

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS

LINCON SHIGUEHARU NOZAWA

MONITORAMENTO DA POTÊNCIA APARENTE ATRAVÉS DO
MICROCONTROLADOR ESP32 E TRANSFORMADOR DE CORRENTE COM
COMUTAÇÃO REMOTA PARA ACIONAMENTO E DESLIGAMENTO ATRAVÉS DE
RELÉ PARA RESIDÊNCIAS OU PEQUENAS EMPRESAS

MANAUS-AM

2023

LINCON SHIGUEHARU NOZAWA

MONITORAMENTO DA POTÊNCIA APARENTE ATRAVÉS DO
MICROCONTROLADOR ESP32 E TRANSFORMADOR DE CORRENTE COM
COMUTAÇÃO REMOTA PARA ACIONAMENTO E DESLIGAMENTO ATRAVÉS DE
RELÉ PARA RESIDÊNCIAS OU PEQUENAS EMPRESAS

Projeto de Pesquisa desenvolvido durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientação: Dr. Jozias Parente de Oliveira

MANAUS-AM

2023

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Escola Superior de Tecnologia - EST

Reitor:

André Luiz Nunes Zogahib

Vice-Reitor:

Kátia do Nascimento Coureiro

Diretora da Escola Superior de Tecnologia:

Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo

Coordenador do Curso de Engenharia Elétrica:

Israel Gondres Torné

Banca Avaliadora composta por:

Data da defesa: 13/09/2023.

Prof. Jozias Parente de Oliveira, Dr. (Orientador)

Prof. Fábio de Sousa Cardoso, Dr.

Prof. Antonio Luiz Alencar Pantoja, Dr.

Revisão Ortográfica: Débora Silva Leite.

CIP – Catalogação na Publicação

Nozawa, Lincon Shigueharu

Monitoramento da potência aparente através do ESP32 e transformador de corrente com comutação remota para acionamento e desligamento através de relé para residências ou pequenas empresas / Lincon Shigueharu Nozawa; [orientado por] Jozias Parente de Oliveira, Dr.. – Manaus: 2023. 54 p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade do Estado do Amazonas, 2023.

1. ESP32. 2. Corrente. 3. Monitoramento.
I. Oliveira, Jozias P.

LINCON SHIGUEHARU NOZAWA

MONITORAMENTO DA POTÊNCIA APARENTE ATRAVÉS DO
MICROCONTROLADOR ESP32 E TRANSFORMADOR DE CORRENTE COM
COMUTAÇÃO REMOTA PARA ACIONAMENTO E DESLIGAMENTO ATRAVÉS DE
RELÉ PARA RESIDÊNCIAS OU PEQUENAS EMPRESAS

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Nota obtida: 10,0 (Dez vírgula zero)

Aprovada em 13/09/2023.

Área de concentração: Sistemas Embarcados

BANCA EXAMINADORA

Jozias Parente de Oliveira
Orientador: Jozias Parente de Oliveira, Dr.

Fábio de Sousa Cardoso
Avaliador: Fábio de Sousa Cardoso, Dr.

Antonio Luiz Alencar Pantoja
Avaliador: Antonio Luiz Alencar Pantoja, Dr.

Manaus 2023

Dedicatória

À toda minha família, que sempre me incentivou, acreditou e me apoiou, esta conquista é nossa.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, a vida, as oportunidades e condições concedidas.

Agradeço aos meus pais que desde sempre se desdoblaram para que essa trajetória toda fosse possível, investindo no início dos estudos, incentivando sempre, e até hoje aconselhando.

A todos os meus familiares que fizeram parte dessa jornada. Sem eles, seria impossível, todos foram primordiais, em especial as minhas tias e a Bachan.

Aos meus amigos, colegas da faculdade e da vida profissional, que contribuíram nos estudos, trabalhos, ou com dicas e soluções. Especialmente à Larissa, que auxiliou na confecção da placa.

Ao meu orientador professor Dr. Jozias Parente de Oliveira, direcionando desde o conteúdo da pesquisa bibliográfica, metodologia até a apresentação, sempre com muita paciência e compreensão. E a todos os professores, pois o conhecimento e a educação são o caminho para o progresso.

RESUMO

O trabalho apresenta uma pesquisa sobre o desenvolvimento de um sistema de Monitoramento da potência aparente através do ESP32 e transformador de corrente com comutação remota para acionamento e desligamento através de relé para residências ou pequenas empresas, tendo como objetivo a redução da conta de energia através do monitoramento viabilizando a exibição dos resultados através de um supervisor com acesso remoto, além de alertar em caso o consumo ultrapasse a meta, ou um dispositivo tenha o consumo anormal. Primeiramente são abordados os conceitos elétricos, eficiência energética, *hardware* e *software*. Posteriormente apresentado o desenvolvimento da placa para coleta de dados, e codificação do *firmware* e envio dos dados para supervisor. Por fim serão apresentados os resultados e a conclusão sobre o estudo realizado. Em que a solução desenvolvida monitora os consumos gerais, de equipamentos ou malhas específicas, alertando em caso de consumo anormal de algum dos circuitos, identificando-o, permitindo o ligar ou desativar cargas via *web*, e ainda automatizando o acionamento e desligamento de tais cargas. Apesar de não ser possível substituir o medidor de energia da distribuidora, por aproximadamente R\$580,00, no ano de 2023, foi possível construir o protótipo com as capacidades acima, com um desvio relativo de 0,75%, contra o custo de R\$3750,00, caso comprando produtos de prateleira.

Palavras-chave: Monitoramento, Potência, ESP32, Eficiência.

ABSTRACT

The work presents a research on the development of a Monitoring System for apparent power using ESP32 and current transformer with remote switching capability for turning on and off through a relay, intended for residences or small businesses. The main objective is to reduce energy bills through monitoring, enabling the display of results on a remote-access supervisory system. Additionally, it aims to provide alerts in case consumption exceeds the target or a device exhibits abnormal consumption. Firstly, electrical concepts, energy efficiency, hardware, and software will be addressed. Subsequently, the development of the data collection board will be presented, along with firmware coding and data transmission to the supervisory system. Finally, the results and conclusions of the conducted study will be presented. The developed solution monitors overall consumption, equipment or specific meshes, alerting in case of abnormal consumption of any of the circuits, and identifying it, allowing the activation or deactivation of loads via the web, and even automating the switching of these loads. Although it is not possible to replace the energy meter from the distributor, for approximately R\$580.00, in the year 2023, it was possible to build the prototype with the capabilities mentioned above, with a relative deviation of 0.75%, against the cost of R\$3750.00 if purchasing off-the-shelf products.

Keywords: Monitoring, Power, ESP32, Efficiency

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC – *Analog-to-digital Converter*

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

G1 – Portal de notícias do grupo globo

ICSP – *In-Circuit Serial Programming*

IDE – *Integrated Development Environment*

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IoT – *Internet of Things*

IP – *Internet Protocol*

LED – *Light Emitting Diode*

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PWM – *Pulse Width Modulation*

RAM – *Random Access Memory*

RMS – *Root Mean Square*

ROM – *Read-Only Memory*

SCT – *Split-Core Current Transformers*

SoC – *System On a Chip*

TCP – *Transmission Control Protocol*

TQFP – *Thin Quad Flat Package*

UDP – *User Datagram Protocol*

UML – *Unified Modeling Language*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Triângulo de Potências	18
Figura 2- Medidor de Energia Eletromecânico Monofásico da General Electric	19
Figura 3- Smart Meter Instalado na Europa	20
Figura 4 - Lâmpada Incandescente e Lâmpada LED	20
Figura 5- Selo PROCEL de um Condicionador de Ar	21
Figura 6- Alicates Amperímetro	22
Figura 7- Tomada Controlada sem Fio.....	23
Figura 8- Multimetro de Energia Ligado.....	24
Figura 9- Ligação do Multimetro de Energia Mitsubishi	24
Figura 10- Exemplo de Hardware, um Desktop Destampado	25
Figura 11- Microcontrolador ATmega1609 de 8 Bits da Microchip.....	26
Figura 12- ESP32 DEVKIT V1	26
Figura 13- Módulo Voltímetro	27
Figura 14 - Transformador	27
Figura 15 - Transformador de Corrente de Núcleo Aberto	28
Figura 16 - Medição de Corrente pelo SCT	29
Figura 17 - Diagrama em blocos metodológicos.....	31
Figura 18- Diagrama Inicial do Projeto.....	33
Figura 19- Diagrama de blocos do Projeto.....	35
Figura 20- Esquemático para tratamento do sinal e ligação no microcontrolador	36
Figura 21 - Adição Offset.....	36
Figura 22- Layout digital.....	37
Figura 23 - Placa confeccionada.....	37
Figura 24 - Fluxograma do firmware	38
Figura 25 - Supervisório desenhado	39
Figura 26 - Autenticação no Blynk e Wi-Fi no firmware.....	39
Figura 27 - Fluxograma do firmware	40
Figura 28 - Automações geradas	43
Figura 29 - Testes funcionais.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo de medições entre o multímetro e o protótipo	43
Tabela 2 – Custo do protótipo	45
Tabela 3 – Custo do protótipo	46

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1 REFERENCIAL TEÓRICO	18
1.1 Potência e Energia	18
1.2 Medição de Energia	18
1.2.1 <i>Smart Meter</i>	19
1.3 Eficiência Energética	20
1.3.1 Equipamentos e Parâmetros de Normalidade	21
1.4 Trabalhos Relacionados	22
1.4.1 Tomadas Controladas Sem Fio	22
1.4.2 Multimedidor de Energia	23
1.5 <i>Hardware</i>	24
1.5.1 Microcontrolador	25
1.5.2 ESP32	26
1.5.3 Módulo Voltímetro ZMPT101K	26
1.5.4 Transformador de Corrente	27
1.6 <i>Software</i>	29
1.6.1 Linguagem de Programação C/ C++	29
1.6.2 Blynk 2.0	29
2 METODOLOGIA	31
2.1 Estudo Inicial	31
2.2 Desenvolvimento	32
2.3 Coleta de Dados e Análise	32
3 IMPLEMENTAÇÃO	34
3.1 Materiais Utilizados	34
3.2 Prototipagem do Hardware	35
4 RESULTADOS	41

4.1	<i>Hardware e Firmware</i>	41
4.2	<i>Dashboard</i>	41
4.3	Acionamentos, Alarmes, Automações e Testes	42
4.4	Análise Quantitativa	43
4.5	Comparação com Soluções de Mercado	45
5	CONCLUSÃO	47
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

INTRODUÇÃO

Segundo Lucas Simabukulo et al (2006), a relação da energia e do desenvolvimento social humano é bastante discutida por cientistas. O desenvolvimento tecnológico, crescimento industrial e a melhoria no padrão de vida de um determinado local são acompanhados pela evolução do consumo de energia. Tal fato implica que para a região continue se desenvolvendo aumente progressivamente o seu consumo de energia e ainda se desenvolva tecnologicamente para melhor uso dos recursos energéticos.

Simabukulo et al (2006) afirma ainda que dentre as formas de energias consumidas, a elétrica é uma das mais utilizadas e importantes, sendo responsável pelo estilo de vida e vários aspectos da sociedade. Sendo desenvolvida em meados do século XIX só foi possível o consumo em larga escala nas últimas décadas deste século citado. Associasse o consumo elétrico ao capitalismo, modernização da sociedade e industrialização, alterando-se a estrutura urbana e a cultura. Iluminação pública com acionamento automático, aparelhos eletrônicos (smartphones, televisores, computadores), transportes urbanos (trem, metrô, carros elétricos), máquinas industriais. Em qualquer cidade globalizada a população está cercada de energia elétrica e exposta a comodidades.

Tais facilidades e comodidades podem cessar-se em caso de um apagão por um longo período, acarretando ainda em perdas econômicas. De acordo com Coletivo Nacional dos Eletricitários (2021, apud Teixeira, 2021) estima-se que o prejuízo de 22 dias sem o fornecimento de energia ao Amapá seja de 190 milhões de reais.

Isto porque se faz necessário investimento com certa antecedência e uma série de fatores para a chegada da energia até as residências da população, como a infraestrutura em geração, transmissão e distribuição da eletricidade. O armazenamento de um alto volume da energia elétrica nem sempre é viável, assim como o armazenar e consumir outra forma de energia. Por isso é preciso planejar, monitorar e controlar o consumo.

Segundo G1 (2021) o Brasil vive em 2021 a pior crise hídrica dos últimos 91 anos. Os reservatórios das hidrelétricas do Sudeste e Centro-Oeste, que respondem por 70% da capacidade de geração de energia do país, estão com 28% da capacidade de armazenamento, e não há perspectiva de chuva forte nessas regiões até meados de outubro do mesmo ano.

O G1 (2021) afirma ainda que as usinas termelétricas, mais caras e poluentes, estão sendo acionadas para garantir o fornecimento de energia. Por isso, houve aumento no custo da geração de energia – estimado em R\$ 13,1 bilhões pelo Ministério de Minas e Energia, valor que é repassado para os consumidores. A projeção anterior era de um custo de R\$ 9 bilhões.

Segundo Batista e Chabalgoity (2021) a inflação oficial, medida pelo Índice Nacional

de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), atingiu 0,83% em maio, a maior alta para o mês nos últimos 25 anos além de outros itens também pela energia elétrica. Com esse resultado, o indicador acumulou um aumento de 8,06% nos últimos 12 meses, ficando muito acima do teto da meta estabelecida pelo governo para o ano corrente, de 5,25%. Em julho de 2021 entrou em vigor o reajuste de 52% na bandeira tarifária vermelha 2, em que é aplicada uma taxa extra à conta de energia de R\$9,49 a cada 100Kwh consumidos, antes de R\$6,24.

Além do custo direto sentido no bolso do consumidor visto no parágrafo anterior, segundo Sanchez (2021, apud Freitas, 2021), o aumento das tarifas energéticas impacta as famílias ainda de outra maneira, através do efeito indireto, que é sentido por todos, visto que o custo de produção de grande parte do que é consumido é afetado, sejam bens ou serviços.

O Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (Dieese) (s.d.) de acordo com a Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia (Abraceel) (2020) afirma que o brasileiro chega a gastar mais de 20% do salário-mínimo na conta de energia. E estes números podem ser ainda maiores no verão, quando há tendência de aumento no uso de aparelhos como o condicionador de ar.

A Abraceel (2020) declara ainda que para os brasileiros estes valores são muito altos. E que em agosto de 2019 em entrevista em parceria com o Ibope 87% dos consumidores consideraram a própria conta de energia cara. E que ao menos 64% dos entrevistados se esforçavam para economizar energia elétrica para não atrapalhar o orçamento familiar.

Portanto o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo que faça a medição e registro do consumo de energia mensal, identifique o consumo anormal de um aparelho e desligue aparelhos remotamente, contribuindo com o consumo consciente, aumentando a eficiência, objetivando reduzir o desperdício. Desta maneira, o objetivo deste estudo é projetar um protótipo que monitore a potência aparente consumida e que permita ao usuário o controle através de desligamento remoto via rede *ethernet* ou *wireless* e ainda detecte o consumo anormal de um equipamento para alertar a necessidade de realização de manutenção, bem como conscientizar o consumo elétrico dos usuários.

Para atingir o objetivo geral supracitado foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) modelar um diagrama de blocos da arquitetura do sistema;
- b) desenhar o esquemático e o layout de um circuito para aferir a passagem de corrente no condutor, além de medir a diferença de potencial, permitindo o cálculo da potência aparente;
- c) elaborar e modelar o firmware do microcontrolador capaz de medir o consumo e o acionar as cargas, os equipamentos elétricos;

d) codificar o firmware do microcontrolador para este, ser capaz de medir o consumo e acionar as cargas, os equipamentos elétricos;

e) elaborar e modelar uma aplicação para informar o usufruidor do consumo atual, médio e meses anteriores;

f) codificar a aplicação para informar o usufruidor do consumo atual, médio e meses anteriores;

g) elaborar, modelar e codificar o algoritmo que registre os equipamentos mais relevantes e acompanhe o consumo mensal dos mesmos em função do tempo, permitindo a comparação com o registro de consumo médio e do mês corrente contra o anterior, gerando um alerta na aplicação em caso de anomalias.

A motivação para o trabalho é que algumas das residências brasileiras no estado do Amazonas, que utilizam energia das empresas elétricas distribuidoras locais, ainda possuem contadores analógicos com mostradores apenas no lado externo das casas, dificultando assim o monitoramento, e inviabilizando o acompanhamento contínuo. Isso pode dificultar o acompanhamento da eficiência energética da residência, uma vez que só é possível administrar algo que se saiba os parâmetros, e não incentivando a economia na conta de energia e não permitindo a detecção de perda de eficiência nos equipamentos elétricos. Há produtos capazes de ligar e desligar cargas no mercado, mas que não fornecem dados nem estatísticas conforme a proposta do trabalho. Existem também os multimedidores de energia, que até fornecem os dados, mas que sozinhos são incapazes de comparar com os valores nominais dos dispositivos elétricos, ou com o consumo dos meses anteriores, também são mais caros, e monitoram apenas um circuito.

A justificativa é que o emprego correto uma vez que obtido sucesso no sistema proposto poderá colaborar para a sociedade nos seguintes aspectos:

- Possibilidade do monitoramento em tempo real mostrando o consumo mensal.
- Possibilidade de contribuir com a economia de energia.
- Possibilidade de contribuir com a economia de capital financeiro com base nos parâmetros orçamentais definidos pelo consumidor, evitando a inadimplência.
- Possibilidade de aumentar a eficiência energética dos equipamentos elétricos por meio da comparação de consumos mensais anteriores podendo diminuir assim a fatura de energia elétrica.

É importante evidenciar que no projeto proposto há o emprego de conhecimentos adquiridos ao longo do curso de Engenharia Elétrica que permitem o uso de conceitos vistos

nas disciplinas de Linguagem de Programação I e II, Microcontroladores, Sistemas Microprocessados, Circuitos I e II, Eletrônica Digital I e II, Instalações Elétricas, Eficiência Energética, Eletrônica Analógica, Sinais e Sistemas, Processamento Digital de Sinais, Cálculo, Álgebra, Física, Energias Renováveis e Probabilidade e Estatística que possibilitam o consumo consciente e responsável objetivando a eficiência e melhor uso da energia.

Com o intuito de apresentar este trabalho de forma clara e objetiva, a estruturação se apresenta em 4 capítulos principais, Referencial Teórico, Metodologia, Implementação e Resultados.

No primeiro capítulo, referencial teórico, serão explanados os conceitos elétricos, eficiência energética, trabalhos relacionados, *hardware* e *software*.

O segundo capítulo tem a finalidade de descrever quais passos foram necessários para iniciar o presente projeto e mostrar ao leitor os métodos que foram realizados para a obtenção dos respectivos resultados.

No terceiro capítulo serão descritas as etapas realizadas para o desenvolvimento do conceito, diagrama de blocos *hardware*, circuito, fluxograma desenvolvido, *software* utilizados e *firmware*.

No quarto e último capítulo serão discutidos os resultados obtidos, tendo como objetivo expor os resultados dos testes realizados com os sensores, integrados ao protótipo, comparativo de custos embasando a conclusão.

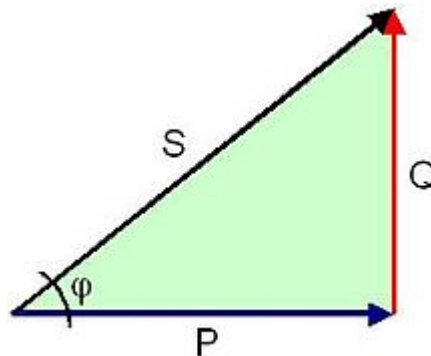
1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Potência e Energia

Potência é a velocidade com que se consome ou se absorve energia medida em watts (ALEXANDER; SADIKU, 2008 P. 11). Considerada positiva quando absorvida e negativa quando fornecida, por exemplo, a potência de um resistor é sempre positiva, pois nunca gerará potência.

Em se tratando de corrente alternada, há ainda o triângulo de potências, que relaciona as potências, ativa, reativa e aparente com o fator de potência (FP). A figura 1 mostra que P é a potência ativa, aquela que de fato realiza trabalho, medida em Watts (w), Q é a potência reativa, consumida por armazenamento de energia reativa indutiva ou capacitiva, medida em volt ampere reativo (VAR) e S é a potência aparente, a soma vetorial das potências ativa e reativa, a potência total absorvida pelo circuito elétrico medida em volt ampere (VA).

Figura 1 -Triângulo de Potências



Fonte: (WIKIPÉDIA, 2021)

Energia é a capacidade de realizar trabalho e pelo Sistema Internacional (SI) é medida em Joules, porém as concessionárias consideram que 1Watt-hora (Wh) equivale a 3.600 Joules. Energia pode ser ainda considerada a integral da potência em função do tempo, a potência consumida por um período de tempo.

1.2 Medição de Energia

O medidor de energia watt hora afere e registra o consumo de potência elétrica por um determinado tempo. No Brasil é comumente tarifado em quilowatt-hora (Kwh) mensalmente. Há um mostrador numérico no medidor, registrando o consumo, a cada mês um colaborador registra o valor atual no indicador e subtrai pelo valor coletado na consulta anterior, obtendo-se assim o consumo do mês atual.

Os primeiros medidores de energia basicamente consistiam de um pequeno motor e um contador numérico, em que o motor gira através do desvio de corrente proporcional à corrente que flui no circuito medido, sendo assim sua velocidade está relacionada à potência consumida naquele momento. O rotor do motor é calibrado para equivalência de quilowatt hora e a cada volta é incrementado uma unidade no contador numérico. A figura 2 exibe um medidor de energia eletromecânico analógico monofásico da *General Electric*, tipo de modelo mais comum nas instalações elétricas residenciais mais antigas.

Figura 2- Medidor de Energia Eletromecânico Monofásico da General Electric



Fonte: (IPERNITY, s.d.)

1.2.1 Smart Meter

Os medidores de energia inteligente, do inglês *Smart Meter*, são dispositivos capazes de medir o uso de energia em uma edificação, tendo como maior diferencial o envio dos valores coletados para a distribuidora de energia automaticamente. Dispensando a leitura mensal por uma pessoa.

Algumas empresas podem oferecer aplicativos aos clientes que tenham medidores inteligentes, com funções além do valor da conta de energia, como por exemplo, modo pré-pago, dados de consumo, custos e dicas para economia. A figura 3 representa o *Smart Meter* que está em fase de implantação na Europa.

Figura 3- Smart Meter Instalado na Europa



Fonte: (INGRAMS, 2021)

1.3 Eficiência Energética

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (s.d.), eficiência significa fazer mais, ou o mesmo, com menos recursos, mantendo o conforto e qualidade. Em se tratando de energia, eficiência energética é gerar a mesma quantidade de energia com menos recursos naturais e realizar trabalho, o mesmo serviço, com menos energia.

Por exemplo, na busca por equipamentos mais eficientes, pode-se citar na iluminação de um ambiente, a substituição de uma lâmpada incandescente de 1018 lúmens que consome 75W contra uma LED de 1055 lúmens consumindo 12W. Um serviço de iluminação maior, com consumo equivalente a 16% da tecnologia anterior. Na figura 4 é possível observar a lâmpada incandescente na esquerda e a lâmpada LED na direita.

Figura 4 - Lâmpada Incandescente e Lâmpada LED



Fonte: (Empresa de Pesquisa Energética, s.d.)

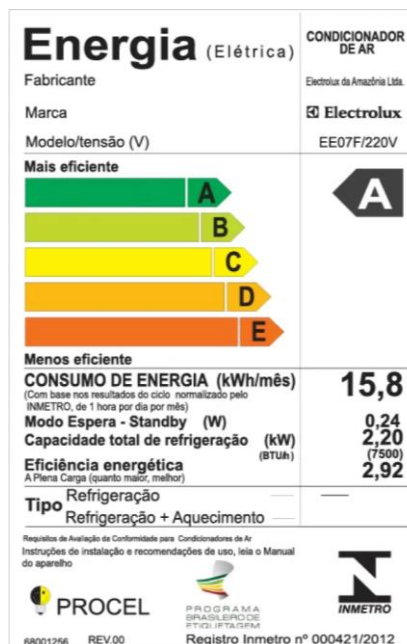
Segundo Mamede Filho (2010) o governo brasileiro tem desenvolvido uma política moderada de conservação de energia com a finalidade de diminuir os desperdícios de energia nos âmbitos comerciais, industriais e de iluminação pública. E o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) é um órgão ligado a ELETROBRÁS, responsável diretamente pela execução das políticas de eficiência energética, agindo nas frentes de educação, promoção, financiamento e incentivo.

1.3.1 Equipamentos e Parâmetros de Normalidade

Para o presente trabalho será utilizado como um dos parâmetros o selo Procel de Economia de Energia que é uma ferramenta simples e eficaz que permite ao consumidor conhecer, entre os equipamentos e eletrodomésticos à disposição no mercado, os mais eficientes e os que consomem menos energia conforme afirma a PROCELINFO (s.d.).

Em parceria com o INMETRO, fabricantes, pesquisadores de universidades e laboratórios, cada equipamento candidato ao selo é submetido a ensaios em laboratório, recebendo uma classificação de E a A, onde E é menos eficiente e A mais eficiente. A figura 5 ilustra o selo PROCEL de um condicionador de ar com classificação A de eficiência, assim como seu consumo em um mês.

Figura 5- Selo PROCEL de um Condicionador de Ar



Fonte: (BOUHID, 2018)

Afim de comparar os resultados aferidos com os valores de consumo e potência fornecido pelos fabricantes e pelo selo PROCEL dos produtos a serem monitorados, será utilizado um multímetro com alicate amperímetro.

O multímetro é um instrumento de medição com objetivo de aferir grandezas elétricas, como principalmente resistência elétrica, tensão, corrente alternada e contínua. Podendo ser com visor digital ou analógico, e escalas manuais ou automáticas.

O alicate amperímetro também chamado de pinça amperimétrica pode funcionar de duas maneiras, para corrente contínua através do efeito Hall, em que o condutor na presença de uma corrente elétrica apresenta um campo elétrico transversal. Ou para corrente alternada em que o funcionamento se assemelha à um transformador, sendo este o mesmo princípio utilizado na medição do protótipo e por isso será explicado no tópico 1.5.4 (transformador de corrente). A figura 6 mostra um alicate amperímetro aferindo a passagem de corrente alternada por um condutor.

Figura 6- Alicate Amperímetro



Fonte: (CONECTA FG, 2018)

1.4 Trabalhos Relacionados

Neste tópico serão abordados os produtos comerciais encontrados que mais se assemelham à proposta do trabalho, que foram o multimedidor de energia e a tomada controlada sem fio.

1.4.1 Tomadas Controladas Sem Fio

A tomada controlada sem fio, também chamada de “tomada inteligente” é um dispositivo que pode ser encontrado compatível com formato tipo N, adotado pelo Brasil. Ela

deve ser ligada em uma tomada, previamente instalada, de mesmo tipo, e o aparelho do usuário conectado à tomada inteligente então pode ser acionado remotamente por uma rede *wireless*.

O custo é de aproximadamente R\$150,00, consultado na data 19 de julho de 2021. Há pouca documentação, diversas marcas em sua maioria importadas, em algumas não foi possível verificar a certificação da ANATEL e/ou do INMETRO. Entretanto o dispositivo é limitado apenas a ligar e desligar cargas. Diferentemente do proposto por este trabalho. A figura 7 exibe uma tomada sem fio.

Figura 7- Tomada Controlada sem Fio



Fonte: (MERCADOLIVRE, s.d.)

1.4.2 Multimedidor de Energia

Diferentemente das tomadas controladas sem fio, o multimedidor de energia como sugere o próprio nome, afere a corrente, tensão e calcula a potência, assemelhando-se mais à proposta do trabalho. Contudo limitado a isto, medir e registrar. Não comparando com os valores nominais ou valores anteriores. Voltado principalmente para a indústria, centros comerciais ou condomínios é limitado à um circuito de até três fases, ou seja, incapaz de monitorar vários dispositivos com apenas um multimedidor.

O investimento, consultado na data de 19 de julho de 2021, também é maior que das tomadas inteligentes, próximo de R\$2.500,00 variando conforme marca e precisão. Alguns dos modelos consultados são capazes de acionar e desligar carga. A figura 8 representa um multimedidor de energia, e a figura 9 a conexão necessária, nota-se que são necessários transformadores de corrente e tensão para cada medição respectiva.

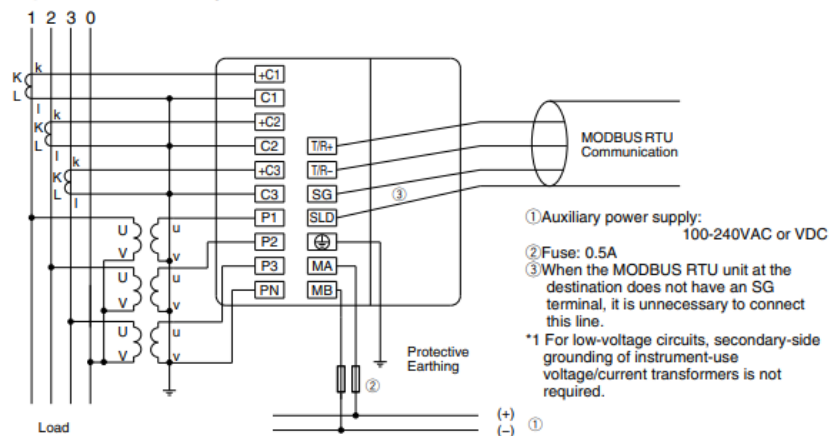
Figura 8- Multimetro de Energia Ligado



Fonte: (MITSUBISHI, 2019)

Figura 9- Ligação do Multimetro de Energia Mitsubishi

Three phase 4-wire system: With VT



Fonte: (MITSUBISHI, 2019)

1.5 Hardware

Hardware são todos os itens e equipamentos, físicos, palpáveis, que fazem o sistema funcionar, gerenciados através de um *software*. Podendo ainda ser classificados em internos e externos, estes chamados também de periféricos, podendo ser de entrada ou saída, fundamental e opcional, a depender do sistema. Como por exemplo:

Em um computador pessoal, do século XXI, seria *hardware* interno obrigatório o uso de um processador, *motherboard*, memórias *ROM* e *RAM*. Enquanto que os *hardwares* fundamentais externos, ou periféricos, de entrada seriam ao menos um teclado ou *mouse*, e de saída, um monitor. E opcional poder-se-ia considerar uma caixa de som, microfone, *scanner* ou impressora, variando conforme a aplicação. Onde em uma gráfica os falantes e microfones poderiam ser opcionais, mais fundamentais em um estúdio de música e vice-versa. Nos tópicos

seguintes serão descritos o material utilizado. Na figura 10, é possível observar um *Desktop* com a tampa removida, um exemplo comum de *hardware* genérico para múltiplos propósitos.

Figura 10- Exemplo de Hardware, um Desktop Destampado



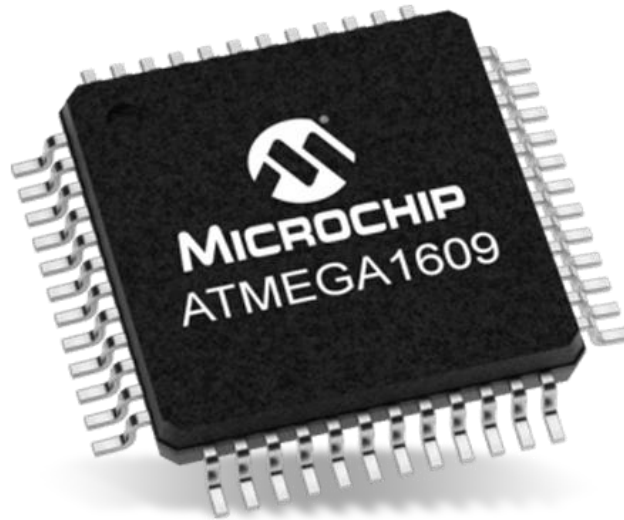
Fonte: (AMOROSO, 2012)

1.5.1 Microcontrolador

O microcontrolador é um circuito integrado (CI) que abriga um computador completo, incluindo memória volátil, portas de entradas e saídas de dados, contadores e em alguns deles até conversores de sinais analógicos para digitais, memórias não voláteis e portas seriais.

Possibilitando a construção de um sistema que realize tarefas mais triviais de custo acessível, com maior eficiência energética e econômica. Para isto, são normalmente tecnologias embarcadas, ou seja, breve e previamente, precisa-se de outro sistema computacional, ou memória que grave o programa no microcontrolador que executará as tarefas. A figura 11 ilustra o microcontrolador ATmega1609 em encapsulamento TQFP de 48 contatos.

Figura 11- Microcontrolador ATmega1609 de 8 Bits da Microchip

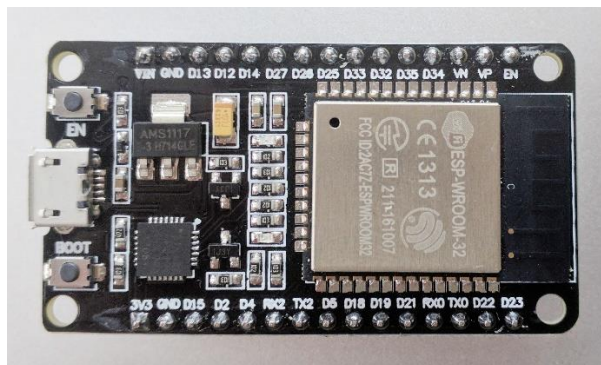


Fonte: (MOUSER, 2019)

1.5.2 ESP32

O ESP32, criado pela Espressif é uma série de System on a Chip (SoC), com Wi-Fi e bluetooth. Podendo conter um microprocessador Tensilica Xtensa LX6 de um ou dois núcleos, com frequência até 240MHz. Tendo seu desenvolvimento voltado para dispositivos móveis, *wereables* e aplicações *IoT*. (ESP32, s.d. **tradução nossa**). A figura 12 mostra a placa ESP32 DEVKIT V1.

Figura 12- ESP32 DEVKIT V1



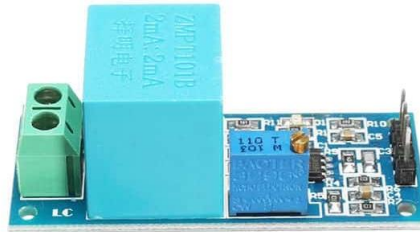
Fonte: (GITHUB, 2017)

1.5.3 Módulo Voltímetro ZMPT101K

Segundo MAKERHERO (s.d.), o voltímetro ZMPT101K é um módulo que permite identificar a presença de tensão alternada. E com sua precisão utiliza-lo como sensor medidor de diferença de potencial para valores de 0 a 250 VAC.

A figura 13 exibe um módulo voltímetro, projetada para ser alimentada entre 5 à 30 VDC, possui biblioteca para ser utilizada em placas de desenvolvimento no ambiente Arduino.

Figura 13- Módulo Voltímetro

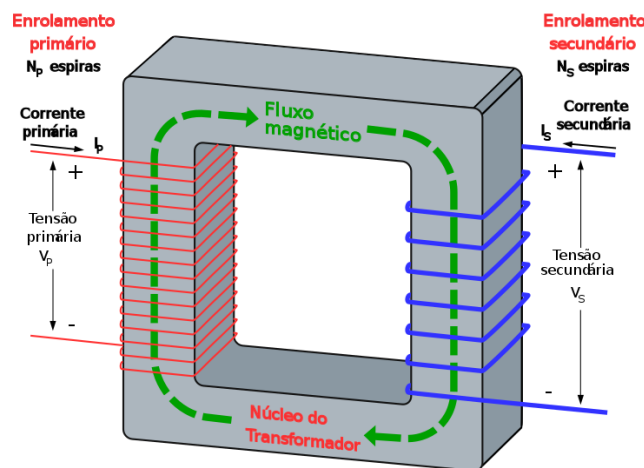


Fonte: (MAKERHERO, s.d.)

1.5.4 Transformador de Corrente

O transformador de corrente é um dispositivo projetado para conduzir corrente elétrica alternada nos terminais secundários proporcionais à corrente que passa no enrolamento primário, tendo como princípio de funcionamento a indução de corrente do eletromagnetismo, baseado nas leis de Faraday e Lenz. Desta forma tem maior uso em medições e proteção. A figura 14 é a modelagem de um transformador, com suas espiras primárias, secundárias e o núcleo.

Figura 14 - Transformador



Fonte: (WIKIWAND, s.d.)

O transformador de corrente mais utilizado é o de corrente nominal, em que há menos voltas no enrolamento primário e mais no secundário para diminuição da corrente, seguindo uma escala em proporção inversa, conforme fórmula abaixo para um transformador ideal:

$$a = \frac{n_1}{n_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (1)$$

Onde:

a = razão de voltagens entre o primário e secundário do transformador;

n_1 = número de voltas no primário;

n_2 = número de voltas no secundário;

V_1 = tensão no primário;

V_2 = tensão no secundário;

I_2 = corrente no secundário;

I_1 = corrente no primário.

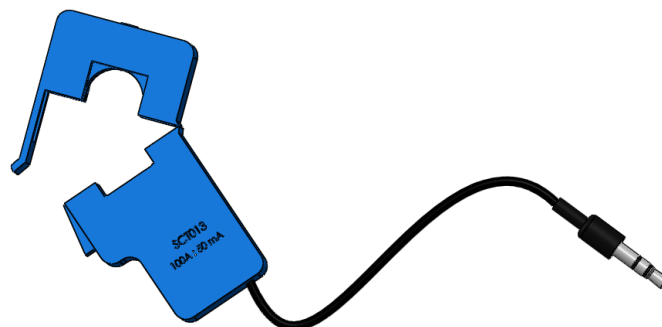
Observe que como a relação entre a corrente e tensão são inversas, o efeito é a diminuição de tensão em detrimento do aumento de corrente ou o oposto, aumento de tensão e diminuição da corrente, obedecendo o princípio de conservação de energia.

1.5.4.1 Transformador de Corrente de Núcleo Dividido

O *Split Core Current Transformer* (SCT), chamado por diversos outros nomes, como transformador de corrente de núcleo bipartido, ou ainda de núcleo aberto.

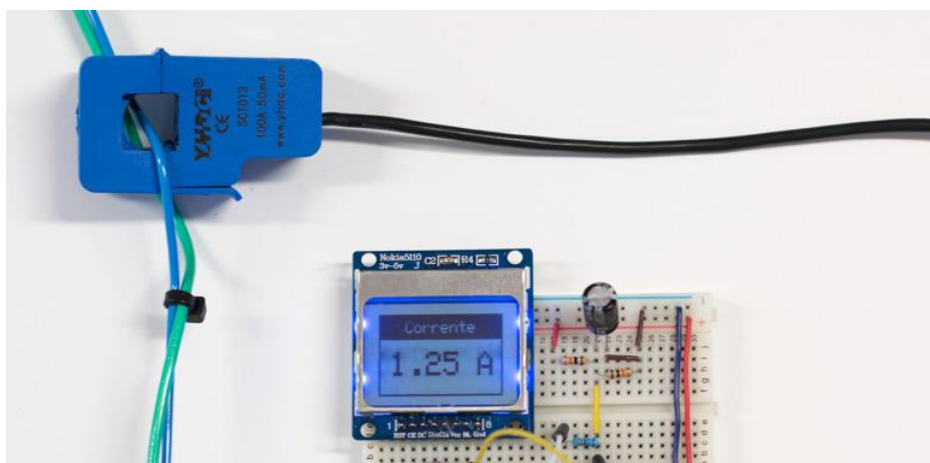
Transformador de corrente de núcleo dividido é prático e viável, pois permite a instalação do transformador de forma rápida, sem a necessidade de desconectar cabos ou cortar o fornecimento de energia, devido ao seu tipo de construção mecânica que permite a passagem do condutor pelo seu interior através de um mecanismo semelhante à uma dobradiça. Conforme ilustrado nas figuras 15 e 16.

Figura 15 - Transformador de Corrente de Núcleo Aberto



Fonte: (SEGURA, 2016)

Figura 16 - Medição de Corrente pelo SCT



Fonte: (THOMSEN, 2015)

Por conseguir induzir uma corrente proporcional para um circuito específico ligado à um microprocessador ou microcontrolador o SCT também é chamado de sensor de corrente não invasivo.

1.6 Software

É o conjunto de instruções e informações que trabalhando juntamente com o hardware adequado permitem o funcionamento previsto. Existem softwares de diversos tipos, como, sistema operacional, aplicativo, compilador, web, drivers, jogos etc. Abaixo estará descrito os quais serão utilizados.

1.6.1 Linguagem de Programação C/ C++

Para o funcionamento correto do protótipo, será necessário programar o microcontrolador, a linguagem utilizada será o C++, e o compilador será a IDE do Arduino.

C é uma linguagem de programação estruturada, criada em 1972 por Dennis Ritchie, idealizada para o desenvolvimento do sistema operacional Unix, até a elaboração deste documento continua sendo uma das linguagens mais utilizadas, tendo influenciado outras linguagens como Java e C++.

C++ teve seu início no começo da década de 80, desde 1990 uma das linguagens de programação mais usadas, diferentemente do C, é orientada a objetos, tendo ainda conceitos como classes, abstração, encapsulamento, herança e polimorfismo.

1.6.2 Blynk 2.0

O Blynk é um pacote de *softwares* de *IoT* totalmente integrado. Tendo o necessário para

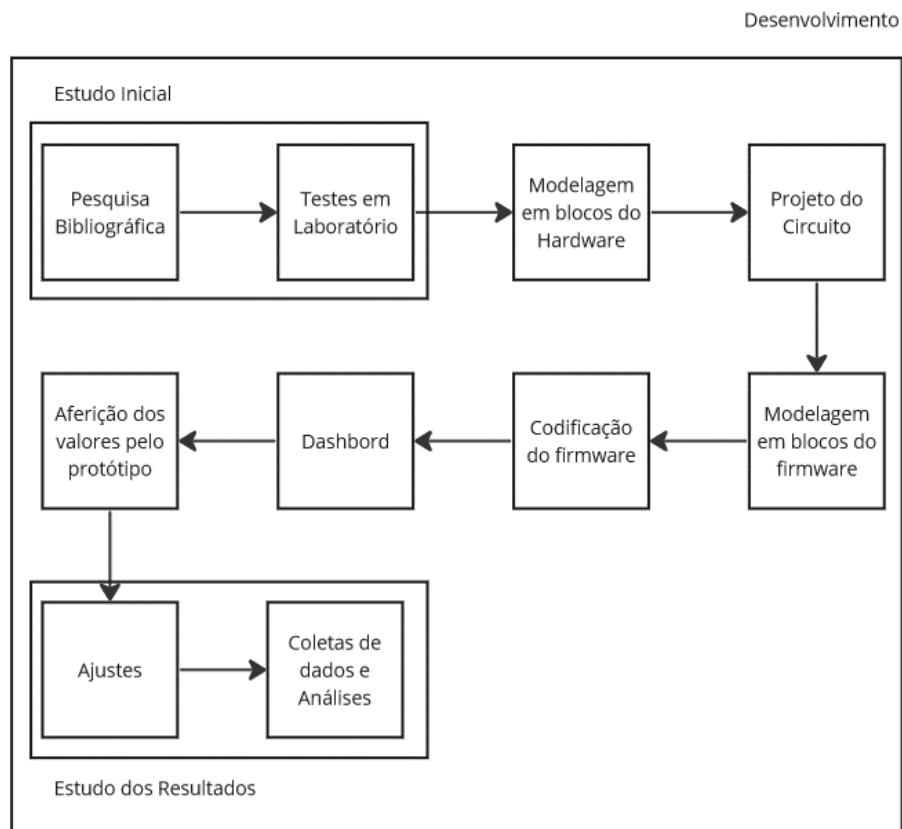
gerenciar e conectar *hardwares*, exibindo informações de dispositivos, dados de sensores, controle remoto através de aplicação *web* ou *mobile*. Oferecendo ainda serviços de armazenamento em nuvem com segurança, análise de dados, controle de usuário e acesso, alertas e automações. (BLYNK, s.d. **tradução nossa**).

Devido à criptografia, facilidade de uso e as capacidades supracitadas, o Blynk será utilizado para exibir os dados coletados, automatizar rotinas e alertar através de *e-mail* os consumos anormais de aparelhos, ou caso o limite pré-estabelecido tenha sido superado.

2 METODOLOGIA

O presente trabalho foi uma Pesquisa Aplicada, tendo como objetivo a pesquisa explanatória e explicativa a respeito do material bibliográfico e de laboratório adquiridos sobre o assunto. Os procedimentos técnicos utilizados foram os de pesquisa bibliográfica e experimental. Quanto ao método de abordagem foi utilizado o hipotético dedutivo e elaboração pelo método de procedimento monográfico. A coleta de dados foi feita através da observação direta intensiva e documentação indireta e a análise e interpretação de seus dados, qualitativos, ocorrerá individualmente. O diagrama em blocos na figura 17 ilustra as etapas metodológicas estabelecidas neste projeto. A seguir é feita a descrição de cada uma delas.

Figura 17 - Diagrama em blocos metodológicos



Fonte: AUTOR

2.1 Estudo Inicial

Nesta etapa foram feitas pesquisas bibliográficas sobre medidores de energia, circuitos eletro/eletrônicos, eficiência energética, tecnologia de redes, microcontroladores e linguagem de programação com foco na programação do microcontrolador e web para visualização dos dados e acionamento e controle de cargas.

A pesquisa em laboratório foi realizada para coleta de dados e aferições de parâmetros

de precisão dos sensores do protótipo, para validação de conceito inicial.

2.2 Desenvolvimento

A primeira etapa do desenvolvimento após os estudos prévios foi a modelagem do diagrama de blocos digital, via *software* para levantamento das ferramentas e materiais, microcontrolador, componentes, cabos, sensores de corrente e tensão, possibilitando a montagem do protótipo.

A etapa seguinte, segunda, foi o desenho, através de software de design do *layout* do circuito que permita a aferição da passagem de corrente no condutor e aferição da tensão, para o cálculo da potência aparente.

A terceira etapa foi a elaboração e modelagem, em UML, do *firmware* a ser gravado no microcontrolador para o mesmo ser capaz de atender os objetivos do circuito, de aferir a passagem de corrente no condutor, assim como a tensão alimentando o produto do usuário.

A quarta etapa então, após modelagem, é a codificação do firmware do microcontrolador conforme modelo UML.

A quinta etapa foi o desenvolvimento do *dashboard* para exibir o consumo atual, médio, dos meses anteriores, tanto em quilowatts-hora quanto em reais, e que exibisse também o alerta caso algum produto monitorado esteja com o consumo anormal, e avisasse caso o consumo atual esteja ultrapassando o estipulado para a data sendo acessível tanto *web* ou *mobile*.

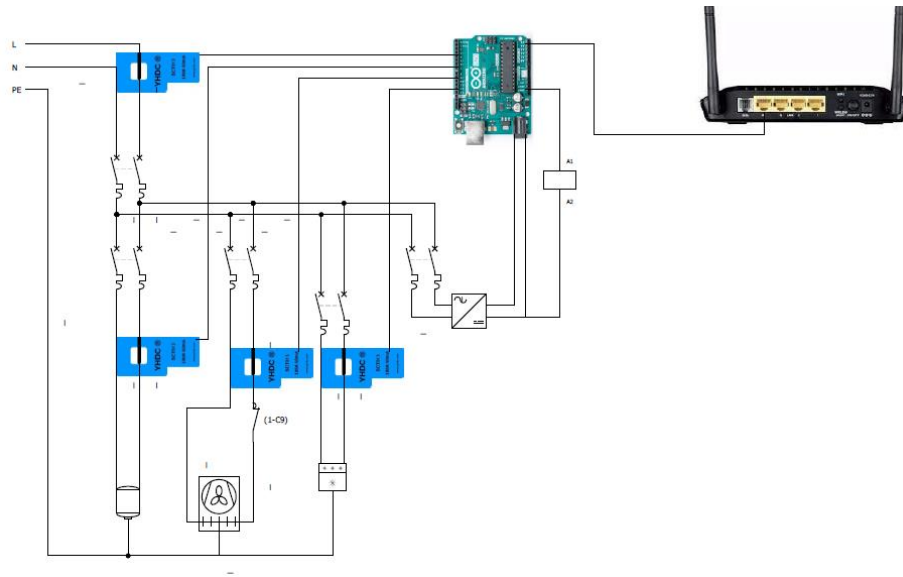
A sétima etapa foi configurar o supervisor para que os equipamentos mais relevantes monitorar o consumo jogando o valor de uma variável para alto que gera o alerta na aplicação em caso de anomalias.

Na oitava etapa, em laboratório, foi feita a aferição de corrente e tensão pelo protótipo e comparação com os valores obtidos por instrumentos de medição de marcas renomadas para fins de verificar a precisão do dispositivo projetado.

2.3 Coleta de Dados e Análise

Na nona e última etapa, foram realizados os testes, calibrações no software e ajustes no protótipo. Por fim foi preparado um circuito elétrico que possibilitasse o acionamento de cargas, medição da tensão e corrente das cargas pelo protótipo. Para que mais resultados fossem coletados e analisados para o funcionamento correto do projeto. A figura 18 ilustra o conceito inicial do diagrama do projeto.

Figura 18- Diagrama Inicial do Projeto



Fonte: AUTOR

As métricas utilizadas na validação e nos testes foram as seguintes: erro absoluto e o erro relativo. O erro absoluto corresponde à diferença algébrica entre o valor obtido e o valor verdadeiro, conforme a equação 2, e o erro relativo corresponde à normalização do erro absoluto com o valor verdadeiro que pode ser expresso em porcentagem, conforme à equação 3 (CHAPRA; RAYMOND, 2011).

$$\text{Erro absoluto} = \text{Valor medido} - \text{Valor verdadeiro} \quad (2)$$

$$\text{Erro relativo} = \frac{\text{Erro absoluto}}{\text{Valor verdadeiro}} * 100\% \quad (3)$$

3 IMPLEMENTAÇÃO

Este capítulo abordará as etapas necessárias para a realização do projeto proposto, sendo seguidos os passos de acordo com a metodologia adotada. Sendo divididos e apresentados nos seguintes tópicos:

- 1) Materiais Utilizados
- 2) Prototipagem do Hardware
- 3) Modelagem e Programação

3.1 Materiais Utilizados

Foram utilizados como equipamentos e ferramentas os seguintes materiais para a realização deste estudo:

Computador com sistema operacional Windows 11, com os softwares abaixo:

- Microsoft Office 2019
- Arduino IDE 2.1.0
- Fritzing 0.9.10
- Google Chrome versão 114.0.5735.199, para uso do:
 - Miro
 - Blynk

Ferro de solda e estanho

Multímetro com alicate amperímetro

Parafusadeira elétrica

Além disso os dispositivos que compunham o circuito eletrônico foram:

1- Placa ilha

1- ESP32 DEVKIT

1- Módulo Voltímetro

4- Transformador de Corrente de Núcleo Dividido

1- Módulo Relé 2 canais 5 Volts

4- Conectores de áudio p2 para fácil conexão dos SCT

4- Capacitores 100 μ F 16V

8- Resistores 47K Ω

1- Conectores Barra Pino Fêmea 1X40

1- Fonte DC entrada Bivolt e saída de 5V, 5A

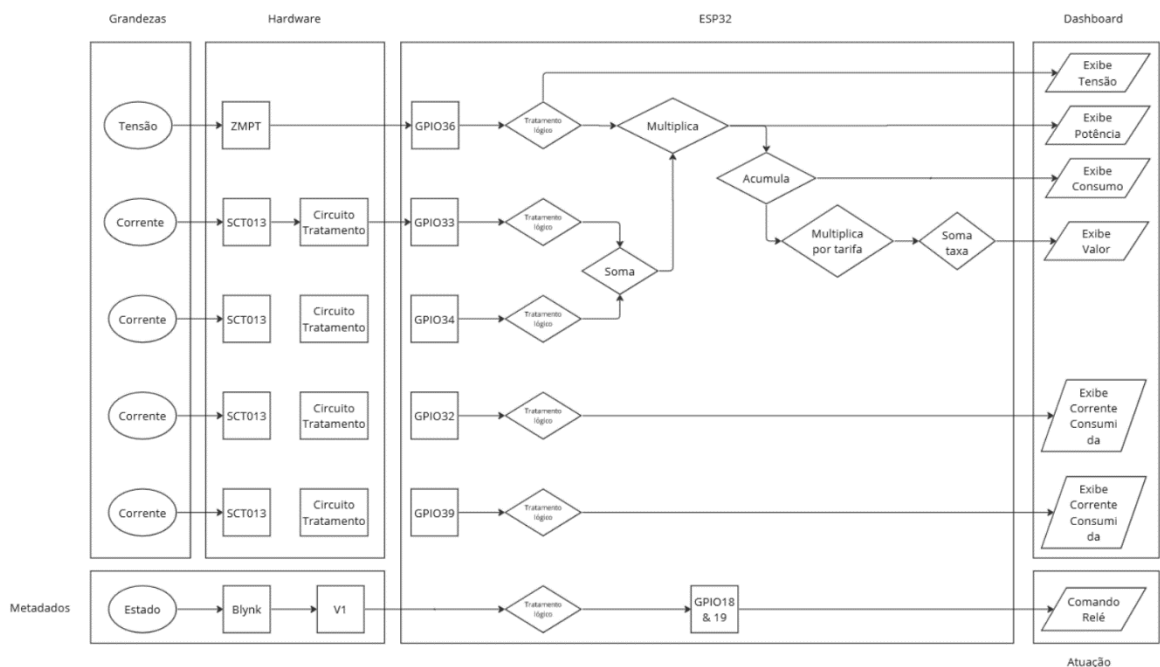
Cabos

Parafusos
 Porcas
 LED

3.2 Prototipagem do Hardware

Conforme a metodologia após a pesquisa aprofundada para possíveis hardwares, foi selecionado o ESP32, pelo bom processamento do Tensilica Xtensa LX6 de 2 núcleos presentes no DEVKIT e possuir conexão *Wi-Fi*. Foi então realizada a primeira etapa que consiste no diagrama de blocos, através da plataforma Miro, a figura 19 ilustra o conceito inicial do diagrama do projeto.

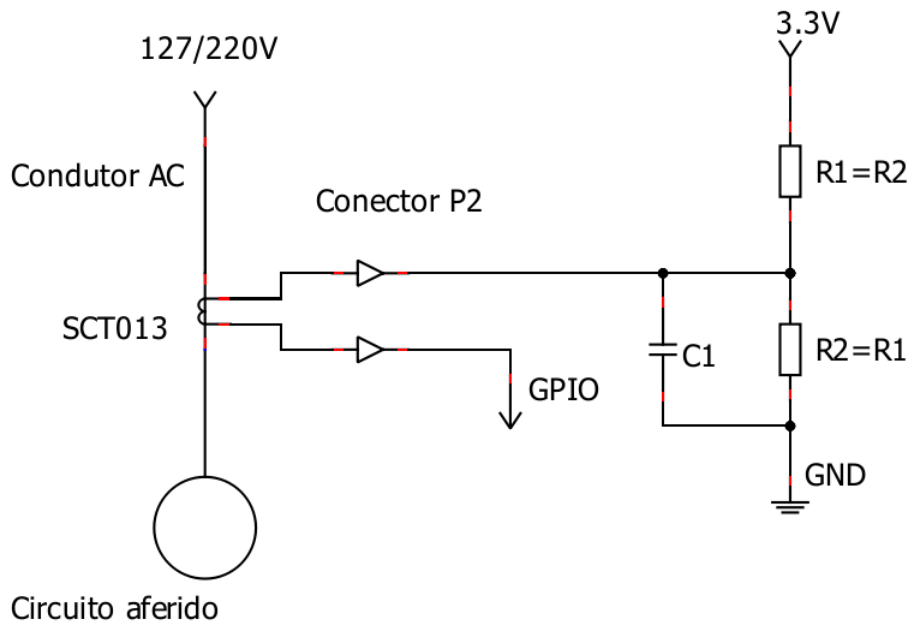
Figura 19- Diagrama de blocos do Projeto



Fonte: AUTOR

Definidos o microcontrolador, a quantidade de entradas e saídas, foi feito então o esquemático e simulação para definição dos componentes de modo a tratar o sinal recebido dos transformadores de corrente no condutor, aferição de tensão e acionamento dos módulos relês, a figura 20 mostra o esquemático gerado para a confecção da placa.

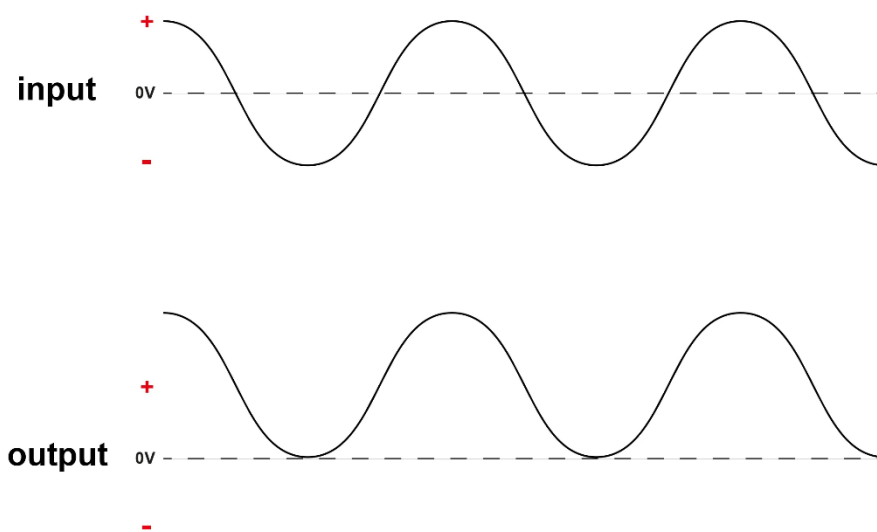
Figura 20- Esquemático para tratamento do sinal e ligação no microcontrolador



Fonte: AUTOR

O circuito divisor de tensão é responsável por acoplar o sinal, dividindo o sinal e gerando um offset, para que os conversores *ADC* (*analog-to-digital converter*), interpretem o sinal corretamente, na faixa de 0 a 3.3V em que foram projetados para operar, não ceifando nem saturando os respectivos picos negativos e positivos da onda senoidal provocados pela indução da corrente aferida, a figura 21 ilustra a onda antes e depois do circuito.

Figura 21 - Adição Offset

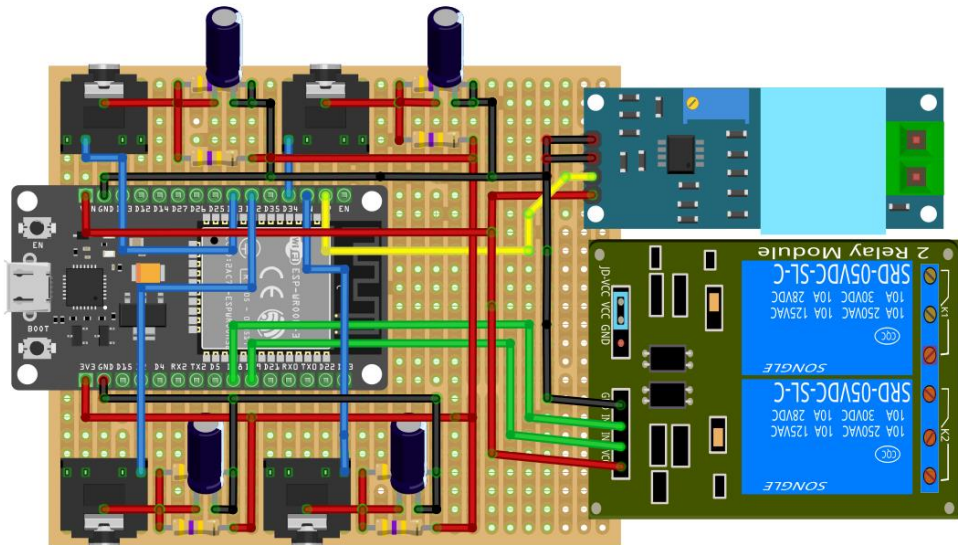


Fonte: (REDDIT, s.d.)

Seguindo-se o esquemático foi então realizado o design da placa de circuito, visto que para se obter o sinal com o *offset* supracitado é necessário também alimentar o circuito com

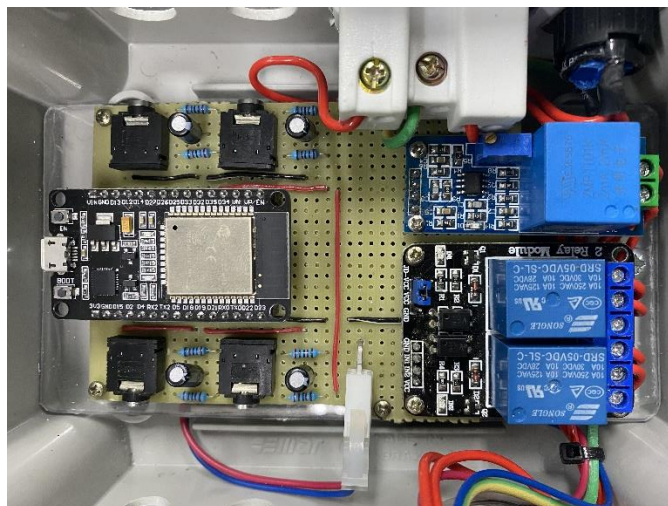
uma tensão, neste caso, para manter o sinal no centro da capacidade do ADC, de 1,5V, fora alimentado com 3V e dividido através de resistores com valores ôhmicos altos, e equivalentes. Almejando-se organização e estética, obtivemos o seguinte resultado através do *software Fritzing* a figura 22 exhibe o *layout* gerado para a confecção da placa, a figura 23 mostra a placa confeccionada e enclausurada para evitar choques elétricos.

Figura 22- Layout digital



Fonte: AUTOR

Figura 23 - Placa confeccionada

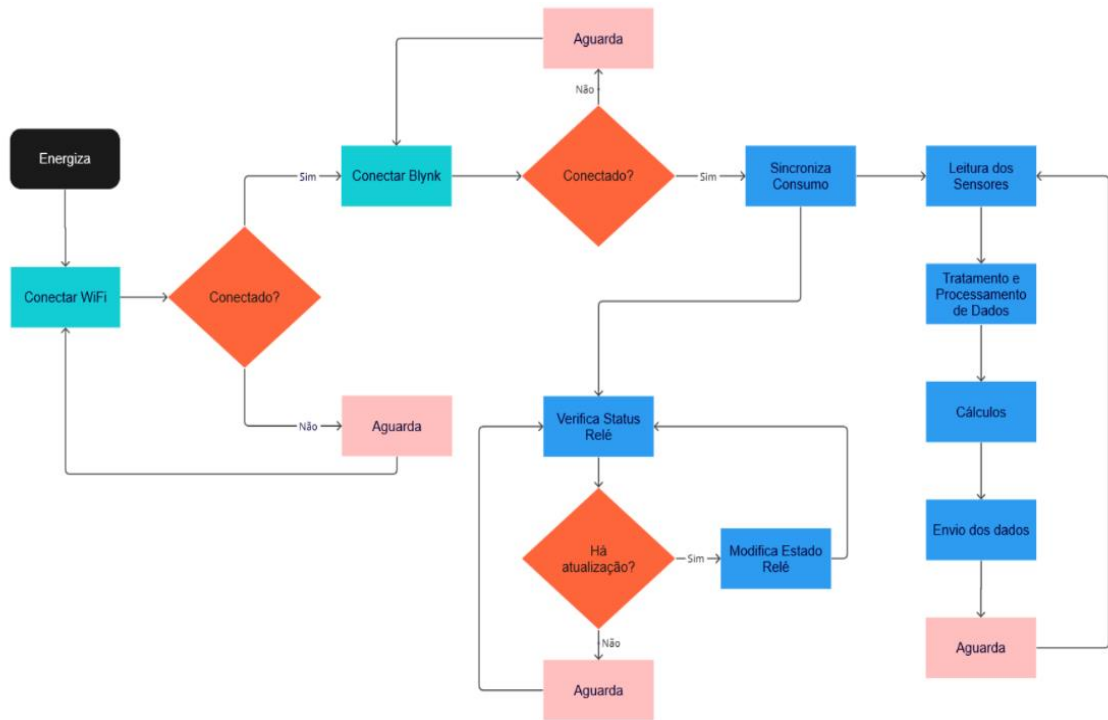


Fonte: AUTOR

Foi então modelado o fluxograma do *firmware* do microcontrolador em UML, através da plataforma miro, para que auxiliasse na manutenção dos requisitos e na codificação que é o passo seguinte. A programação do *firmware* do ESP32, foi através da IDE do Arduino, pois o mesmo além de compatível com a placa de desenvolvimento, já possui as bibliotecas para a

comunicação Wi-Fi, comunicação com a plataforma Blynk, e conversão dos valores RMS das ondas lidas pelos sensores, a figura 24 exibe o fluxograma do *firmware* desenvolvido para o ESP32.

Figura 24 - Fluxograma do firmware



Fonte: AUTOR

Para atender da quinta a sétima etapa foi utilizada a plataforma *Blynk*, conforme mencionada nas referências bibliográficas, possui as ferramentas necessárias para atender os requisitos como supervisor, exibindo os valores de consumo, valor da fatura, gráficos de consumo por circuito, tensão e acionamento de cargas. Gerar os alarmes e notificar por *e-mail*, além de realizar automações. Além de fazer o acompanhamento pelo navegador *web*, a plataforma permite criar uma aplicação *mobile*, de forma intuitiva.

Para esta atividade, foram necessários os seguintes passos, cadastro na plataforma, criar um projeto, selecionar o microcontrolador, e configurar a conexão *Wi-Fi*. Após isto, desenhar a forma de exibição do supervisor, com seus respectivos metadados correspondentes, conforme o diagrama de blocos. A plataforma então gera um código de autenticação e o que necessita ser inserido no *firmware*. A figura 25 mostra o dashboard e a 26 o código de autenticação para o microcontrolador acessar a plataforma e a rede *Wi-Fi*.

Figura 25 - Supervisório desenhado



Fonte: AUTOR

Figura 26 - Autenticação no Blynk e Wi-Fi no firmware

```

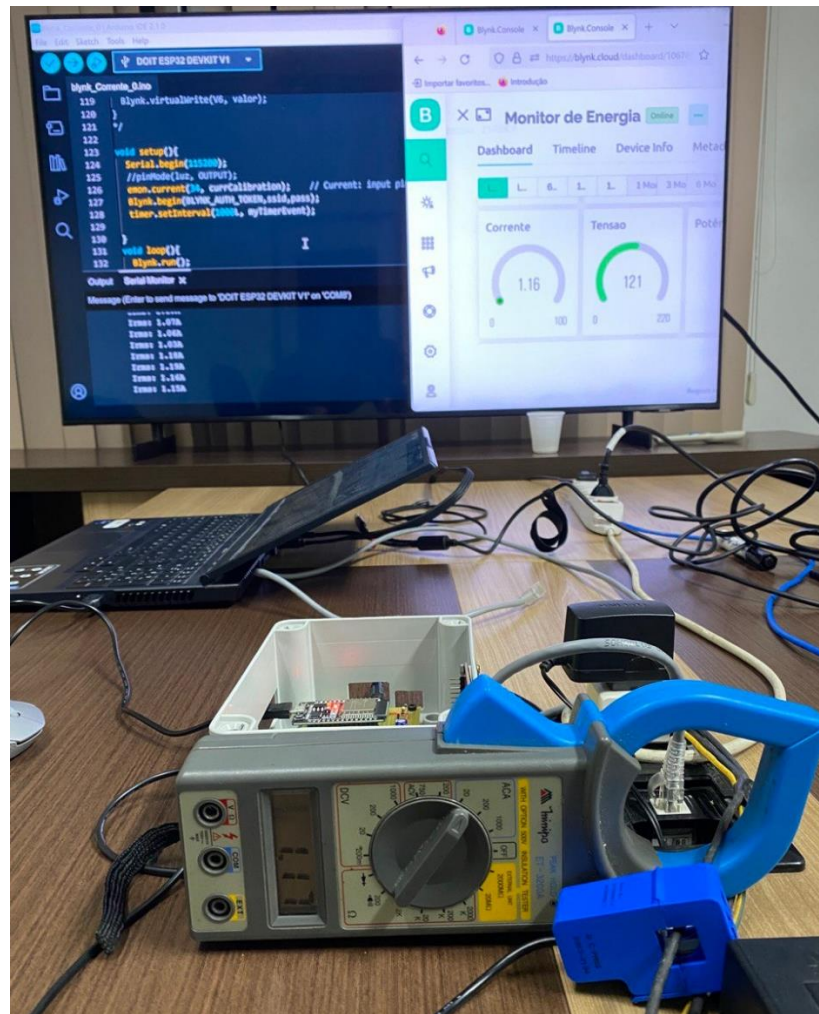
12 #define BLYNK_AUTH_TOKEN "(Seu código, sem parênteses)"
13 char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;
14
15 char ssid[] = "(Sua rede, sem parênteses)";
16 char pass[] = "(Senha da rede, sem parênteses)";

```

Fonte: AUTOR

Com o circuito confeccionado, firmware programado, e supervisório prontos, foram então realizadas as medições com o protótipo e com o alicate amperímetro de referência. De início foi extrapolado um valor para a constante para ajuste no firmware do microcontrolador, e através do método de calibração pontual as constantes foram reguladas para um valor que se mais aproximasse do instrumento de referência. A figura 27 mostra as etapas de calibração e coleta de dados.

Figura 27 – Calibração dos sensores no firmware



Fonte: AUTOR

4 RESULTADOS

Os resultados foram subdivididos em 3 tópicos, com o objetivo de expor os resultados obtidos quanto ao *hardware e firmware* desenvolvidos, *dashboard* e informações exibidas, por fim validar as informações através de testes, bem como alarmes, acionamentos e automações propostos no início.

4.1 *Hardware e Firmware*

Afim de iniciar a programação do firmware e teste da placa confeccionada, sem suspeitas quanto ao funcionamento dos sensores, conexões e sinais. Foi realizada uma avaliação quanto aos sensores através do uso de osciloscópio e verificado a forma de onda e nível de d.d.p.

Para o módulo voltímetro AC, foi conectado à alimentação DC de 5V, as pontas de provas do osciloscópio em suas respectivas polaridades, e então realizados os testes com tensão AC em 127V e 220V.

De forma análoga foi realizado com os sensores de corrente SCT, no qual foi aberto o sensor de corrente, colocado o condutor elétrico de forma que quando fechasse o fio ficasse no interior do transformador, e analisado a forma de onda e seu respectivo nível.

Com a confirmação do funcionamento correto dos sensores, após a calibração no firmware foi então comparado o valor medido pelo protótipo com o valor aferido pelo alicate amperímetro. Com um televisor grande e um *notebook* como carga, a aferição do amperímetro foi de 1,17A, enquanto que na solução desenvolvida 1,16A, uma variação de 0,85%. Considerando-se que é um protótipo de custo relativamente baixo, e não será usado para tarifar a conta de energia, o erro pode ser considerado aceitável. Com relação à diferença de potencial, o valor aferido pelo multímetro em ambas as situações mostrou uma variação nula.

4.2 *Dashboard*

Tendo em vista que os valores aferidos eram promissores, para a exibição dos dados coletados de forma organizada e descomplicada, foi viabilizado o acesso ao possível usuário, por plataforma *web*, de tal forma que protegesse os dados e controlasse o acesso, afim de impedir desconfiguração ou descontrole das cargas de forma indesejada. Visando a *cyber* segurança, além das senhas e *tokens* de segurança já citados no capítulo anterior, é necessário acessar com usuário e senha na plataforma. Desta forma é possível o usuário acessar através do browser de qualquer lugar do planeta, bastando conexão com a *internet* de ambos os lados e

login. Através da mesma plataforma é possível configurar os alarmes, acionamentos e automações, descritos no próximo subtópico.

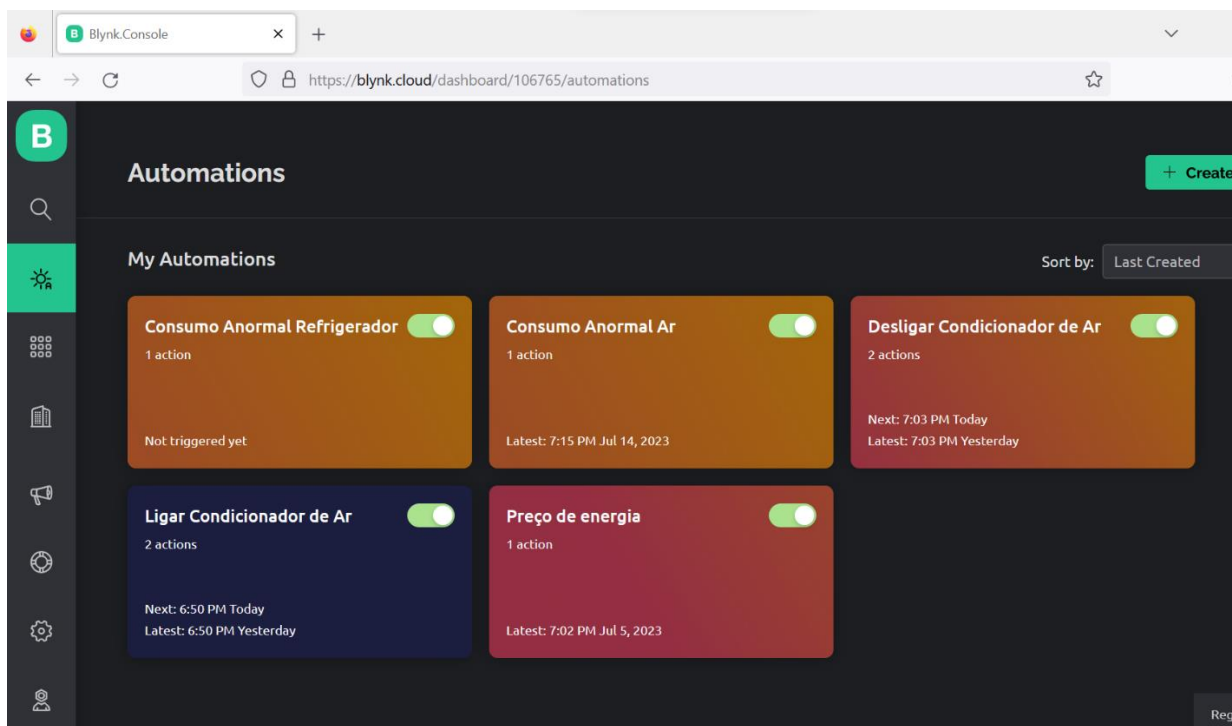
Em uma tela única são exibidas as informações de consumo de corrente instantâneas, de uma ou duas fases no formato de gauge. A tensão de linha, no mesmo formato. O consumo em reais, com fundo de escala que pode ser escolhido pelo usuário. Desta forma a cor varia conforme o valor já utilizado. O consumo também em kWh, partindo do pressuposto que as cargas são puramente resistivas, pois é a exibição padrão da plataforma na forma numérica. Também consta o botão para acionamento de carga, e gráficos de histórico de consumo dos valores de corrente de consumo geral, refrigerador e condicionador de ar.

4.3 Acionamentos, Alarmes, Automações e Testes

Por fim, foram realizados os testes de acionamento da carga, primeiramente só o teste do módulo relé, verificado seu perfeito funcionamento, através do botão no supervisório chaveando tais dispositivos, foi conectado ao terminal comum o cabo de alimentação, e normalmente fechado o cabo para o dispositivo à ser energizado. Desta forma por qualquer razão caso sistema esteja com falha, é só desenergizar o protótipo para que a carga opere normalmente. Então o botão também foi testado e constatado o correto funcionamento.

Os alarmes e automações podem ser estabelecidos na aba de automações da plataforma *Blynk*, sendo que, o alarme nada mais é que uma automação tendo como gatilho um evento com notificação na plataforma, aplicativo ou *Email*. Desta forma, foi criado o alarme do preço de energia, que caso o consumo ultrapasse o valor pré-definido um *Email* informativo é enviado. De forma análoga os alarmes de consumo dos dispositivos monitorados ocorre, registrado o valor limite, quando ultrapassado, o usuário é notificado sobre tal ocorrência. De modo similar, a automação de ligar e desligar a carga ocorrem, quando chega o horário pré-determinado, o relé é comutado, trocando seu estado ligando ou desligando a depender do seu valor anterior. A figura 28 mostra a aba das automações criadas.

Figura 28 - Automações geradas



Fonte: AUTOR

4.4 Análise Quantitativa

A tabela 1, mostrada a seguir representa as medições realizadas pelo protótipo em comparação com um multímetro de referência onde a primeira coluna reflete a medição que foi realizada, a segunda o valor da corrente da fase aferido pelo multímetro, a terceira, a corrente da mesma fase aferida pelo protótipo, a quarta e quinta os erros absolutos e relativos, respectivamente.

Tabela 1 – Comparativo de medições entre o multímetro e o protótipo

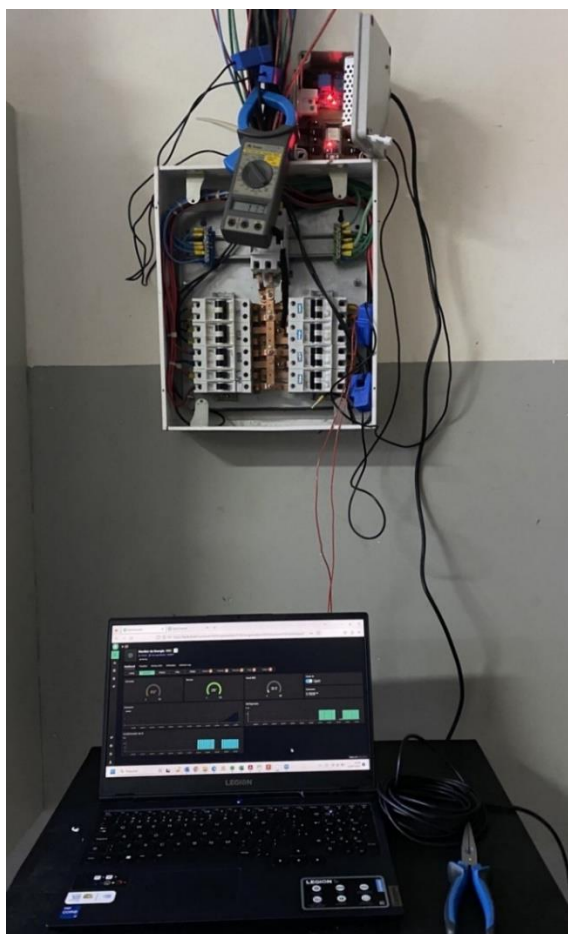
Medição	Valor Aferido (A)		Desvio	
	Multímetro	Protótipo	Absoluto	Relativo (%)
1	1.17	1.17	0.00	0.28
2	1.51	1.50	-0.01	-0.48
3	1.24	1.24	0.00	0.38
4	1.89	1.88	-0.01	-0.49
5	1.67	1.67	0.00	-0.07
6	1.42	1.43	0.01	0.57
7	1.77	1.76	-0.01	-0.36
8	1.98	1.97	-0.01	-0.45
9	1.62	1.63	0.01	0.60
10	1.13	1.13	0.00	-0.31
11	1.56	1.57	0.01	0.43
12	1.81	1.81	0.00	0.05

13	1.2	1.20	0.00	-0.14
14	1.47	1.48	0.01	0.55
15	1.91	1.90	-0.01	-0.50
16	3.90	3.91	0.01	0.22
17	4.49	4.51	0.02	0.46
18	4.59	4.57	-0.02	-0.48
19	4.05	4.07	0.02	0.40
20	3.93	3.92	-0.01	-0.15
21	4.70	4.70	0.00	-0.03
22	4.42	4.42	0.00	-0.03
23	4.10	4.10	-0.01	-0.22
24	4.66	4.68	0.02	0.49
25	3.79	3.76	-0.03	-0.75
26	4.66	4.67	0.01	0.27
27	3.64	3.65	0.01	0.28
28	4.71	4.69	-0.02	-0.42
29	4.30	4.31	0.01	0.28
30	4.36	4.34	-0.02	-0.40

Fonte: AUTOR

Nos testes funcionais foi possível verificar que o sistema se comportou conforme as expectativas, tendo em vista que os sensores já haviam sido calibrados, o dashboard transmitia os valores lidos pelos módulos integrados, bem como o restante das validações. Os valores mostrados no dashboard eram próximos dos aferidos pelos multímetros referência. Sendo a maior diferença absoluta -0.03, decorrendo na maior diferença relativa 0.75A figura 29 mostra as etapas de teste da solução em comparação com o multímetro comercial.

Figura 29 - Testes funcionais



Fonte: AUTOR

4.5 Comparação com Soluções de Mercado

A tabela 2, mostrada a seguir representa os valores investidos na confecção do protótipo, enquanto a tabela 3 mostra o custo para implementar com soluções de mercado funções de medição, e acionamento de cargas.

Tabela 2 – Custo do protótipo

Quantidade	Item	Preço Unitário	Sub-Total
1	ESP32	R\$ 50.00	R\$ 50.00
4	SCT013	R\$ 50.00	R\$ 200.00
3	Mod. Voltímetro	R\$ 50.00	R\$ 150.00
1	Mod. Relé	R\$ 15.00	R\$ 15.00
1	Placa Ilha	R\$ 50.00	R\$ 50.00
5	Conectores	R\$ 2.00	R\$ 10.00
1	Componentes	R\$ 25.00	R\$ 25.00
1	Fonte 5V 3A	R\$ 30.00	R\$ 30.00
1	<i>Miscellaneous</i>	R\$ 50.00	R\$ 50.00
Total			R\$ 580.00

Fonte: AUTOR

Tabela 3 – Custo do protótipo

Quantidade	Item	Preço Unitário	Sub-Total
1	Multimedidor	R\$ 2,500.00	R\$ 2,500.00
4	SCT013	R\$ 50.00	R\$ 200.00
1	Tomada Controlada	R\$ 150.00	R\$ 150.00
1	<i>Raspberry pi 4</i>	R\$ 900.00	R\$ 900.00
Total			R\$ 3,750.00

Fonte: AUTOR

Realizando o comparativo, o custo é de aproximadamente R\$580,00 da solução desenvolvida contra R\$ 2.850,00. É possível ainda adicionar um *raspberry pi* para exibir os dados coletados, gerar alarmes e automatizar, porém, aumentaria o custo para a solução comercial em R\$900,00, totalizando R\$3.750,00. O valor das diferenças fica em R\$2.270,00 e R\$3.170,00, 291% e 446% respectivamente. Considerando que para a segunda opção ainda seria necessário também desenvolver os softwares. E que apesar da solução comercial ter suas homologações, ainda assim, não seria possível substituir os medidores de energia da distribuidora.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve o intuito de implementar uma solução para o gerenciamento de energia através do uso de microcontrolador para monitorar e gerenciar a energia elétrica e controlar o acionamento de carga, visando a redução de consumo e consequentemente baixar o preço da conta de energia.

Foi apresentado um referencial teórico a respeito dos principais conceitos utilizados entre as fases de desenvolvimento da pesquisa, concepção da solução e implementação do projeto. De forma objetiva para o leitor possuir embasamento para o entendimento do desenvolvimento. Tendo sido explanado desde conceitos elétricos, como potência e energia, aos equipamentos de medição, *hardware* e *software*.

O método proposto consistiu em modelar e desenvolver um *hardware* e respectivo firmware capazes de aferir corrente e tensão AC, modelar e implementar uma tela que possibilite o usuário de interpretar tais medições e acionar as cargas. Além da criação de alertas e automações, e testes de cada implementação ou função criada.

Avaliando os resultados alcançados com os objetivos definidos no início do projeto, pode-se considerar que são satisfatórios, pois foi possível construir um protótipo capaz de monitorar a potência consumida, alertar em caso de consumo excessivo, notificar em caso de consumo anormal em circuitos monitoradas isoladamente, monitorar o consumo histórico do circuito geral ou de específicos do quadro, foi implementado ainda além dos acionamentos de carga propostos de modo remoto, a automação de ligar e desligar em dias e horários selecionados, de forma a otimizar o consumo aliado ao conforto, como por exemplo ligar um condicionador de ar no horário de saída do trabalho, para na chegada ao lar a temperatura estar conforme a selecionada no aparelho, e desliga-lo pouco antes de despertar pois o ambiente mantém por um curto período a temperatura.

O custo para implementar o projeto é relativamente baixo, se comparado às soluções encontradas prontas no mercado, com o microcontrolador podendo ser encontrado por menos de R\$50,00, o sensor de corrente também por menos de R\$50,00, assim como módulo voltímetro por menos de R\$50,00 e módulo relé por cerca de R\$15,00 no ano de 2023. Contra R\$150,00 por um dispositivo que apenas aciona cargas remotamente, e R\$2.500,00 por um dispositivo que mede energia, porém não entrega os valores já em um supervisor. Com os *softwares* necessários para uso da solução desenvolvida sendo gratuitos.

Sugere-se como continuação deste trabalho a análise de viabilidade para desenvolvimento do *front end* e *back end*, para não depender de serviços de terceiros como o *Blynk*, apesar de haver outras soluções gratuitas disponíveis, entretanto haveria um maior

consumo energético para hospedar o supervisor em um servidor local, assim como expõe a rede a vulnerabilidades, caso o acesso possa ser remoto. Outras possibilidades para continuação de estudo é a pesquisa de redução do custo caso seja confeccionada em escala em uma linha SMT, em uma PCBA desenvolvida exclusiva para este fim. Verificar ainda a possibilidade do monitoramento do fator de potência. Ou também testes mais longos para verificar a robustez da solução e em quanto tempo seria necessária uma manutenção ou troca de componentes. E ainda fugindo um pouco mais, o emprego de IA para manutenção preditiva dos equipamentos monitorados, visto que é possível gerar uma grande quantidade de dados para análise.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRACEEL. **Valor alto pago na energia elétrica impacta orçamento**. 2020. Disponível em: <<https://abraceel.com.br/clipping/2020/02/valor-alto-pago-na-energia-eletrica-impacta-orcamento/>>. Acesso em 20 Jul 2021.

ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew N. O. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. 3 Ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.

AMOROSO, Danilo. **Como organizar os componentes dentro do PC para ter um melhor fluxo de ar**. 2012. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/manutencao-de-pcs/22703-como-organizar-os-componentes-dentro-do-pc-para-ter-um-melhor-fluxo-de-ar-video-.htm>>. Acesso em 13 Jul 2021.

ESP32. [s.d.] Disponível em: <<http://esp32.net/>>. Acesso em 03 Ago 2023.

GITHUB. **DOIT ESP32 DEVKIT V1 Board**. 2017. Disponível em: <<https://github.com/espressif/arduino-esp32/issues/544>>. Acesso em 03 Ago 2023.

MAKERHERO. **Sensor de Tensão**. [s.d.] Disponível em: <<https://www.makerhero.com/produto/sensor-de-tensao-ac-0-a-250v-voltmetro-zmpt101k/>>. Acesso em 03 Ago 2023.

REDDIT. **DC Offset**. [s.d.] Disponível em: <https://www.reddit.com/r/AskElectronics/comments/n2ejk6/can_anyone_direct_a_beginner_to_a_simpleish/?rdt=38176>. Acesso em 03 Ago 2023.

VISION360. **Conceitos laboratório**. 2022. Disponível em: <<https://www.vision360treinamentos.com.br/alguns-conceitos-praticos-dentro-do-laboratorio-voce-esta-familiarizado-a-eles/>>. Acesso em 03 Ago 2023.

Arduino Ethernet Shield V1. [s.d.] Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoEthernetShieldV1>>. Acesso em 23 Jun 2021.

Arduino Uno Rev3. [s.d.] Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>. Acesso em 23 Jun 2021.

BATISTA, Vera; CHABALGOITY, Gabriela. **Energia pressiona e inflação é a mais alta de maio em 25 anos.** 2021. Disponível em: <<https://www.correiobraziliense.com.br/economia/2021/06/4930248-energia-pressiona-e-inflacao-e-a-mais-alta-de-maio-em-25-anos.html>>. Acesso em 29 Jun 2021.

BOUHID, Carlos. **Como funciona o Selo Procel.** 2018. Disponível em: <<https://www.dusolengenharia.com.br/post/como-funciona-o-selo-procel/>>. Acesso em 18 Jul 2021.

CHAPRA, S. C.; RAYMOND P. C. **Métodos Numéricos para Engenharia.** 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

CONNECTA FG. **Como usar o Alicates Amperímetro.** 2018. Disponível em: <<http://conectafg.com.br/alicates-amperimetro-saiba-tudo-sobre/>>. Acesso em 18 Jul 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Eficiência Energética.** [s.d.] Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>>. Acesso em 16 Jul 2021.

FREITAS, Caroline. **Entenda o reajuste na conta de energia e o impacto no seu bolso.** 2021. Disponível em: < <https://www.agazeta.com.br/es/economia/entenda-o-reajuste-na-conta-de-energia-e-o-impacto-no-seu-bolso-0621> >. Acesso em 30 Jun 2021.

G1. **Aneel aprova campanha de uso consciente da energia elétrica em razão da crise hídrica.** 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/07/06/aneel-aprova-campanha-de-uso-consciente-da-energia-eletrica-em-razao-da-crise-hidrica.ghtml>>. Acesso em 23 Jun 2021.

INGRAMS, Sarah. **Smart meter roll-out.** 2021. Disponível em: < <https://www.which.co.uk/reviews/smart-meters/article/smart-meters-explained/smart-meter-roll-out-aQZIOB2Jose> >. Acesso em 15 Jul 2021.

IPERNITY. **GE I-50-S watt hour meter**. [s.d.] Disponível em: <<http://www.ipernity.com/doc/ndlinegeek/45555982>>. Acesso em 15 Jul 2021.

MAMEDE, J. F. **Instalações Elétricas Industriais**. 8ª Edição. Rio de Janeiro: Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A. 2010.

MERCADOLIVRE. **Broadlink Sp2 Tomada Inteligente Wifi Padrão Brasileiro**. [s.d.] Disponível em: < https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1761719319-broadlink-sp2-tomada-inteligente-wifi-padro-brasileiro-10a-JM#position=3&search_layout=grid&type=item&tracking_id=fc20224a-85f5-4be3-9bea-2240ac1902e1>. Acesso em 19 Jul 2021.

MITSUBISHI. **Multimedidores de Energia ME96SS Versão B**. 2019. Disponível em: < https://conteudo.br.mitsubishielectric.com/multimedidores_potencia?utm_source=potencia&utm_medium=cpc>. Acesso em 19 Jul 2021.

MITSUBISHI. **ELECTRONIC MULTI-MEASURING INSTRUMENT ME96SS**. 2019. Disponível em: < http://sg.mitsubishielectric.com/fa/en/download_files/power/meter/Power_Meter_ME96SS_VerB_2019.pdf>. Acesso em 19 Jul 2021.

MOUSER. **Microchip Technology ATmega1609 8-bit**. 2019. Disponível em: < <https://br.mouser.com/new/microchip/microchip-atmega1609-mcu/>>. Acesso em 30 Jun 2021.

PROCELINFO. **Selo Procel**. [s.d.] Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=%7B88A19AD9-04C6-43FC-BA2E-99B27EF54632%7D>>. Acesso em 18 Jul 2021.

SEGURA, Miguel R. **Current sensor SCT013**. 2016. Disponível em: < <https://grabcad.com/library/current-sensor-sct013-sensor-de-corriente-1>>. Acesso em 30 Jun 2021.

SIMABUKULO, Lucas A. N. et al **Energia, industrialização e modernidade. História**

Social. 2006. Disponível em: <http://www.museudaenergia.org.br/media/63129/03.pdf>. Acesso em 22 Jun 2021.

TEIXEIRA, Pedro. **CNE estima que apagão trouxe prejuízo de R\$ 190 milhões para economia do Amapá.** 2021. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53153642/cne-estima-que-apagao-trouxe-prejuizo-de-r-190-milhoes-para-economia-do-amapa>>. Acesso em 30 Jun 2021.

THOMSEN, Adilson. **Medidor de corrente não invasivo com Arduino.** 2015. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/medidor-de-corrente-sct013-com-arduino/>>. Acesso em 28 Jun 2021.

WIKIPEDIA. **Triângulo de potências.** [s.d.] Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Tri%C3%A2ngulo_de_pot%C3%A2ncias>. Acesso em 28 Jun 2021.

WIKIWAND. **Espira (eletromagnetismo)** [s.d.] Disponível em: [https://www.wikiwand.com/pt/Espira_\(eletromagnetismo\)](https://www.wikiwand.com/pt/Espira_(eletromagnetismo))>. Acesso em 28 Jun 2021.

OUTRAS OBRAS CONSULTADAS

AID. **ANEEL define que bandeira tarifária de julho custará R\$ 9,492 a cada 100 kWh.** 2021. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/bandeira-de-julho-sera-vermelha-patamar-2-valores-saem-na-terca-feira-29-6/656877?inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fsala-de-imprensa-exibicao%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_XGPXSqdMFHrE%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_count%3D3>. Acesso em 25 Jun 2021.

BORGES, Roberto. **Tensão nominal (fase-neutro) nas cidades brasileiras, por estado.** 2019. Disponível em: <https://www.inf.ufrgs.br/~cabral/Tensao.nominal.estados.Brasil.html>>. Acesso em 16 Jun 2021.

BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. 8 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

CIRCUIT GLOBE. **Energy Meter**. (s.d.) Disponível em: < <https://circuitglobe.com/energy-meter.html> >. Acesso em 17 Jun 2021.

ELECTRICAL4U. **Construction of AC Energy Meter**. 2020. Disponível em: < <https://www.electrical4u.com/construction-of-ac-energy-meter/> >. Acesso em 17 Jun 2021.

ENERGYACTION. **THE HISTORY OF THE ELECTRIC METER**. 2017. Disponível em: < <http://energyaction.ie/fuel-poverty-conference/history-of-the-electric-meter/> >. Acesso em 17 Jun 2021.

GOLDEMBERG, José. **Energia e desenvolvimento**. 1998. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/ea/a/kPNDL4zBm8dMYXgyg4NKf7h/?lang=pt> >. Acesso em 25 Jun 2021.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert, Walker Jearl. **Fundamentos de física, volume 3**, 10 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

SOUZA, Edivaldo. **Equivalência da lâmpada LED X Lâmpada incandescente**. 2018. Disponível em: < <https://www.leggu.com.br/equivalencia-da-lampada-led/#page-content> >. Acesso em 16 Jul 2021.

NERYS, José W. L. **Microprocessador 8085 Microprocessador 8088**, Notas de Aula. 2006. Disponível em: < http://www.inf.ufes.br/~zegonc/material/Introducao_a_Computacao/CPU_2.pdf >. Acesso em 21 Jun 2021.

PINHO, Márcio S. **Introdução à Linguagem C** (s.d.). Disponível em: < <https://www.inf.pucrs.br/~pinho/LaproI/IntroC/IntroC.htm> >. Acesso em 25 Jun 2021.

SANTANA, Sílvia F. **Componentes Funcionais do Computador** [s.d.] Disponível em: < <http://www.ic.uff.br/~aconci/componentes.html> >. Acesso em 21 Jun 2021.

SANTOS, Elton M.S. **A relação do Homem com o processamento de energia e seu consumo**

[s.d.]

Disponível

em:

<

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi6282F-M7xAhUGqZUCHeraAF4QFjAPegQIDhAD&url=http%3A%2F%2Frevista.ibict.br%2Finclusao%2Farticle%2Fview%2F4395%2F3852&usg=AOvVaw2BcF33HPad8TnaGDL8rHAM> >.

Acesso em 25 Jun 2021.