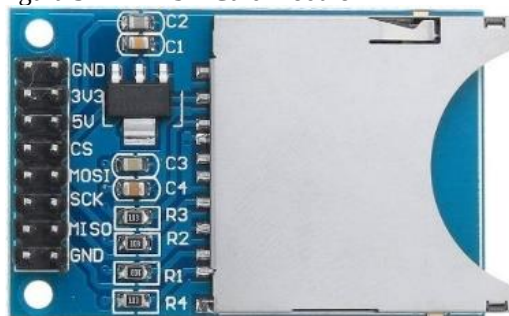
Partindo do mesmo conceito do circuito de controle que necessita de comunicação Wi-Fi, optou-se pela utilização da ESP32 como central para gerir os dados do sistema já demonstrado na Figura 29.

3.3.1 Módulo cartão SD

O módulo de cartão SD MH demonstrado na Figura 54, é comumente utilizado com microcontroladores para ler e gravar dados de um cartão de memória. Sua interface de comunicação é SPI, sua tensão de operação é de 3,3V ou 5V sendo uma gama interessante de faixa de tensão de trabalho pois engloba uma enorme gama de microcontroladores.

Os cartões SD aplicáveis a ele devem utilizar um formato de arquivos padrão como FAT16 ou FAT32 sendo de grande utilidade para armazenamento de dados locais sem necessitar de serviços em nuvem.

Figura 54 - MH SD Card module



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

3.3.2 Cartão SD

Um cartão SD é um dispositivo de armazenamento removível amplamente utilizado em câmeras digitais, sendo utilizado para armazenar uma grande variedade de dados, incluindo fotos, vídeos, documentos entre outros demonstrado pela Figura 55.

Figura 55 - Cartão SD



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Sendo dispositivos de armazenamento convenientes e versáteis que desempenham um papel importante em muitos aspectos de nossa vida digital se torna um dispositivo de grande valia, pois é nele que contém dados de armazenamento importantes do sistema, como:

- 1 Potência Ativa;
- 2 Potência Reativa;
- 3 Potência Aparente;
- 4 Fator de Potência;
- 5 Data e hora de acionamentos dos dispositivos de controle;
- 6 Luminosidade captada de cada dispositivo de controle.

3.3.3 Real timer clock

Garantindo o controle de tempo preciso de data e hora, faz-se necessário a utilização de um dispositivo RTC (*Real timer clock*), dispositivo DS3231 apresentado na Figura 56, é um circuito integrado de relógio em tempo real amplamente utilizado para manter o controle preciso de tempo em sistemas embarcados, conhecido pela sua alta precisão na medição de tempo. Ele é capaz de manter o tempo com uma precisão de alguns segundos por ano, o que o torna adequado para aplicações que requerem sincronização precisa de tempo.

Figura 56 - DS3231 RTC



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

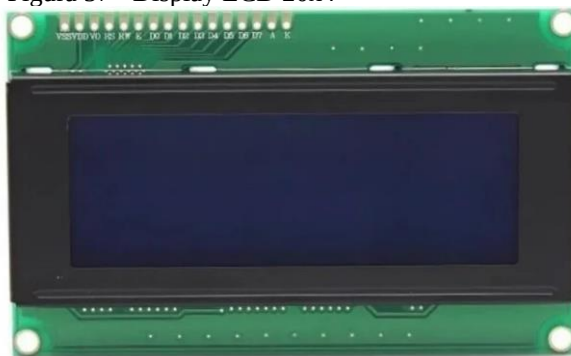
Projetado para ser facilmente integrado a microcontroladores, utilizando uma comunicação I2C (*Inter-Integrated Circuit*). Além de “rastrear” o tempo, o DS3231 também é capaz de manter informações de dias da semana, possuindo um calendário que permite calcular automaticamente dados de dias da semana e anos bissextos.

Um dos pontos importantes é o baixo consumo de energia, projetado para ser muito eficiente em termos de economia de energia, adequado para o uso em dispositivos alimentados por baterias.

3.3.4 Display LCD

Uma das formas mais práticas de monitoramento de um sistema com certeza é a implementação de um display, figura 57 ilustra um display LCD 20x4, um tipo de dispositivo específico de tela de cristal líquido (LCD) projetado para exibir 20 (vinte) caracteres por linha e 4 (quatro) linhas de texto, proporcionando um total de 80 caracteres visíveis de uma só vez. Sendo amplamente utilizados pelo seu baixo custo de mercado.

Figura 57 - Display LCD 20x4



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

3.3.5 Plataforma WEB

Uma plataforma WEB, também conhecida como plataforma online ou plataforma baseada na web, é um ambiente de software que opera na internet e fornece funcionalidade e serviços para usuários finais. Essas plataformas são acessadas por meio de um navegador web e não requer instalação de software adicionais no dispositivo do usuário.

Uma das grandes vantagens neste método de acesso, é possibilitar o acesso tanto via dispositivos que utilizam a plataforma Android quanto IOS.

As Figuras 58, 59 e 60 demonstra a plataforma web desenvolvida com o auxílio de 3 (três) linguagens distintas e de suma importância, cada uma com sua tecnologia, sendo elas:

- 1 HTML;
- 2 CSS;
- 3 JavaScript.

Figura 58 - Interface WEB - Home

Portal - Telegestão TCC 2023

[Home](#) | [Configuração](#) | [Agendamento](#) | [Reiniciar](#)

Bem-vindo à Interface Web	
Identificação	#id#
Mesh Prefix	#mesh_prefix#
Mesh Password	#mesh_password#
Mesh Port	#mesh_port#
Fator de Potência (Un.)	#factor_power#
Potência Ativa (W)	#active_power#
Potência Reativa (Var)	#reactive_power#
Potência Aparente (Va)	#apparent_power#
Intensidade de Luz (Lux)	#light_intensity#
Tempo Ativo	#active#

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Contendo as informações importantes do circuito de controle, como;

- 1 Identificação do circuito de controle;
- 2 Nome da rede *mesh* conectada;
- 3 Senha da rede *mesh*;
- 4 Porta de serviço da rede *mesh*;
- 5 Fator de potência do circuito de controle;
- 6 Potência ativa do circuito de controle;
- 7 Potência reativa do circuito de controle;
- 8 Potência aparente do circuito de controle;
- 9 Intensidade de Luz, capturada pelo circuito de controle;
- 10 Tempo que o sistema de controle está operando.

Figura 59 - Interface WEB - Configurações

Portal - Telegestão TCC 2023

[Home](#) | [Configuração](#) | [Agendamento](#) | [Reiniciar](#)

Configuração

Identificação	#id#
Mesh	Prefix: #user#
	Password:
	Port:
Wi-Fi	SSID: #ssid#
	Senha:

Gravar

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Plataforma de configuração de dados, aqui é possível definir parâmetros da rede-mesh que irá se conectar entre os dispositivos de controle, até definir parâmetros de rede Wi-Fi caso haja necessidade de um acesso remoto ao sistema e consequentemente aos dados.

Figura 60 - Interface de Acionamento e agendamento

Portal - Telegestão TCC 2023

[Home](#) | [Configuração](#) | [Agendamento](#) | [Reiniciar](#)

Acionamentos e Agendamento

Data:	10/10/2023
Hora:	19:33
Ação:	Ligar
Dispositivo:	1

Agendar

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Plataforma de Acionamentos e Agendamentos, permite que o usuário acione o projetor LED em um determinado dia/horários específico, ou até o acionamento imediato do projetor.

3.3.5.1 HTML

HTML (Hypertext Markup Language) é uma linguagem de marcação usada para criar e estruturar conteúdo na WEB, sendo a base da maioria das páginas da web e é essencial para a criação de documentos web, incluindo textos, links, imagens, formulários e outros elementos alternativos.

Porém, como citado, o HTML possibilita o desenvolvimento da estrutura do código sem nenhum efeito, bordas redondas, fundo colorido ou qualquer outro efeito. Para que a “aparência” da plataforma web fique mais agradável, faz-se o uso de outra linguagem de programação de modo a incorporar o HTML, linguagem esse denominada CSS.

3.3.5.2 CSS

CSS (Cascading Style Sheets) é uma linguagem de estilo usada para controlar a apresentação e layout de elementos em documentos HTML e XML. Ela permite que defina a aparência visual de uma página web, determinando cor, fonte, tamanho, espaçamento e posicionamento de elementos HTML.

Além de uma página web aparentemente “elegante” e bonita, existem outros critérios importantes, o conteúdo da plataforma web, dados a serem exibidos.

Com o auxílio da linguagem JavaScript, é possível deixar a plataforma web responsiva tornando o conteúdo da plataforma atualizável automaticamente.

3.3.5.3 JavaScript

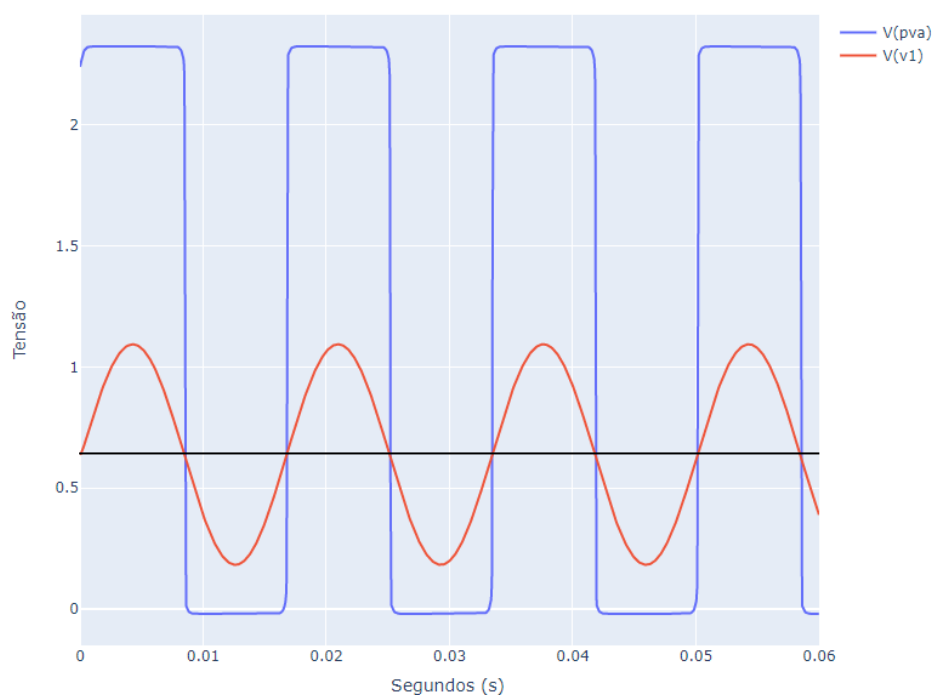
JavaScript é uma linguagem de programação de alto nível, voltada a objetos e amplamente utilizada no desenvolvimento web. Permitindo adicionar interatividade, comportamentos dinâmicos e funcionalidades avançadas as páginas web. JavaScript é uma parte fundamental das tecnologias da web moderna e é suportado pela grande maioria dos navegadores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta monografia propôs a implementação de algoritmos e cálculos de potência relativamente complexas, bem como os circuitos condicionadores de sinais, aquisição e método de comunicação utilizando *rede-mech*. Além disso com auxílio de algumas linguagens de programação que tornaram este projeto possível, dentre elas a que mais se destacou foi a linguagem C++, linguagem abordada por diversos programadores devido a se basear por orientação a objetos e de fácil implementação.

Abordando conceitos de programação avançado para garantir estabilidade e confiabilidade tanto da leitura de dados quanto na transmissão dos mesmos. Fazendo o uso por exemplo de interrupção, tanto por hardware quanto via software para detecção de passagem por zero (Zero Crossing) garantindo além da confiabilidade a vida útil dos componentes eletrônicos de chaveamento AC.

Figura 61 - Sinal resultante do circuito de passagem por zeros

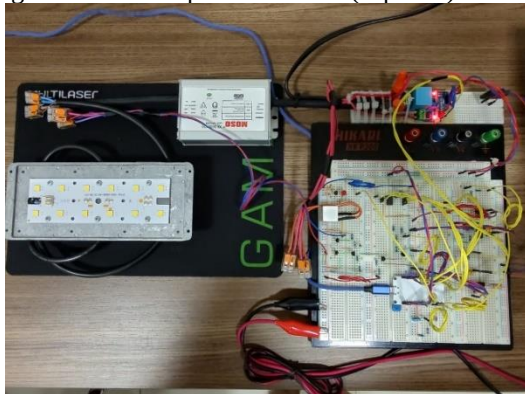


Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

O projeto teve como base o microcontrolador ESP32, escolhido pela sua capacidade de condicionamento de sinais e processamento de dados. Este microcontrolador, robusto e de baixo custo, desempenhou também a função de transmissor de dados entre o dispositivo de monitoramento de energia e a central de controle.

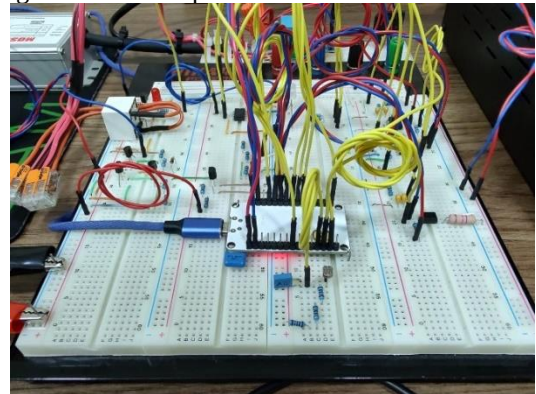
Ambos os circuitos foram validados em bancada para monitorar os dados e o comportamento do circuito de controle. Durante esse processo, identificou-se alguns desafios relacionados à captura do sinal de corrente. O circuito integrado ACS712 revelou limitações ao detectar consumos abaixo de 80 mA (miliampere). Para superar essa restrição, foi incorporado o circuito integrado LM741, um amplificador de sinal que assegurou a leitura precisa de sinais a partir de 30 mA.

Figura 62 - Protótipo de Bancada (superior)



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Figura 63 - Protótipo de Bancada

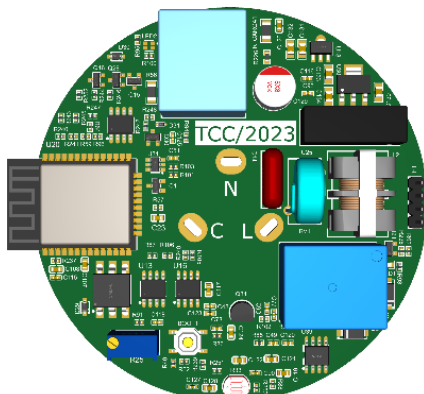


Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

4.1 Circuito de Controle

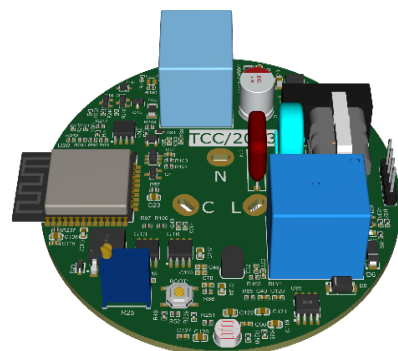
Logo após a validação em bancada iniciou-se o desenvolvimento da placa de circuito impresso com o auxílio do aplicativo EasyEda podendo assim gerar imagens 3D de como ficaria o projeto implementando em uma placa definitiva, como apresentado nas Figuras 64 e 65.

Figura 64 - 3D Circuito de Controle (superior)



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Figura 65 - 3D Circuito de Controle

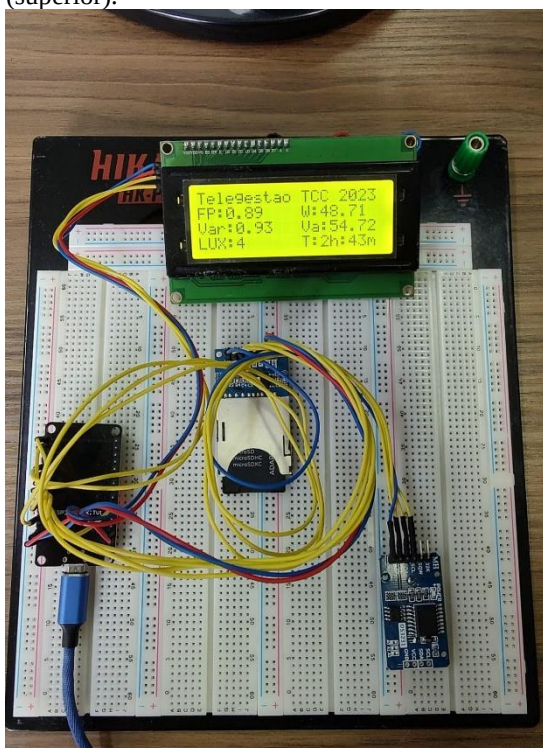


Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

4.2 Central de Controle

Para que a construção da central de dados fosse construída, optou-se por alguns periféricos e módulos para comunicação, modulo de cartão SD para armazenamento de dados, DS3231 *RTC (Real timer clock)*, para garantir o controle de tempo preciso de data e hora, display LCD para exibir os dados sem a necessidade de acesso a página web. As Figuras 66 e 67 demostram o protótipo desenvolvido e validado em bancada.

Figura 66 - Protótipo, Central de Controle (superior).



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Figura 67 - Protótipo, Central de Controle (M2M).



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Por se tratar de um sistema de telegestão o objetivo final era desenvolver um dispositivo com a finalidade de mensurar as principais grandezas elétricas presente, também trazer comodidade, agilidade em manutenções na área da iluminação privada e redução de consumo de energia desnecessária com circuito que fosse capaz de monitorar em tempo real a intensidade de luz do ambiente (LUX) demonstrado na Figura 38 e ajustar a potência necessária no projetor conectado.

Central de controle foi projetada abordando algumas linguagens de programação específicas por se tratar de uma central web de monitoramento, linguagens do tipo HTML (*Hypertext Markup Language*), CSS (*Cascading Style Sheets*) e JavaScript. Com o objetivo de exibir dados de leitura ao usuário como mostra a Figura 68.

Figura 68 - Interface Web (Home)

Portal - Telegestão TCC 2023	
Início Configuração Agendamento Reiniciar	
Bem-vindo à Interface Web	
Identificação	01
Prefixo de malha	TelegestaoTCC2023
Senha de malha	Engenharia_Eletrica2023
Porta Mesh	5555
Fator de Potência (Un.)	0.89
Potência Ativa (W)	48.71
Potência Reativa (Var)	0.93
Potência Aparente (Va)	54.72
Intensidade de Luz (Lux)	4
Tempo Ativo	2:43:50

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Ao lidar com a complexidade do firmware, diversas variáveis e obstáculos foram identificados, no entanto, por meio de pesquisa intensiva e orientação, essas questões foram superadas, permitindo a evolução contínua do projeto. O desafio estendeu-se também ao hardware, requerendo investigações em repertórios de eletrônica de potência, circuitos eletrônicos e conceitos de programação.

Após a aplicação de conhecimentos e testes em bancada, conclui-se que os parâmetros de leitura são confiáveis, e o sistema demonstra estabilidade. No entanto, foi identificada margem para melhorias a fim de garantir 100% de legitimidade nas informações coletadas. Vale ressaltar que o sistema apresenta uma margem de erro de aproximadamente 2,5%, um valor aceitável de acordo com a portaria INMETRO nº 221-2022, que regulamenta esse tipo de sistema.

4.3 Custos de protótipo em bancada

Como o propósito do projeto era a implementação de um circuito de controle e monitoramento de baixo custo, segue abaixo o custo individual do sistema para replicação do mesmo. Devido a simulação de valores realizada diretamente no site JLCPCB o valor é dolarizado podendo conter varrições.

- Central de Controle US\$ 8;

- Circuito de Controle US\$ 22.

4.4 Perspectivas futuras

Diante do conhecimento obtido no desenvolvimento deste trabalho, são sugeridas algumas melhorias para sua continuidade, tais como:

- Utilização de sensores de grandezas elétricas AC com maior precisão;
- Implementar bateria CC no circuito de controle, de modo a manter o sistema em funcionamento durante eventuais quedas de energia;
- Adicionar comunicação com servidor externo ao sistema;
- Implementar na Central de controle o envio e recebimento de dados via 4G.

REFERÊNCIAS

ABREU, H. **A eficiência dos diferentes tipos de lâmpadas e quanto cada uma impacta na conta de energia**. 2017. Disponível em: <https://www.retecjr.com/single-post/2017/12/06/a-efici%C3%Aancia-dos-diferentes-tipos-de-l%C3%A2mpadas-e-quanto-cada-uma-impacta-na-conta-de-energ>. Acesso em: 15 mar. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101: Iluminação pública – procedimento**. Rio de Janeiro, 2018.

DUAILIBE, P. **Capacitores: Instalação e Correção do Fator de Potência**, jan. 2000.

CIDADES INTELIGENTES E A TELEGESTÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA – Campinas SP – Em Pauta – 2019. Disponível em: https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/artigos/cidades_inteligentes_e_a_telegestao_da_iluminacao_publica.pdf/. Acesso em: 01 jun. 2023.

CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 15ª. ed., p. 269-289, Rio de Janeiro - RJ: LTC, 2007.

DE CAMPOS, S. J. F. **Iluminação urbana: um estudo da eficiência energética de luminárias led controladas por sistema de telegestão**. 149 f. Dissertação de mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção), Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara D'Oeste, 2014. Disponível em: https://iepapp.unimep.br/biblioteca_digital/pdfs/docs/19052014_182700_silviocampos.pdf. Acesso em: 07 jul. 2023.

DE GÓIS, M. P. F. **Cenários noturnos: sobre a especialidade e os significados da iluminação urbana na área central da cidade do Rio de Janeiro**. 128f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/16/teses/772529.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2023.

ELETRONICA GIANT. **EG4427 Datasheet**, 2021. Disponível em: <https://atta.szlcsc.com/upload/public/pdf/source/20211214/04FBF7289341D4071131136211239DB9.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2023.

ESB LIGHT. **Projeto Modular Slim**. 2023. Disponível em: <https://esblight.com.br/portfolio/projeto-modular-slim/>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32 WROOM 32 Datasheet**. [S.1], 2021. Disponível em: <https://storage.googleapis.com/baudaeletronicadatasheet/ESP32.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2023.

EXATI. **Telegestão: Controle e economia na gestão da iluminação Pública**. 2018. Disponível em: <https://blog.exati.com.br/telegestao-iluminacao-publica/>. Acesso em: 15 mar. 2023.

FOLEY, A. **Avaliação de energia renovável e sustentável**. 2023. Disponível em: www.elsevier.com/locate/rser. Acesso em: 01 jun. 2023.

IPMINAS. **Entenda a história da iluminação pública no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://www.ipminas.com.br/entenda-a-historia-da-iluminacao-publica-nas-cidades-do-brasil/>. Acesso em: 14 mai. 2023.

KDL ILUMINAÇÃO. **Telegestão e automação de iluminação pública sistema integrado de monitoramento**. 2023. Disponível em: <https://www.kdliluminacao.com.br/produtos/sistema-de-telegestao/>. Acesso em: 13 mar. 2023.

LONG, X.; LIAO, R.; ZHOU, J. Development of street lighting system-based novel highbrightness led modules. **IET Optoelectronics**, v. 3, n. 1, p. 40–46, 2009.

ON SEMICONDUCTOR. **General Purpose Transistors**. 2019. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/bc846awt1-d.pdf/>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ORBLIGHT. **Base para Fotocélula (7 pinos)**. 2023. Disponível em: <http://orblight.com.br/produtos/base-para-fotocelula-7pinos-orblight-2/>. Acesso em: 18 jun. 2023.

PORTARIA nº221, DE 23 DE MAIO, 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-221-de-23-de-maio-de-2022-403718188>. Acesso em: 01 jun. 2023.

PRODIST. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional** – PRODIST Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. 2021. Disponível em: https://antigo.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo8_Revisao_8/9c78cfab-a7d7-4066-b6ba-cfbda3058d19. Acesso em: 06 jun. 2023.

RODRIGUES, C. R. B. S. **Contribuições ao uso de diodos emissores de luz em iluminação pública**. 2012. 218 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2012.

SASMITA. **O que é alias e como ele é reduzido**. 2020. Disponível em: <https://electronicspost.com/what-is-aliasing-and-how-it-is-reduced/>. Acesso em: 20 jun. 2023.

SCHULZ, W. **Iluminação Pública**. 2016. Disponível em: <https://www.crea-pr.org.br/ws/wp-content/uploads/2016/12/iluminacao-publica.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2023.

SHAHZAD, G. et al. Energy-efficient intelligent street lighting system using traffic-adaptive control. **IEEE Sensors Journal**, v. 16, n. 13, p. 5397–5405, 2016.

SUN, C. et al. Design of led street lighting adapted for free-form roads. **IEEE Photonics Journal**, v. 9, n. 1, p. 1–13, 2017.

VENDRUSCOLO, J. **Comparativo de desempenho teórico e prático de Led's de alto desempenho**, 2022. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia e Ciências da Computação da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campos de Erechim, 2022.