

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GABRIELA CÓRDOVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO EM
TEMPO REAL DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA
APLICAÇÕES DE MÉDIA E BAIXA POTÊNCIA**

**CAMPO MOURÃO
2021**

GABRIELA CÓRDOVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO EM
TEMPO REAL DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA
APLICAÇÕES DE MÉDIA E BAIXA POTÊNCIA**

**Development of a real-time monitoring system for electrical power
consumption for medium and low-power applications**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Me. Lucas Ricken Garcia

**CAMPO MOURÃO
2021**

GABRIELA CÓRDOVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO EM TEMPO
REAL DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA APLICAÇÕES DE MÉDIA
E BAIXA POTÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Eletrônica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 07/maio/2021

Leandro Castilho Brolin
Doutorado em Engenharia Elétrica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Marcelo Nanni
Doutorado em Engenharia Elétrica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Lucas Ricken Garcia
Mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CAMPO MOURÃO

2021

Dedico este trabalho à minha família, pelo apoio total e pela compreensão nos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

Um primeiro agradecimento ao meu orientador Prof. Me. Lucas Ricken Garcia, pela paciência, apoio e ajuda durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos professores do *Campus*, pela oportunidade de ser aluna e aprender o necessário para que esse trabalho fosse feito e abrir oportunidades do mercado de trabalho.

Um agradecimento mais que especial aos meus amigos de jornada, Anderson, Ariel, Biaggio, Eduardo, Idalberto, Rafael, Pedro e Yudi. Aos dois primeiros e mais importantes para continuação da caminhada, meu muito obrigada, sem vocês, os dois primeiros anos teriam sido muito mais difíceis. Ao grupinho mais carregado dessa UTF, vocês são demais, sorte a minha ter conhecido vocês, obrigada por tudo. Ao Rafael, obrigada pelo apoio e motivação principalmente nas noites no laboratório finalizando o TCC.

À minha família, tão importante e fundamental para essa vitória, meu agradecimento mais especial. Ao meu irmão, Cauê, obrigada pela força e por ser um fã declarado. Aos meus avós, Antônio e Dagmar, por acreditarem em mim e serem minha família mais próxima durante muito tempo. À minha avó, Araci, agradeço pelas correções feitas e o apoio infinito desde o começo, você é um exemplo para mim. Aos meus pais, não há obrigada e agradecimentos suficientes para descrever o quanto eu sou e estou agradecida por vocês, sem a força de vocês nada disso seria possível. E por fim, agradeço à minha companheira da vida, que esteve lado a lado comigo durante boa parte da trajetória, Gê, obrigada por ser minha irmã mais nova e agir como mais velha tantas vezes, você é parte fundamental dessa vitória, 16% do título é seu.

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação.”
(BEAUVOIR, 1958, p. 243).

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento em tempo real de consumo de energia elétrica aplicado a dispositivos de média e baixa potência. Esse sistema é proposto visando a obtenção de relatórios de consumo energético individual de cada dispositivo monitorado, além de uma visão geral com o cálculo do valor a ser pago por período de funcionamento dos dispositivos em questão. Acredita-se que disponibilizar as informações do padrão de consumo ao usuário possa contribuir com a economia de energia elétrica, tendo em vista a necessidade de preservação dos recursos naturais e o aumento no preço da energia elétrica. O projeto é composto por um circuito responsável pela medição de tensão e corrente através dos sensores LV25-P e LA55-P. Após a obtenção dos valores, esses sinais são condicionados por um circuito somador não-inversor com amplificador operacional para fornecer sinais compatíveis com as entradas analógicas do conversor analógico digital ADS1115 e posteriormente o módulo ESP8266, dispositivo responsável pelo processamento de software, que consiste em realizar os cálculos das amostras no período definido, e através de requisição GET, enviar os resultados para a aplicação web. O sistema foi desenvolvido de forma que ao receber os dados, a aplicação web insere os mesmos no banco de dados, qualquer alteração ocorre de forma sincronizada nas tabelas do banco de dados e nas páginas HTML, interface gráfica para o usuário.

Palavras-chave: Monitoramento; energia elétrica; LV25-P; LA55-P; ESP8266; *HTML*.

ABSTRACT

The present work exposes the development of a system for real-time monitoring of electrical energy consumption applied to medium and low power devices. This system is proposed in order to obtain individual's reports energy consumption of each monitored device, in addition to an overview with the calculation of the amount to be paid per devices operation's period. It is believed that making the consumption pattern information available to the user can contribute to saving electricity, in view of the need to preserve natural resources and also because of the electricity price's increase. The project consists of a circuit responsible for measuring voltage and current through sensors LV25-P and LA55-P. After obtaining the values, these signals are conditioned by a non-inverting adder circuit with an operational amplifier to provide signals compatible with the analog inputs of the ADS1115 digital analog converter and subsequently the ESP8266 module, the device is responsible for the software processing that consists of performing samples calculation in the defined period, and by GET request send the results to the web application. The system was developed in such a way that when receiving the data, the web application inserts them into the database, any changes occur synchronously in the database tables and in the HTML pages, graphical user interface.

Keywords: Monitoring; electrical energy; LV25-P; LA55-P; ESP8266; HTML.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – WATTÍMETRO ANALÓGICO	19
Figura 2 – Medidor de Energia Elétrica padrão	20
Figura 3 – Unidades de trabalho do Open Energy Monitor	23
Figura 4 – a) Transdutor de Corrente LEM LA55-P b) Exemplificação de conexão do transdutor LA 55-P	25
Figura 5 – Transdutor de tensão LV 25-P	25
Figura 6 – Módulo WiFi ESP8266	26
Figura 7 – Diagrama de processos do sistema	29
Figura 8 – Conexão do sensor LV 25-P	30
Figura 9 – Conexão do sensor de corrente LA 55-P	32
Figura 10 – Esquemático Fonte de Tensão 3,3 V e ± 12 V	34
Figura 11 – Circuito utilizado para inserir um nível de <i>offset</i> ao sinal	35
Figura 12 – Exemplo de sistema de aquisição de sinais	37
Figura 13 – a) Conversor analógico digital ADS1115. b) Diagrama de conexão ESP8266 e ADS1115	37
Figura 14 - Diagrama de entidade do banco de dados	39
Figura 15 - Fluxograma do algoritmo implementado	40
Figura 16- Estrutura semântica de uma página HTML	41
Figura 17 – Diagrama esquemático do circuito de tensão	43
Figura 18 – Forma de onda e tensão de pico a pico de teste realizado no circuito de tensão ligado à rede de 127 V	44
Figura 19 – Forma de onda e tensão média de teste do circuito medidor de tensão ligado à rede de 127 V	44
Figura 20 – Diagrama esquemático do circuito de corrente	45
Figura 21 – Forma de onda e tensão pico a pico de teste realizado com ferro de solda de 25 W ligado à rede elétrica de 127 V	45
Figura 22- Forma de onda e tensão pico a pico de teste realizado com ferro de passar roupa de 1200 W ligado à rede elétrica de 127 V	46
Figura 23 – Esquemático elétrico do projeto completo	47
Figura 24 – PCI do projeto - Face das trilhas após a corrosão	48
Figura 25 – Vista superior da PCI – Face dos componentes	48
Figura 26 – Teste de precisão no conversor analógica digital ADS1115	50
Figura 27 – Página inicial da página web desenvolvida para o sistema	52
Figura 28 – Página de relatório de consumo de ferro de passar roupa	52
Figura 29 – Página de relatório de consumo de ferro de solda	53
Figura 30 – Página com o relatório de consumo geral dos dispositivos	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resistências indicadas para o LV 25-P	31
Tabela 2 – Resistências indicadas do LA 55-P	32
Tabela 3 – Potência elétrica média de aparelhos.....	33
Tabela 4 – Valores referentes a entrada e saída do circuito somador.	36

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

AIE	Agência Internacional de Energia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IEA	<i>International Energy Agency</i>
TI	Tecnologia da Informação
ONS	Operador Nacional do Sistema
WiFi	<i>Wireless Fidelity</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	15
1.2	JUSTIFICATIVA	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	CONCEITOS DE POTÊNCIA ELÉTRICA	18
2.2	MÉTODOS CONVENCIONAIS DE MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	19
2.3	REDES INTELIGENTES	20
2.4	MEDIDORES INTELIGENTES.....	21
2.5	TRANSDUÇÃO DE CORRENTE ELÉTRICA E POTENCIAL ELÉTRICO	24
2.6	SOLUÇÕES PARA O PROCESSAMENTO DIGITAL E COMUNICAÇÃO SEM FIO	26
2.7	APLICAÇÃO WEB ORIENTADA A BANCO DE DADOS MYSQL.....	27
3	METODOLOGIA	29
3.1	DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA.....	29
3.2	CIRCUITO MEDIDOR DE TENSÃO	30
3.3	CIRCUITO MEDIDOR DE CORRENTE	32
3.4	FONTE DE ALIMENTAÇÃO DO SISTEMA.....	34
3.5	AQUISIÇÃO E CONDICIONAMENTO DE DADOS.....	34
3.6	CIRCUITO SOMADOR NÃO INVERSOR COM AMPLIFICADOR OPERACIONAL.....	35
3.7	CONVERSÃO ADC E CONEXÃO COM ESP8266-12	36
3.8	BANCO DE DADOS.....	38
3.9	PROGRAMAÇÃO DA ESP8266	39
3.10	ESTRUTURA DA PÁGINA WEB	41
3.11	METODOLOGIA DE TESTES	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1	TESTES DO CIRCUITO DE TENSÃO	43
4.2	TESTES DO CIRCUITO DE CORRENTE	44
4.3	PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO DO PROJETO	47
4.4	TESTES DOS CIRCUITOS MEDIDORES COM O CONDICIONAMENTO DOS SINAIS	49
4.5	AQUISIÇÃO DE DADOS E ENVIO PARA BANCO DE DADOS.....	50
4.6	SISTEMA DE MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	51
5	CONCLUSÕES	55
	REFERÊNCIAS	57
	APÊNDICE A - RESULTADO DE PESQUISA – COMPORTAMENTO DO USUÁRIO	60
	APÊNDICE B - ALGORITMO IMPLEMENTADO PARA ESP8266 – IDE ARDUINO	64
	APÊNDICE C - CÓDIGO APLICAÇÃO WEB	68

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Balanço Energético Nacional publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020), o consumo final de energia elétrica no Brasil em 2019 aumentou 1,3% em relação ao ano de 2018. O consumo de 545,6 TWh (Terawatt-hora) tem relação direta com o aumento da oferta no mesmo ano, e, segundo dados do mesmo relatório, do montante de 626,3 TWh ofertados internamente no país, 82,3% equivalem a fontes renováveis de energia, enquanto os outros 17,7% são oriundos de fontes não-renováveis.

Embora o aumento do consumo de energia elétrica no Brasil seja um indicador positivo na melhoria da qualidade de vida da população e uma maior participação industrial na economia do país, há também fatores negativos decorrentes dessa situação, como a preocupação de um possível esgotamento de fontes de energia não-renováveis e o impacto ambiental causado pelas atividades de exploração.

Além disso, falhas em componentes como usinas, linhas de transmissão, subestações e tantos outros equipamentos podem levar a grandes desligamentos com impactos econômicos e sociais de graves consequências, em consequência da grande dependência de energia elétrica por praticamente todas as atividades (ALBUQUERQUE, 1982).

Dada a dimensão e complexidade destes sistemas, é de fundamental importância para um bom funcionamento e desempenho que seja feito um planejamento de manutenções, análises completas e efetivas utilizando de programas computacionais de grande porte (ALBUQUERQUE, 1982).

Na primeira década do século XXI, ocorreu uma série de mudanças na geração e no consumo de energia elétrica, novas formas de geração e em menor escala e distribuída, principalmente com a evolução e implantação das redes inteligentes. Todas essas mudanças possibilitam a evolução dos sistemas elétricos, o que garante segurança aos consumidores (ONS, 2017).

As redes inteligentes de energia, *Smart Grids*, uma arquitetura de distribuição de energia elétrica bidirecional, dotadas de recursos de Tecnologia de Informação (TI) e de elevado grau de automação que atendem a níveis elevados de demanda no que se refere à necessidade energética e ao desenvolvimento sustentável (CPFL, 2017).

A primeira menção de redes de energia inteligentes surgiu em 2002 quando o diretor do escritório de Ciências e Políticas Tecnológicas da Casa Branca, Dr. John

Mamburger, admitiu a preocupação com a situação crítica da infraestrutura das redes elétricas americanas após recorrentes problemas causados pelo aumento da demanda sem que houvesse um acompanhamento de manutenção certificando a segurança e confiabilidade. Em meio a esse cenário, propôs-se que os avanços nos campos de computação, controle e comunicação fossem utilizados para a criação de métodos práticos e ferramentas para que ocorresse a autorregulação das redes elétricas, incluindo a reconfiguração automática e notificações instantâneas em casos de falhas, ameaças ou distúrbios (AMIN; WOLLENBERG, 2005).

Neste sentido, para a implementação de Redes Inteligentes, é necessário a utilização de medidores inteligentes (também chamados de *Smart meterings*), dispositivos eletrônicos inteligentes que possibilitam às concessionárias e aos clientes gerenciamento remoto do consumo de energia por meio de sistemas embarcados e uso de banco de dados. Esses dispositivos têm a capacidade de realizar medições, cálculos, calibração e comunicação através de hardware e software. Para que haja funcionamento total da infraestrutura de rede, medidores inteligentes são projetados para realizar funções programáveis, armazenar e transmitir dados de acordo com padrões e necessidades de cada sistema (BARAI; KRISHNAN; VENKATESH, 2015 apud MARTINS, 2016).

Um exemplo de dispositivos que seguem esta tendência de monitoramento inteligente do consumo de energia elétrica, é o apresentado por Iaronka (2019), que desenvolveu um dispositivo denominado por ele um multimedidor de energia elétrica inteligente. O propósito do dispositivo é obter o consumo de energia em tempo real, o padrão de consumo, além do valor a ser pago. A aplicação do mesmo é para residências alimentadas em baixa tensão, e visa o controle do consumo de energia elétrica internamente na residência aplicada (IARONKA, 2019).

Estes dispositivos podem ter uma aplicação de monitoramento do consumo e prevenção de falhas quando aplicado em Redes Inteligentes, como também pode ser utilizado em residências para o monitoramento de eletrodomésticos e disponibilização remota, em tempo real ou não, do consumo diário da unidade habitacional.

O conceito de redes inteligentes tem influenciado grandes modificações principalmente em redes de distribuição básica, e com a inserção de novas tecnologias o monitoramento e controle da rede elétrica está sendo feito de forma mais efetiva. Diante disso, Santos (2016) desenvolveu um sensor capaz de monitorar a variação de tensão para redes de baixa tensão, pois entende que esses fenômenos

afetam o fornecimento de energia tanto a consumidores industriais como a residenciais. O dispositivo tem como objetivo identificar e registrar tais fenômenos que causam as falhas na distribuição de energia e informar a uma central de monitoramento os eventos capturados.

Algumas funções típicas dos medidores inteligentes são: protocolo de comunicação bidirecional, coleta de dados instantânea ou não, gravação dos dados, controle de carga, segurança de informações e exibição de dados (ZHENG; GAO, 2013).

As tecnologias de medição são compostas por diferentes componentes técnicos e variam de acordo com as condições específicas do mercado em diferentes regiões do mundo, mas a maioria inclui como características obrigatórias: medição precisa e transmissão de dados de consumo, seja de eletricidade, gás, água ou calor, fornecimento de um *gateway* de informação bidirecional e infraestrutura de comunicação no sistema (ESMIG, [201-]).

Em 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica, Aneel, anunciou requisitos para medidores inteligentes de energia no país: apresentar o valor de energia elétrica ativa consumida, identificar o posto tarifário, data e horário do início e fim das interrupções de curta e de longa duração ocorridas nos últimos três anos. A regulamentação foi o ponto de partida para automatização e promoção de inteligência à infraestrutura (ANEEL, 2012).

1.1. OBJETIVOS

Nesse tópico serão explanados os objetivos gerais e específicos realizados durante o desenvolvimento do trabalho.

1.1.1. Objetivos Gerais

O objetivo do presente trabalho é desenvolver um sistema de monitoramento, em tempo real, do consumo de energia elétrica voltado para uso residencial, utilizando de comunicação sem fio e possibilitando a exibição e análise dos relatórios de gastos periódicos em aplicação *web*.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Elaborar estudo teórico e prático sobre funcionamento de monitoradores de energia elétrica.
- Analisar transdutores de corrente e tensão no mercado que forneceriam melhores resultados para o projeto.
- Averiguar a melhor placa de desenvolvimento para a aplicações de Internet das Coisas, considerando para o projeto em questão: velocidade de transmissão, protocolo de conexão I2C e custo/benefício.
- Elaborar *scripts* de criação de tabela em banco de dados.
- Criar algoritmo para captação dos dados e envio para banco de dados através da placa de desenvolvimento.
- Desenvolver aplicação web com conexão ao banco de dados para exibir os dados captados pelo protótipo.
- Desenvolver um protótipo de monitoramento de energia elétrica, composto pelo bloco de aquisição dos dados, condicionamento, armazenamento em banco de dados e visualização de resultados.

1.2. JUSTIFICATIVA

Dispositivos capazes de fornecer o relatório do consumo de energia elétrica em tempo real não são populares no mercado brasileiro, logo, a concepção do usuário em relação a possibilidade de adquirir dispositivos com essas características não é algo mensurável. Para fins de análise preliminar e embasamento na justificativa do desenvolvimento do trabalho, estruturou-se uma pesquisa divulgada em redes sociais para identificar o comportamento do usuário diante do produto idealizado (esta pesquisa é apresentada com mais detalhes no Apêndice A).

Utilizando-se da ferramenta de formulários da empresa Google, ao todo 125 pessoas participaram do estudo voluntariamente e de forma anônima, divididos em 6 grupos por faixa etária: menores de 18 anos, entre 18 e 25 anos, 26 e 35 anos, 36 e 45 anos, 46 e 54 anos e acima de 55 anos.

Ao analisar o resultado do questionário é possível verificar que: 117 participantes (94%) praticam ações diárias com intenção de diminuir o gasto de energia elétrica, tais como apagar as luzes de cômodos e desligar aparelhos inutilizados. 105 pessoas, 84% do total, acreditam ser importante ter o conhecimento do consumo de energia elétrica antes do recebimento da conta de energia fornecida pela companhia fornecedora de energia. Em relação a intenção de compra, aproximadamente 34 pessoas comprariam um produto que disponibilizasse o consumo de energia em tempo real e fosse de fácil instalação ou manutenção. Já cerca de 88 pessoas responderam que adquiririam o aparelho desde que o valor fosse acessível e que houvesse uma instalação simples e manutenção disponível. Além disso, 119 entendem que teriam comportamento mais consciente caso possuíssem um dispositivo para alertá-los sobre o consumo de energia elétrica em tempo real e de forma antecipada.

Certamente o conjunto de dados avaliado é limitado e seria necessário obter uma amostragem mais relevante, inclusive englobando diferentes faixas salariais. No entanto, como uma pesquisa preliminar, constata-se que soluções de monitoramento de energia possuem potencial de interesse no mercado desde que cumpra com requisitos como: acessibilidade em relação ao valor, instalação e manutenção. Este é um ponto que norteia e justifica contribuições nesta área de desenvolvimento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nas próximas seções é realizada uma breve descrição do sistema de medição de energia elétrica visando esclarecer o funcionamento geral, assim como as tecnologias e conceitos pertinentes ao desenvolvimento do trabalho.

2.1. CONCEITOS DE POTÊNCIA ELÉTRICA

O conceito de energia é relativamente abstrato e, no caso de dispositivos elétricos, pode ser estabelecida como sendo o trabalho requerido pelo dispositivo para realizar tarefas, a finalidade básica de um sistema elétrico é suprir energia aos consumidores a ele conectados (BARTHOLD; REPEEN; HEDMAN; 1983, ORSINI; CONSONNI, 1995). Como a energia absorvida por um equipamento depende do tempo de funcionamento, o conceito de potência possui o intuito incorporar estas duas grandezas. Desta forma, potência é a razão entre a energia fornecida ou absorvida por um determinado equipamento/dispositivo ao longo do tempo (BARTHOLD; REPEEN; HEDMAN; 1983).

A potência elétrica absorvida por um dispositivo é dada por (1), onde $p(t)$ é a potência elétrica instantânea, $v(t)$ é a tensão instantânea entre os terminais da carga e $i(t)$ é a corrente instantânea entrando e saindo do dispositivo (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014).

$$p(t) = v(t) * i(t) \quad (1)$$

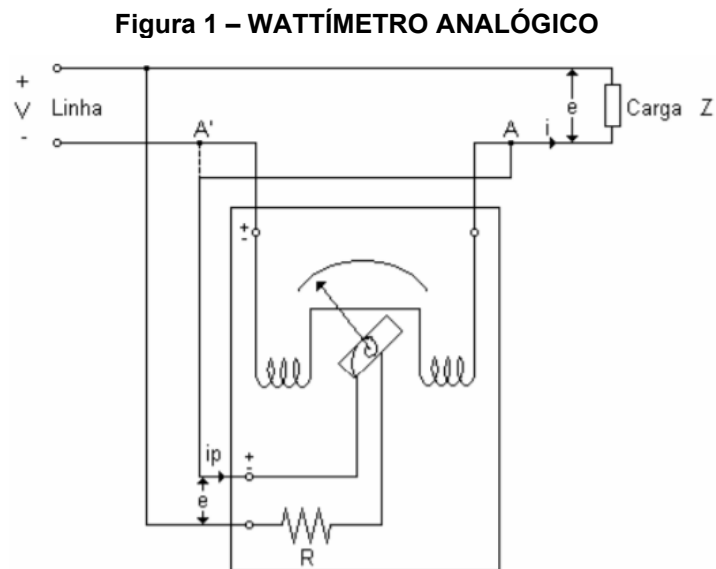
Quando a potência instantânea é avaliada por um período, tem-se o conceito de potência média. Dependendo da carga (resistiva ou reativa) esta potência pode ser absorvida por todo o tempo ou absorver nenhuma potência média (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014). Neste sentido, denomina-se potência ativa, medida em W , como sendo o valor médio de $p(t)$ ao longo do tempo, e representa a potência transformada em calor ou em trabalho por um dispositivo elétrico, ou seja, a parcela que realmente é consumida. Esta componente de potência é proporcional à parcela resistiva do circuito. Já a potência reativa, medida em VAR, está relacionada à energia

necessária para manter o campo magnético em cargas indutivas e/ou o campo elétrico em cargas capacitivas (SADIKU; ALEXANDER; MUSA, 2014, ORSINI; CONSONNI, 1995).

2.2. MÉTODOS CONVENCIONAIS DE MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A energia elétrica é uma forma de potência eficaz da diferença de potencial elétrico entre dois pontos, que permite criar uma corrente elétrica (ALEXANDER; SADIKU, 2014). Todos os dispositivos elétricos industriais e domésticos possuem um potencial nominal que indica a potência exigida no equipamento.

A medição de potência é realizada por um dispositivo composto por duas bobinas, uma para corrente e outra para tensão, denominado wattímetro, comumente projetados tendo como base o movimento de medidores dinamômetros, que utilizam simultaneamente as duas bobinas, para que a agulha se mova, como pode ser observado na Figura 1. A força do movimento é proveniente do campo das bobinas de corrente e tensão e a força atuante sobre a bobina móvel é proporcional ao produto dos valores de corrente e tensão no instante medido (ALEXANDER; SADIKU, 2014).



Fonte: Petry (2019).

O dispositivo típico utilizado para mensurar a energia consumida em residências é o medidor watt-hora, diferente do wattímetro, o aparelho considera a potência e o tempo e é constituído de um motor cujo torque é proporcional à corrente

fluindo através dele e de um registrador para contar o número de voltas feitas pelo motor que é proporcional a quantidade de energia consumida (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2004).

Figura 2 – Medidor de Energia Elétrica padrão.



Fonte: Nansen (2012).

Com a utilização de medidores de energia padrão, ainda é necessário um deslocamento de equipes para efetuar a leitura do consumo, inserção manual do valor no sistema da concessionária e há dificuldade na identificação de falhas, fraudes e furtos.

As distribuidoras de energia entendem que existe a necessidade de investir em novas tecnologias voltadas em redução de custo de manutenção da rede e distribuição de energia, assim como melhorar a experiência do cliente. Com a implantação de um sistema de automação da medição, melhoram a qualidade da energia fornecida, acompanham a evolução do mercado consumidor, além de automatizarem a leitura de consumo evitando perdas com erros de faturamento (ATECH, 2018).

2.3. REDES INTELIGENTES

Como decorrência do desenvolvimento tecnológico e revolução da indústria, o controle instantâneo em todos os âmbitos se faz primordial. A ideia de uma tecnologia que se utiliza de medidores e de transmissores de dados permitindo a utilização mais eficiente e segura de recursos, ou seja, utilizar as informações para melhorar decisões

operacionais, passa a ser uma definição básica para o termo de redes inteligentes, ou *Smart Grids* (POTTER; ARCHAMBAULT; WESTRICK, 2009).

Entre 2014 e 2016 houve um crescimento de 12% no total de investimentos em redes inteligentes, número significativo visto que a tecnologia detém papel fundamental na transição para o uso de energia limpa. Proporcionalmente, China e Estados Unidos são pioneiros em investimento e pesquisa para que haja o desenvolvimento da área, tendo investido em conjunto cerca de 5,5 bilhões de dólares no ano de 2017 (IEA, 2018).

Tecnologias aprimoradas de monitoramento, controle e automação ajudam a habilitar novos modelos de negócios enquanto liberam benefícios para todo o sistema, desde o usuário final até os níveis de distribuição e transmissão, incluindo reduzidas interrupções no fornecimento de energia por possuir características de auto recuperação, ou seja, identifica, analisa e repara falhas na rede com eficácia, além de capacitar o consumidor no planejamento de processos, operações da rede e integração de recursos de energia distribuída (FALCÃO, 2009).

O maior propósito da utilização de um sistema que fornece informações detalhadas sobre o consumo de energia elétrica é para que haja o uso mais eficiente de energia, resultando em economia para o consumidor final em setores industriais, comerciais e domésticos, pois possibilita a redução dos picos máximos de demanda, proporcionando uma realocação no consumo diário (LAZAROIU; ROSCIA, 2016).

A viabilização do conceito de redes inteligentes somente se é praticável através do desenvolvimento de áreas de dispositivos de eletrônica de potência, geração distribuída, dispositivos de armazenamento de energia, sistemas integrados de comunicação, além do aprimoramento de redes de sensores inteligentes (FALCÃO, 2009).

2.4. MEDIDORES INTELIGENTES

A implantação de medidores inteligentes obteve grandes avanços no que se refere a estudo e desenvolvimento de novas tecnologias em regiões importantes como China, Japão e França, entretanto há ainda uma soberania entre Estados Unidos e Europa que representam mais da metade do mercado atual (IEA, 2018).

O investimento no desenvolvimento de sensores, tornando-os melhores e mais baratos, permite a melhoria da visibilidade das condições de rede no momento

de análise de dados em tempo real, possibilitando a previsão de falhas e manutenção remota (IEA, 2018).

A utilização dos medidores inteligentes não é apenas para fins de medição, visto que desempenham papel fundamental no fornecimento de energia de qualidade e são o item chave para a existência das redes inteligentes de energia elétrica (VILAS et al. 2015).

Medidores inteligentes são dispositivos que integram hardware sofisticado de medição e cálculo, software, capacidades de calibração e comunicação e para que não haja alteração da infraestrutura, são projetados de maneira que executem funções, armazenem e realize comunicação de dados de acordo com certos padrões (BARAI; KRISHNAN; VENKATESH, 2015 apud MARTINS, 2016).

Sensores elétricos classificados como medidores inteligentes tem a capacidade de medir e registrar o uso real de energia durante determinado intervalo de tempo, além de detectarem falhas na operação, os dados coletados são enviados para uma central de controle e gerenciamento de dados através de uma comunicação sem fio. Há ainda como vantagem, a existência de planejamento, operação e resposta de interrupção da rede (BARAI; KRISHNAN; VENKATESH, 2015 apud MARTINS, 2016).

Na literatura é possível encontrar diversos trabalhos que apresentam o desenvolvimento de medidores inteligentes. Alguns possuem um desenvolvimento voltado para aplicação em Redes Inteligentes e outros mais voltados para o monitoramento de consumo residencial, como ferramenta de controle de gastos para o consumidor.

O surgimento do conceito de medidores inteligentes se deu principalmente pela necessidade de monitoramento da qualidade da energia transmitida e identificação de pontos de falha. Em sua tese, Ciro Martins desenvolveu um medidor inteligente que coleta informações de consumo, qualidade de transmissão e eventuais casos críticos na rede e transmite os dados coletados para a empresa responsável pela distribuição de energia, o ponto focal do projeto é a confiabilidade e a integração do sistema (MARTINS, 2016).

Em outra dissertação relacionada a sistemas de monitoramento de energia, Odair Iaronka, bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria, descreve o dispositivo desenvolvido como um multimedidor de energia elétrica inteligente aplicado a residências alimentadas em baixa tensão, e tem como proposta

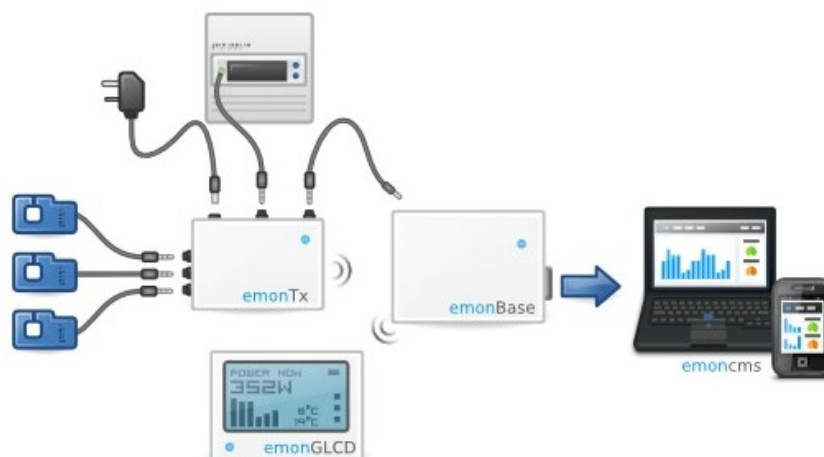
obter o consumo de energia em tempo real, o padrão de consumo e calcular o valor a ser pago (IARONKA, 2019).

Além disso, no mercado internacional é possível encontrar algumas soluções em sistemas como *Smappee* e *OpenEnergyMonitor*. Ambas soluções são produzidas na Europa e possuem no mercado aplicação para monitoramento de consumo de energia, temperatura e humidade, monitoramento específico para geração e posto de carregamento de energia solar.

O *OpenEnergyMonitor* é um sistema que pode ser utilizado em diversas aplicações voltado ao consumo de energia, desde energia elétrica consumida na residência a um verificador de performance de aquecedores, passando por carregadores de carros elétricos e painéis geradores de energia solar (OPEN ENERGY MONITOR, 2018).

O sistema é dividido em cinco unidades principais de trabalho, como exibido na Figura 3. Uma unidade de monitoramento de energia, *emonPi*, que tem capacidade de monitorar dois circuitos CA monofásicos. *EmonTx*, um módulo com capacidade de monitorar até quatro circuitos CA diferentes através de sensores e transmitir os dados ao *emonPi* ou *emonBase*, que por sua vez realiza a transmissão de dados aos *emoncms* ou *emonGLCD*, sendo o primeiro um aplicativo ou página web do sistema e o segundo um display acoplado ao conjunto (OPEN ENERGY MONITOR, 2018).

Figura 3 – Unidades de trabalho do Open Energy Monitor



Fonte: Open Energy Monitor (2018).

Construído baseado nos princípios de monitoramento de energia aliado à energia sustentável, o monitor de energia residencial permite ao usuário visualizar e

explorar o consumo de energia. Conectado ao aplicativo *MyElectric*, exibe automaticamente dados diários, histórico de consumo e inclusive o custo total (OPEN ENERGY MONITOR, 2018).

O monitor de energia *Smappee* fornece dados em tempo real sobre o uso da eletricidade e o custo em uma residência ou estabelecimento. A ideia principal do dispositivo é deixar o local inteligente, a função de programação de eventos permite ligar e desligar aparelhos remotamente e em horários definidos, além de possibilitar a execução de testes e acompanhamento de eficiência em aparelhos (SMAPPEE, 2019).

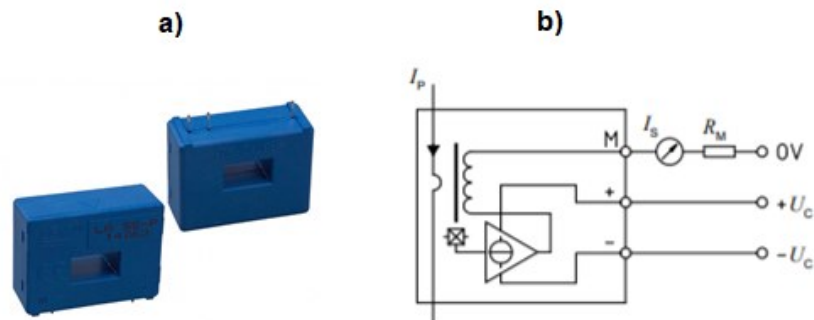
Independentemente da aplicação, parte das soluções empregadas no monitoramento são similares. A seguir são apresentados os principais conceitos em relação ao sensoriamento de corrente, tensão, processamento de dados via microcontrolador, comunicação sem fio e armazenamento de informações em banco de dados.

2.5. TRANSDUÇÃO DE CORRENTE ELÉTRICA E POTENCIAL ELÉTRICO

Os transdutores de corrente e tensão são equipamentos projetados para converter sinais de corrente e tensão para operarem como um sinal contínuo e isolado galvanicamente, ou seja, possuem suas seções funcionais isoladas, a fim de evitar o fluxo de corrente. Em razão do isolamento, esses instrumentos também são conhecidos como isoladores galvânicos ou conversores de sinais (PHOENIX CONTACT, 2021).

O transdutor de corrente LA55-P, visto na Figura 4-a), faz parte da linha industrial da empresa *LEM* e tem como característica grande flexibilidade de uso, robustez e confiabilidade, podendo ser aplicada a *drives* de variação de velocidade AC e servo motores, fontes de energia ininterruptas, fonte de energia modo chaveadas, medição de energia em sistemas utilizando Internet das Coisas (LEM, 2019a).

Figura 4 – a) Transdutor de Corrente LEM LA55-P b) Exemplificação de conexão do transdutor LA 55-P



Fonte: LEM (2019a).

O medidor possui separação galvânica entre o circuito primário e secundário, muito utilizado quando circuitos devem estar conectados, mas seus pontos de referência devem estar em diferentes potenciais, pois previne que correntes indesejadas flutuem entre os circuitos.

Um exemplo de como é feita a conexão do transdutor de corrente é mostrado através da Figura 4-b), onde I_p é a corrente primária a ser medida, M é o pino pelo qual a corrente secundária I_s é medida, R_m é a resistência utilizada para obter-se a tensão de medição, $+U_c$ e $-U_c$ indicam o ponto de alimentação positivo e negativo, respectivamente.

Figura 5 – Transdutor de tensão LV 25-P.



Fonte: LEM (2019b).

Na Figura 5 é visto o transdutor de tensão LV 25-P, fabricado pela empresa LEM, funciona conforme a variação do campo magnético em sua entrada e suporta uma tensão alternada ou contínua de até 500 Volts, possui isolamento galvânico

entre o circuito primário e o circuito secundário, ótima linearidade, excelente precisão e imunidade a interferências externas (LEM, 2019b).

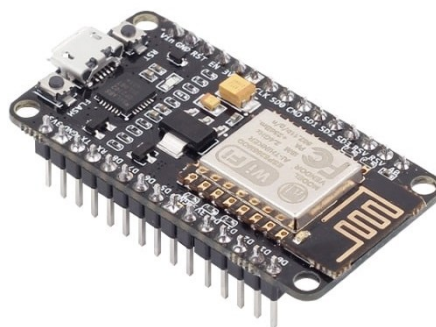
2.6. SOLUÇÕES PARA O PROCESSAMENTO DIGITAL E COMUNICAÇÃO SEM FIO

Dentre as diversas soluções para o processamento de informações de forma digital e comunicação sem fio, tem aumentado o número de equipamentos que integram em um mesmo dispositivo micro controlador e sistema de comunicação. Estes sistemas são chamados *system-on-a-chip* (SoC), aparecem, em geral, em dispositivos menores, possuem baixo consumo de energia e alta eficiência térmica.

O conceito de SoC é amplo e serve para diversas aplicações, exemplos comuns são os chips de celulares presentes nos *Ip hones* e *Ip ads*. Outros dispositivos pertencentes a essa categoria são as plataformas embarcadas utilizadas para aplicações de Internet das Coisas, entre elas o módulo ESP-12.

O módulo Wi-Fi ESP8266-12 é uma placa de desenvolvimento que integra o chip ESP8266 com uma interface USB-serial, com 11 pinos de entrada e saída e um conversor digital/analógico. É um dispositivo que oferece um recurso de rede Wi-Fi completa e autônoma, podendo ser usado tanto para acesso direto à rede, ou seja, processando a aplicação, quanto servindo como um adaptador Wi-Fi para qualquer micro controlador com conectividade simples, seja interface SPI/ SDIO ou I2C/ UART. A resolução é de 10 bits e a taxa de amostragem pode chegar a 5Khz. (ESPRESSIF SYSTEMS, 2015).

Figura 6 – Módulo WiFi ESP8266.



Fonte: Módulo... ([201-?]).

O chip ESP8266 frequentemente integrado a sensores com o intuito de aplicações específicas devido à grande quantidade de portas programáveis de entrada e saída, além de possuir integração com interruptores de antena, amplificadores de potência, amplificadores de baixos ruídos, filtros digitais, entre outras características que agregam multifuncionalidades à placa de desenvolvimento e a tornam um dos mais completos dispositivos no mercado (ESPRESSIF SYSTEMS, 2015).

Pelo fato de ter sido projetado com a intenção de utilizá-lo em projetos de dispositivos móveis portáteis e aplicativos de Internet das Coisas, o módulo Wi-Fi possui uma arquitetura para que haja um menor consumo de energia e apresenta três modos de operação: ativo, espera e *sleep*, desenvolvidos utilizando técnicas de gerenciamento e lógica para que funções não essenciais sejam desativadas quando necessário, proporcionando uma significativa diminuição no consumo total (ESPRESSIF SYSTEMS, 2015).

2.7. APLICAÇÃO WEB ORIENTADA A BANCO DE DADOS MYSQL

Em termos de interface com o usuário e apresentação e armazenamento de dados, a utilização de aplicação web orientada a banco de dados é uma solução com boa versatilidade e que facilmente pode ser aplicada a diferentes dispositivos eletrônicos, tais como *smartphones*, computadores e *tablets*, independentemente do seu sistema operacional.

Uma página web é um documento estruturado sobre um determinado conteúdo que utiliza textos e comandos especiais de HTML, *Hypertext Markup Language* (Linguagem de Marcação de Hipertexto), para formatação e criação (MOLEIRO, 2010).

Há algumas linguagens de criação de scripts do lado do servidor projetadas especificamente para a web que são interpretadas por servidores e geram HTML ou outra saída para o cliente, entre elas, o PHP. Inicialmente, *Person Home Page*, produto de código-fonte aberto ou seja, é possível utilizá-lo, alterá-lo e redistribuí-lo de maneira gratuita (WELLING; THOMSON, 2005).

Para a construção de um site eletrônico há alguns pontos a serem levados em consideração já que nem todo sistema operacional executa em qualquer hardware e nem todas as linguagens de criação de scripts se conectam a todos os bancos de

dados. Por isso a vantagem da utilização do PHP, que além de ter alto desempenho, bibliotecas integradas para tarefas comuns da web e portabilidade, também se conecta ao banco de dados MySQL e a maioria dos sistemas operacionais (WELLING; THOMSON, 2005).

Com a grande quantidade de informações coletadas pela maioria das aplicações atualmente, a forma de armazenamento e organização desses dados é um diferencial para a performance de um sistema. A facilidade no acesso, gerenciamento e atualização são características de bancos de dados.

Um banco de dados permite armazenar, pesquisar, classificar e recuperar dados de forma eficiente. O servidor MySQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados que controla o acesso aos dados para assegurar que exista um trabalho cooperado e simultâneo entre vários usuários, desde que possuam autorização e é ideal para o desenvolvimento rápido de aplicações web (WELLING; THOMSON, 2005).

O MySQL possui um alto desempenho e sob licença de código-fonte aberto está disponível sem nenhum custo, também disponibiliza um suporte aprimorado, mecanismo de armazenamento de transação segura, além da facilidade de uso e portabilidade (WELLING; THOMSON, 2005).

3 METODOLOGIA

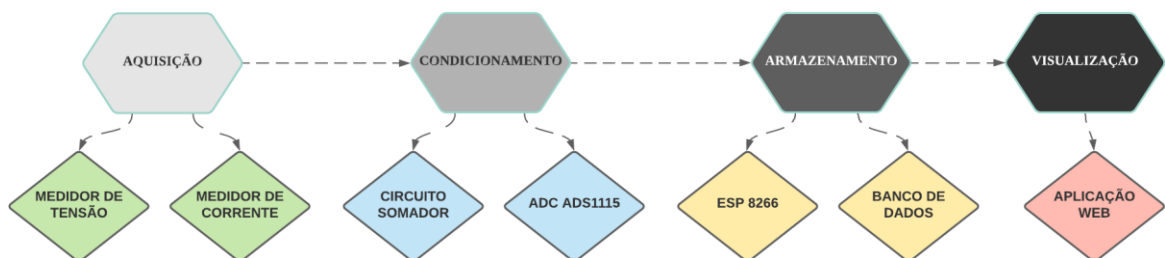
Com o objetivo de detalhar cada parte do sistema de monitoramento de energia elétrica, neste capítulo é apresentada a metodologia e os critérios utilizados no desenvolvimento do sistema proposto, baseando-se na literatura e experimentação.

3.1 DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA

Para que haja uma melhor compreensão do sistema proposto, faz-se necessário apresentar a visão geral do sistema de monitoramento de energia elétrica, exemplificar e discutir as etapas de desenvolvimento.

O objetivo principal do projeto é exibir em tempo real o consumo de energia elétrica para o consumidor. Para isso, as etapas de desenvolvimento foram divididas em quatro diferentes processos, observados na Figura 7.

Figura 7 – Diagrama de processos do sistema.



Fonte: Autoria própria (2021).

Para que o consumo de energia de um dispositivo seja medido, é preciso mensurar corrente e tensão ao longo de um período para que então possa-se calcular a potência do mesmo, já que o consumo de energia é dado por quilowatt/hora. Portanto, na etapa de aquisição utilizou-se um transdutor de tensão e corrente, são eles o transdutor LV25-P e LA 55-P, respectivamente.

Na etapa de gerenciamento dos dados captados o módulo ESP8266-12 foi o escolhido por possuir restrições quanto as tensões na entrada do dispositivo, foi preciso condicionar os sinais, para isso uma tensão constante gerada pela fonte de alimentação do sistema foi somada aos sinais captados, mantendo os sinais em

valores aceitos pelo módulo. Para armazenar as informações coletadas, um banco de dados não relacional foi utilizado.

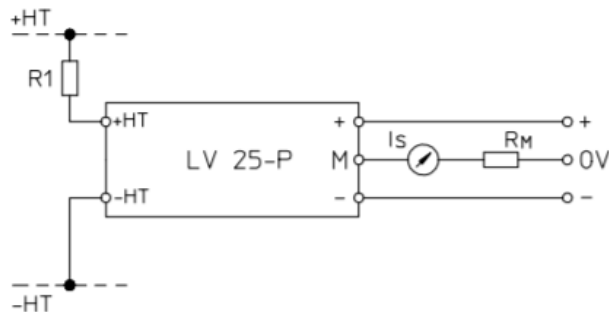
No estágio de visualização dos dados, desenvolveu-se uma página web utilizando a linguagem de programação PHP. A apresentação dos dados se dá através de uma tabela com as informações da potência medida, data e hora do momento de coleta.

Nas seções a seguir, os dimensionamentos realizados e informações sobre o desenvolvimento do trabalho são apresentados em detalhes.

3.2 CIRCUITO MEDIDOR DE TENSÃO

Durante o desenvolvimento do circuito medidor de tensão a principal preocupação era manter o sensor na melhor faixa de precisão apontada pelo fabricante. Para isso, era necessário manter a corrente no primário em 10 mA, proporcionando uma precisão de $\pm 0,8\%$ da tensão medida.

Figura 8 – Conexão do sensor LV 25-P



Fonte: LEM (2019b).

Para medições de tensão, o sensor deve ser conectado em paralelo com a carga, a corrente proporcional a tensão medida passará pelo resistor externo R_1 , conectado em série com o circuito primário do transdutor, o esquemático de conexão é visto na Figura 8, identifica-se $+H_T$ e $-H_T$ os pontos de alimentação positiva e negativa do sensor respectivamente, R_1 o resistor no primário, R_M e I_S são o resistor de medição e a corrente no secundário, nessa ordem.

Para o dimensionamento correto do resistor R_1 , segundo a folha de dados do dispositivo, a tensão nominal medida deve corresponder a uma corrente no primário próxima a 10 mA ou 5 mA para obter que a precisão do sensor fique entre $\pm 0.9\%$ e

$\pm 1.5\%$ respectivamente. Na equação 2 encontra-se o valor escolhido para o resistor considerando uma corrente no primário de 10 mA e tensão nominal de 220 V.

$$I_p = \frac{V_{pn}}{R_1} \rightarrow R_1 = \frac{220}{0,01} = 22 \text{ k}\Omega \quad (2)$$

Embora a melhor precisão seja obtida mantendo a corrente primária em 10 mA, como no Brasil as tensões nominais variam de acordo com a região, os cálculos foram feitos para atender tanto 127 V quanto 220 V.

Mantendo o valor de $R_1 = 22 \text{ k}\Omega$, a corrente no primário do sensor ao se fazer a medição em 127 V de tensão nominal está exemplificado na equação 3, a seguir:

$$I_p = \frac{127}{22000} = 5,77 \text{ mA} \quad (3)$$

O valor refletido no secundário do sensor é facilmente encontrado na folha de dados do fabricante, LEM, 2019, nesse caso a taxa de conversão é de 2500:1000, isto é, a cada 1 A medido no primário, reflete-se 2,5 A no secundário, convertendo os valores, obtêm-se 25 mA e 14,425 mA para 220 V e 127 V respectivamente, refletidos no secundário do sensor.

O resistor de medição foi escolhido para que a conversão fosse facilitada, $R_m = 100 \Omega$, mas manteve-se dentro da faixa informada pelo fabricante na folha de dados, como observa-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Resistências indicadas para o LV 25-P

<i>Tensão de alimentação</i>	<i>Corrente no primário</i>	<i>R_m mínimo</i>	<i>R_m máximo</i>
$\pm 12 \text{ V}$	$\pm 10 \text{ mA}$	30 Ω	190 Ω
	$\pm 14 \text{ mA}$	30 Ω	100 Ω
$\pm 15 \text{ V}$	$\pm 10 \text{ mA}$	100 Ω	350 Ω
	$\pm 14 \text{ mA}$	100 Ω	190 Ω

Fonte: LEM (2019b).

A equação 4 descreve o valor da tensão de pico a pico na saída do sensor de tensão. Considerando que se optou por $R_m = 22 \text{ k}\Omega$ e que para 220 V de tensão nominal da rede elétrica, $I_s = 25 \text{ mA}$, o valor de tensão de pico a pico seria de 7,07 V_{p-p} , logo a tensão média seria de 3,53 V_m . Aplicando o mesmo valor do resistor

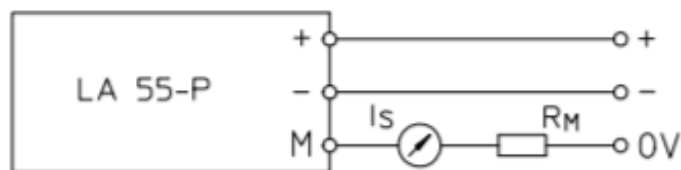
de medição para 127 V , tendo $I_s = 14,425\text{ mA}$, a tensão de pico a pico encontrada é de $4,12\text{ V}_{p-p}$, portanto a tensão média é $2,06\text{ V}$.

$$V_{pp} = I_s * R_m * 2\sqrt{2} \quad (4)$$

3.3 CIRCUITO MEDIDOR DE CORRENTE

Para o desenvolvimento do circuito medidor de corrente algumas características informadas pelo fabricante foram levadas em consideração, entre elas: o limite máximo de corrente capaz de ser medido no primário do sensor é 50 A . Além disso, a taxa de conversão entre a corrente vista no primário e secundário, segundo a folha de dados é $1:1000$, isto significa que para cada 1 A medido, $0,001\text{ A}$ é refletido, o que resultaria para valores máximos permitidos, 50 mA no circuito secundário do sensor.

Figura 9 – Conexão do sensor de corrente LA 55-P



Fonte: LEM (2019a).

Tabela 2 – Resistências indicadas do LA 55-P

Tensão de Alimentação	Corrente máxima	Rm mínimo	Rm máximo
$\pm 12\text{ V}$	$\pm 50\text{ A}$	$10\ \Omega$	$100\ \Omega$
	$\pm 70\text{ A}$	$10\ \Omega$	$50\ \Omega$
$\pm 15\text{ V}$	$\pm 50\text{ A}$	$50\ \Omega$	$160\ \Omega$
	$\pm 70\text{ A}$	$50\ \Omega$	$90\ \Omega$

Fonte: LEM (2019a).

Seguindo os dados da Tabela 2 e considerando uma tensão de alimentação simétrica do circuito em $\pm 12\text{ V}$, na Figura 9 identifica-se os pontos de alimentação pelos símbolos + e -, na devida ordem, atribuiu-se $R_m = 100\ \Omega$. Ao analisar a figura de conexões do sensor, obteve-se 5 V como tensão média máxima possível na saída do sensor, deduzido na equação 5 abaixo:

$$I_s = \frac{V_m}{R_m} \rightarrow V_m = 50 * 10^{-3} * 100 \rightarrow V_m = 5 V \quad (5)$$

Como para a etapa de aquisição de dados será utilizado um conversor analógico digital e posteriormente a ESP8266-12, dispositivos que possuem limitações de tensões nas entradas, foi preciso calcular o limite máximo de potência do dispositivo a ser medido para que o restante do projeto não fosse prejudicado.

Levando em consideração as Equações 6 e 7 que descreve o valor de tensão pico a pico e cálculo de potência, respectivamente, deduz-se a fórmula para maior potência de aparelho possível para o projeto em questão, considerando $V_{pp} = 6,6 V$, $I_s = \frac{I_p}{1000}$ e $V = 127 V$.

$$V_{pp} = I_s * R_m * 2\sqrt{2} \quad (6)$$

$$I = \frac{P}{V} \quad (7)$$

$$V_{pp} = \frac{P}{1000 * V} * R_m * 2\sqrt{2} \quad (8)$$

$$P = \frac{V_{pp} * 1000 * V}{R_m * 2\sqrt{2}} = \frac{6,6 * 1000 * 127}{100 * 2\sqrt{2}} = 2,99 KW \quad (9)$$

Tabela 3 – Potência elétrica média de aparelhos

Aparelho eletrodoméstico	Potência (W)
<i>Freezer Horizontal</i>	500
<i>Forno Elétrico pequeno</i>	1500
<i>Micro ondas</i>	2000
<i>Torradeira</i>	800
<i>Geladeira simples</i>	250
<i>Ferro elétrico</i>	1000
<i>Ar condicionado</i>	1400

Fonte: EFLUL (2020).

Como a maioria dos eletrodomésticos mais usais possuem potência abaixo do valor máximo calculado, visto na Tabela 3, a limitação de potência não age como um impeditivo para a utilização do aparelho no monitoramento de eletrodomésticos em residências ou estabelecimentos comerciais. No entanto, não seria possível

aplicá-lo no monitoramento do consumo geral de uma residência, sendo necessário substituir os sensores por versões com maior capacidade de medição.

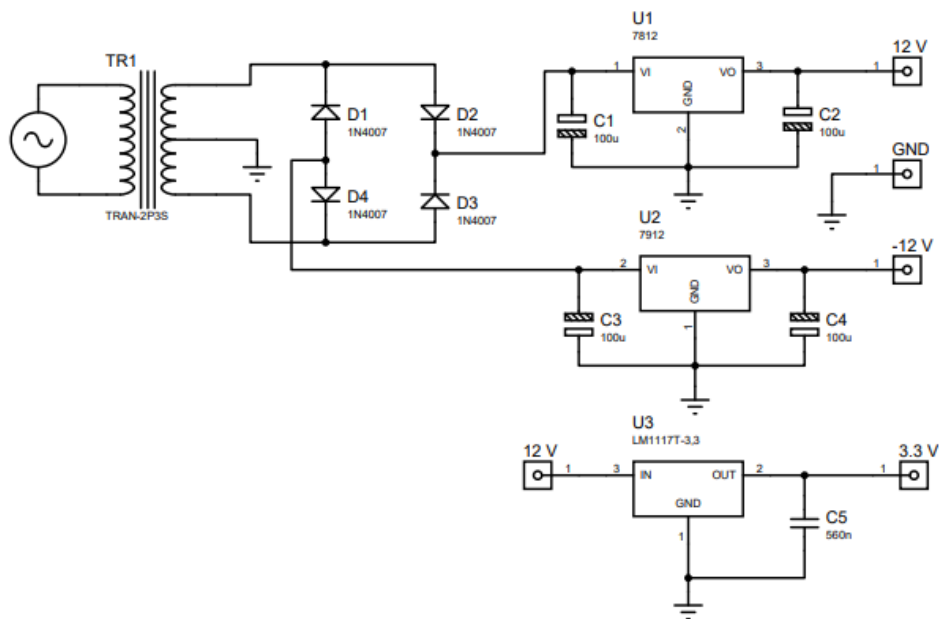
3.4 FONTE DE ALIMENTAÇÃO DO SISTEMA

Após a definição dos dispositivos pertencentes a cada processo proposto, a fonte de alimentação do sistema foi pensada e projetada para fornecer dois valores diferentes de tensões, como explicado a seguir:

- $\pm 12\text{ V}$ → tensão de alimentação dos sensores LA 55-P e LV 25-P;
- $3,3\text{ V}$ → tensão de alimentação da ESP8266-12;

Na Figura 10 encontra-se o esquemático utilizado para desenvolvimento da fonte de tensão.

Figura 10 – Esquemático Fonte de Tensão 3,3 V e $\pm 12\text{ V}$.



Fonte: Autoria própria (2021).

3.5 AQUISIÇÃO E CONDICIONAMENTO DE DADOS

Sinais analógicos precisam ser preparados antes de serem convertidos para a forma digital e então serem processados. Para isso, foi utilizado um circuito

eletrônico de condicionamento que manipula o sinal e o prepara para as próximas etapas.

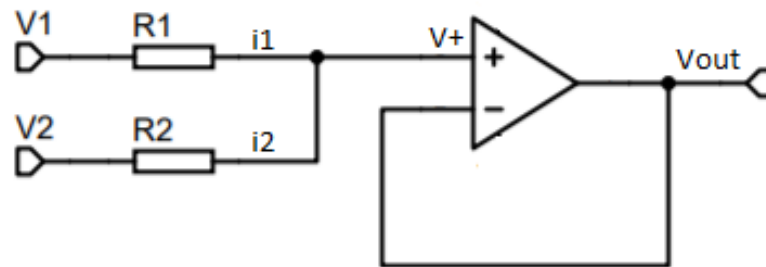
Nos próximos tópicos é exemplificado a forma como os dados foram condicionados para a etapa de conversão ADC.

3.6 CIRCUITO SOMADOR NÃO INVERSOR COM AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Para a leitura dos dados em um computador, optou-se pelo módulo ESP8266-12 e um conversor analógico digital, sabendo que esses dispositivos possuem limitação de tensão de entrada em suas portas de 0 V a 3,3 V no máximo, desenvolveu-se um circuito de condicionamento para o sinal captado.

Como o sinal captado pelos sensores é um sinal senoidal com valores positivos e negativos, o deslocamento do sinal para que houvesse apenas valores positivos foi feito utilizando o circuito visto na Figura 11, identifica-se V_1 e V_2 como sendo as tensões na entrada do circuito e V_{OUT} a tensão de saída.

Figura 11 – Circuito utilizado para inserir um nível de *offset* ao sinal.



Fonte: Autoria própria (2021).

Como para essa aplicação há a necessidade de ganho unitário, faz-se um seguidor de tensão, a tensão de entrada na porta positiva do amplificador operacional é igual a tensão de saída. Logo, o circuito obtido trata-se de um circuito não inversor, e a equação que o descreve pode ser vista na Equação 10. A descrição completa do circuito, considerando $R_1 = R_2$ está exemplificada na Equação 11.

$$I_1 + I_2 = 0 \rightarrow \frac{V_1 - V_+}{R_1} + \frac{V_2 - V_+}{R_2} = 0 \quad (10)$$

$$\frac{V_1+V_2}{R} = V_+ * \left(\frac{2}{R}\right) \rightarrow V_+ = \frac{V_1+V_2}{2} \quad (11)$$

Aplicando os valores de tensão e corrente máximos obtidos nos circuitos medidores de tensão e corrente, e considerando a tensão $V_2 = 3,3 V$, obtidos da tensão de alimentação do circuito, $R_1 = R_2 = 10 K\Omega$, chega-se aos valores vistos na Tabela 4. Conforme a folha de dados do dispositivo ESP8266, os valores de tensão nas entradas analógicas do dispositivo variam de 0 a 3,3 V.

Tabela 4 – Valores referentes a entrada e saída do circuito somador.

	I_s	V_{p-p}	V_m	V_2	V_{out}
<i>Circuito medidor de tensão</i> $V_{nominal} = 220 V$	25 mA	7,07 V	3,53 V	3,3 V	3,415 V
<i>Circuito medidor de tensão</i> $V_{nominal} = 127 V$	14,425 mA	4,12 V	2,06 V	3,3 V	2,68 V
<i>Circuito medidor de corrente</i> $I_{maxima} = 23,54 A$	23,54 mA	6,59 V	3,29 V	3,3 V	3,29 V

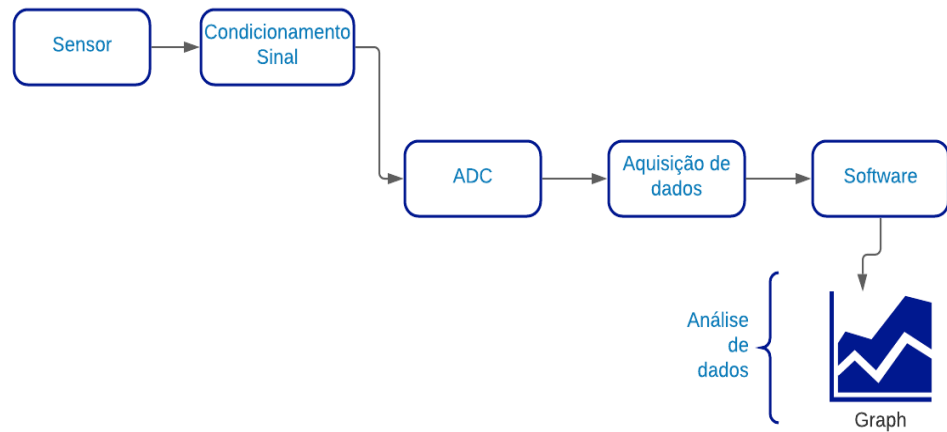
Fonte: Autoria própria (2021).

3.7 CONVERSÃO ADC E CONEXÃO COM ESP8266-12

O bloco de conversão digital analógico é um dos blocos fundamentais de um sistema moderno de aquisição de dados, Figura 12, e tem como principal objetivo converter sinais analógicos condicionados em um fluxo de dados digitais, para que o sistema de aquisição de dados possa processá-los para exibição, armazenamento e análise.

O conversor analógico digital 4 canais ADS1115 foi o escolhido para o desenvolvimento do projeto. Possui alta precisão, 16 bits, consumo baixo de corrente, oscilador interno, funciona com tensões de alimentação entre 2 e 5,5 VDC, e a tensão máxima nos pinos analógicos é igual a tensão de alimentação. Os pinos analógicos podem ser programados como 4 pinos independentes ou dois canais diferenciados (TEXAS INSTRUMENTS, 2009).

Figura 12 – Exemplo de sistema de aquisição de sinais



Fonte: Autoria própria (2021).

Além da alta resolução, pode-se tirar proveito de outro artifício interessante, o PGA, ou “Amplificador de ganho programável”. Basicamente é um circuito que permite amplificar o sinal nas entradas analógicas para aproveitar ao máximo o range do ADC, todo esse controle é feito digitalmente via registradores internos acessados pelo protocolo de comunicação I2C.

Figura 13 – a) Conversor analógico digital ADS1115. b) Diagrama de conexão ESP8266 e ADS1115.



Fonte: (a) Texas Instruments (2009); (b) Autoria própria (2021).

O encapsulamento do conversor é mostrado na Figura 13-a), identifica-se os pinos do dispositivo:

- **A0, A1, A2, A3:** *entradas analógicas;*
- **ADDR:** *entrada digital, responsável por configurar o endereço do dispositivo no barramento I2C;*
- **ALRT:** *saída digital;*
- **GND:** *terra;*
- **VDD:** *alimentação de tensão: 2.0V a 5.5V;*
- **SDA:** *serial de dados: transmite e recebe dados;*
- **SCL:** *serial clock input: dados do clock do SDA;*

O diagrama de conexão da ESP8266 com o módulo conversor analógico ADS1115 está exemplificado na Figura 13-b).

3.8 BANCO DE DADOS

Para aplicações que tem a necessidade de armazenamento dos dados coletados, uma das melhores alternativas é a utilização de um banco de dados. Basicamente, um banco de dados é uma coleção de informações que são organizadas de modo que possam ser acessadas, gerenciadas e atualizadas.

Existem diversos sistemas gerenciadores de banco de dados, para o projeto decidiu-se utilizar o MySQL por ser um sistema gratuito, de código aberto e fácil configuração. Na Figura 14 têm-se o diagrama da tabela utilizada para o armazenamento dos dados coletados.

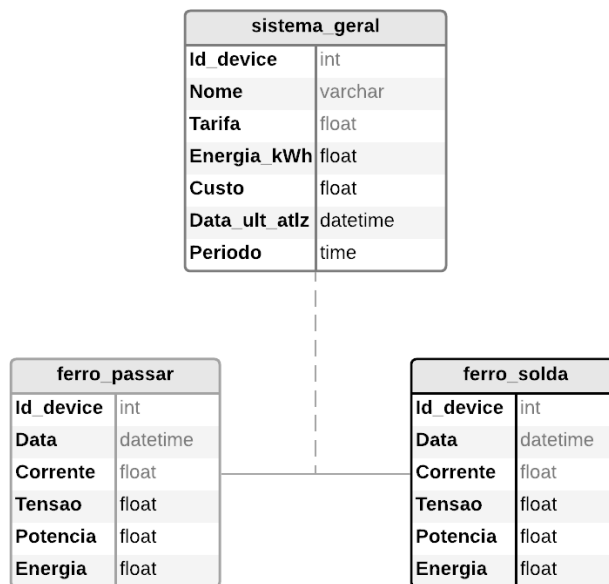
O modelo de entidade relacionamento consiste em um conjunto de objetos básicos chamados entidades e nos relacionamentos entre esses objetos. A aplicação possui uma entidade dispositivo, tabelas *ferro_passar* e *ferro_solda*, representada por um conjunto de atributos, comumente entidades possuem atributos identificadores, *ID_DEVICE* é um atributo identificador único da entidade dispositivo.

Na entidade dispositivo, os valores de corrente, tensão, potência e energia são adquiridos pelo sistema de aquisição projetado. A data é cadastrada de forma automática pelo banco.

Na tabela *sistema_geral*, o valor da tarifa foi definido e fixado como R\$ 0,38460, custo por kWh cobrado pela Copel como tarifa residencial convencional,

dado obtido em 01/03/2021, com impostos e tributos inclusos (COPEL, 2020). Já o atributo *Energia_kWh* é resultado da somatória do atributo *Energia* da entidade dispositivo, *Custo* é resultado da multiplicação de *Tarifa* e *Energia_kWh*. O atributo *ID_DEVICE* relaciona a entidade dispositivo com a tabela *sistema_geral* e o atributo *Nome* identifica o dispositivo cadastrado.

Figura 14 - Diagrama de entidade do banco de dados.



Fonte: Autoria própria (2021).

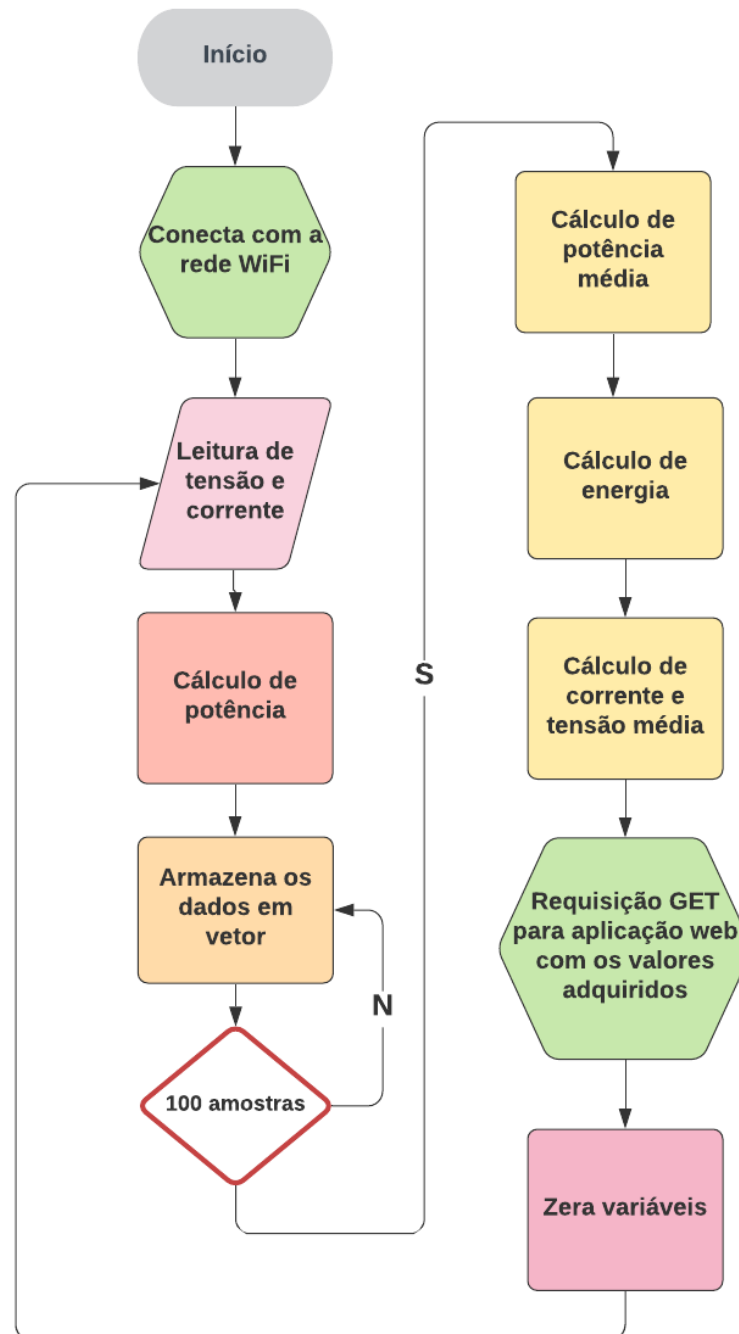
3.9 PROGRAMAÇÃO DA ESP8266

Para realizar a programação da ESP8266 utilizou-se a IDE *Arduino* por ser uma plataforma de código aberto e que possuía as bibliotecas necessárias para o desenvolvimento do projeto.

O primeiro passo é adicionar ao projeto o pacote de placa módulo ESP8266, necessário para a identificação da placa, além das bibliotecas *ADS1115_WE* para o uso do módulo conversor analógico ADS1115 e *ESP8266WiFi* para conexão ao WiFi.

A etapa de aquisição dos valores através do software está exemplificada no fluxograma da Figura 15. Para os cálculos de consumo de energia, a cada leitura de corrente e tensão, a potência é calculada. Em vetores, cem valores são armazenados, para então realizar-se o cálculo da potência média e energia em quilowatt/hora.

Figura 15 - Fluxograma do algoritmo implementado.



Fonte: Autoria própria (2021).

A conexão da ESP8266 ao WiFi foi realizada utilizando o método `Wifi.begin()` da biblioteca adicionada ao projeto, passando como parâmetro o nome da rede e senha, declaradas no código.

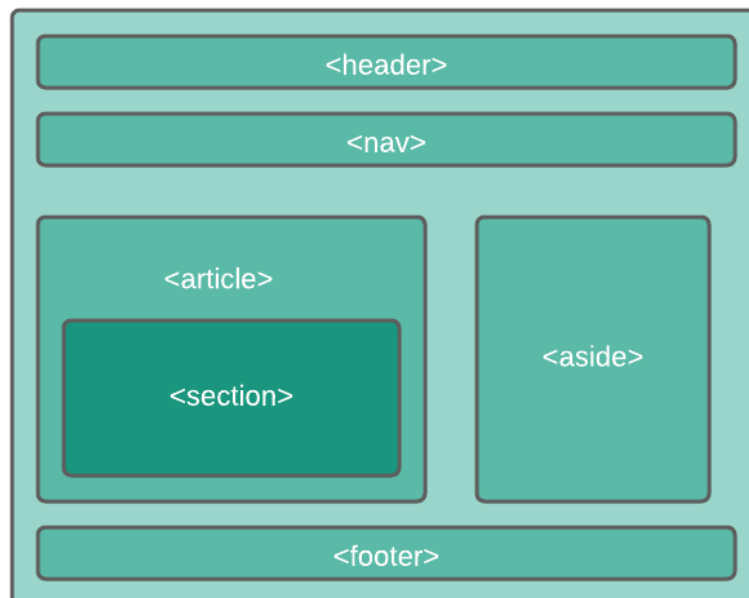
Após a conexão com o WiFi, os valores de corrente, tensão, potência e energia são enviados ao banco de dados implementado e então as variáveis são zeradas para realizar um novo ciclo de leitura.

3.10 ESTRUTURA DA PÁGINA WEB

Em essência, todos os sites são arquivos codificados em uma linguagem específica e estão armazenados em um servidor web. Para consultá-las precisa-se de um programa que atenda a uma série de protocolos e principalmente que entenda a linguagem utilizada para escrever essas páginas.

O HTML é uma linguagem de marcação utilizada para produzir páginas web, basicamente estabelece como um determinado elemento deve ser visualizado, sendo considerada, portanto uma linguagem de formatação de conteúdo. É uma linguagem baseada em etiquetas (*tags*) com valor semântico e que possuem um contexto de organização da página, esses elementos semânticos têm um significado e deixam seu conteúdo claro, na Figura 16 é apresentado um exemplo de estrutura de uma página HTML.

Figura 16- Estrutura semântica de uma página HTML.



Fonte: Autoria própria (2021).

Para a aplicação em questão, viu-se a necessidade de apenas três divisões semânticas, Header (cabeçalho), Section (sessão) e Footer (rodapé). No cabeçalho foi desenvolvido um Menu com as opções de navegação entre os elementos da

página. Na divisão de sessão, têm-se o conteúdo da página, para essa aplicação, fez-se uma estrutura de tabelas com as informações cadastradas no banco de dados. O rodapé foi feito apenas por questões de estética e limitação do fim da página, não contendo nenhuma informação pertinente a aplicação.

3.11 METODOLOGIA DE TESTES

A etapa de testes foi definida levando em consideração alguns aspectos primordiais de uma aplicação de sensoriamento, a necessidade de aferições precisas e variações baixas ou nulas.

Para a etapa de testes no sensor de corrente, dois equipamentos resistivos e com grande discrepância de potência foram escolhidos, um ferro de passar de 1200 W e um ferro de solda de 25 W. A escolha de tais dispositivos se deu para verificar a precisão na aferição pelo sensor tanto para valores altos e valores mais baixos de corrente e possíveis variações nos valores medidos.

Para efeito de comparação, nestas etapas foram utilizados os valores teóricos dos dispositivos e valores de tensão mensurados via Multímetro Digital ET-1002 da empresa Minipa.

O teste do sensor de tensão também foi feito levando em consideração precisão de aferição e possíveis variações nos valores medidos, para essa etapa, fez-se a medição do sensor ligado diretamente em paralelo à rede de 127 V, sem nenhum equipamento conectado, e em paralelo à uma lâmpada fluorescente de 40 W de potência.

Como fez-se necessário a utilização do conversor analógico digital ADS1115, houve também uma etapa em que a precisão e calibração do dispositivo foi testada, para isso, colocou-se 3.3 V diretamente em uma entrada para verificar se haveria oscilações nos valores lidos pelo conversor.

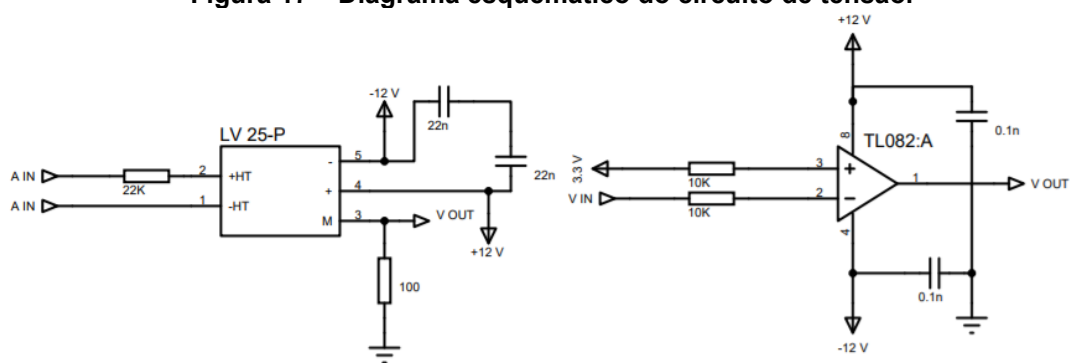
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos no decorrer do desenvolvimento do sistema de monitoramento de consumo de energia, além de promover discussões sobre situações e dificuldades no decorrer do trabalho.

4.1 TESTES DO CIRCUITO DE TENSÃO

Após o processo teórico de dimensionamento do circuito medidor de tensão, chegou-se à definição do esquemático visto na Figura 17.

Figura 17 – Diagrama esquemático do circuito de tensão.

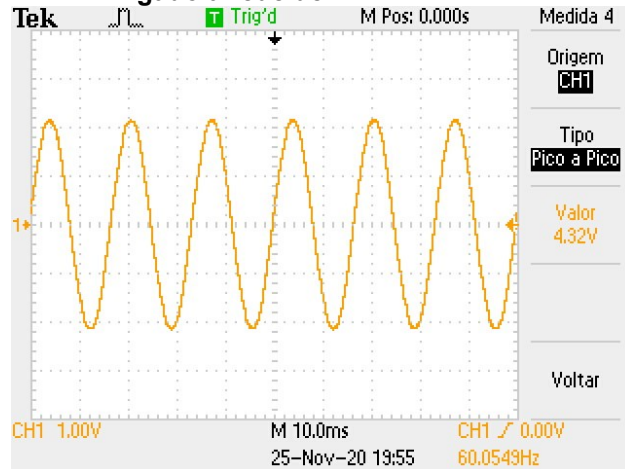


Fonte: Autoria própria (2021).

Os testes do circuito de tensão foram realizados com uma lâmpada fluorescente de 40 W ligada a tensão nominal de 127 V em paralelo com o transdutor de tensão LV25-P. Utilizando um resistor de 22 kΩ na entrada do sensor e um resistor de 100Ω de medição e analisando a Equação 2 e 3 que descrevem a corrente no primário e tensão de pico a pico na saída do sensor respectivamente, e considerando a conversão de 1000:2500, os valores teóricos a serem obtidos são: $I_p = 5,77 \text{ mA}$, $I_s = 14,425 \text{ mA}$ e $V_{p-p} = 4,12 \text{ V}$.

Analisando o resultado obtido pelo transdutor de tensão mostrado na Figura 19, calcula-se que o valor de tensão de pico a pico é 131,92 V, se comparado ao valor de tensão da rede medido, apresenta um erro percentual de aproximadamente 4%.

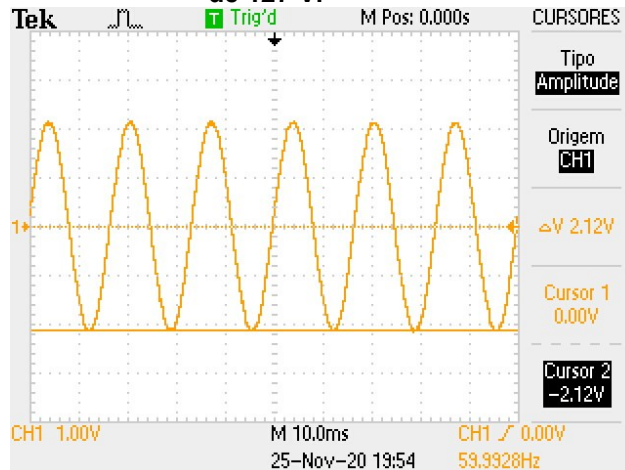
Figura 18 – Forma de onda e tensão de pico a pico de teste realizado no circuito de tensão ligado à rede de 127 V.



Fonte: Autoria própria (2021).

Os valores obtidos nos testes, Figura 18 e Figura 19, estão um pouco acima do valor teórico esperado e da margem de erro informada pelo fabricante do dispositivo de $\pm 1,6\%$ de precisão.

Figura 19 – Forma de onda e tensão média de teste do circuito medidor de tensão ligado à rede de 127 V.

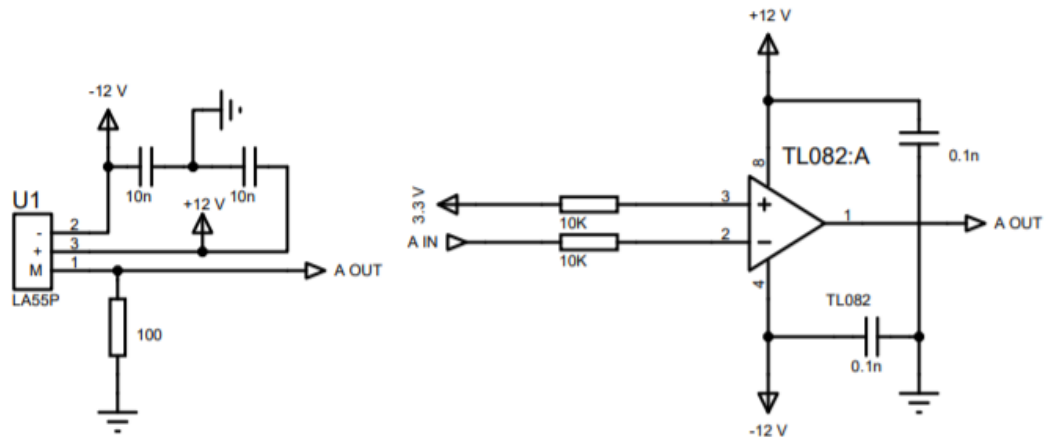


Fonte: Autoria própria (2021).

4.2 TESTES DO CIRCUITO DE CORRENTE

O circuito medidor de corrente foi dimensionado de forma análoga ao de tensão, isto é, com base em todos os cálculos teóricos expostos no capítulo anterior, definiu-se o esquemático do circuito, visto na Figura 20.

Figura 20 – Diagrama esquemático do circuito de corrente.

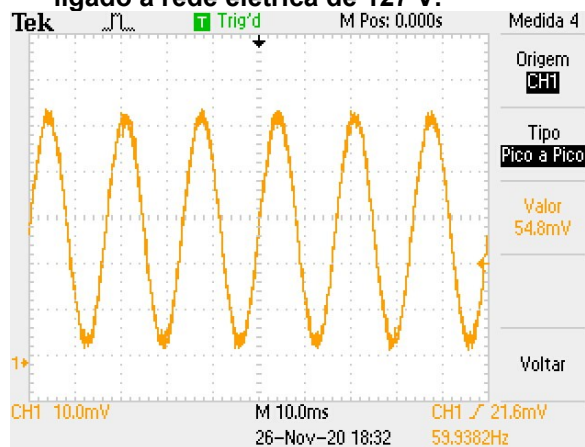


Fonte: Autoria própria (2021).

Para os testes do circuito de corrente, dois dispositivos diferentes foram usados como carga, de modo que a precisão pudesse ser analisada para valores com grandes diferenças. O resistor de medição utilizado foi de $100\ \Omega$ e taxa de conversão entre o primário e o secundário do sensor de corrente é de 1:1000.

O primeiro teste foi feito utilizando ferro de solda de 25 W de potência conectado à rede elétrica de 127 V. Desse modo, os valores teóricos esperados são: $I_p = 0,196\ A$, $I_s = 0,196\ mA$, $V_{p-p} = 55,44\ mV$, $V_m = 27,72\ mV$. A forma de onda e os valores calculados no osciloscópio podem ser observados na Figura 21.

Figura 21 – Forma de onda e tensão pico a pico de teste realizado com ferro de solda de 25 W ligado à rede elétrica de 127 V.



Fonte: Autoria própria (2021).

Analisando o valor da tensão de pico a pico obtida na medição, 54,8 mV, e fazendo os cálculos necessários, obtêm-se como corrente 0,195 mA e 0,195 A no secundário e primário respectivamente. Comparando os valores esperados, nota-se um erro de aproximadamente 0,45%, valor que indica uma precisão ótima do transdutor para a aplicação em questão.

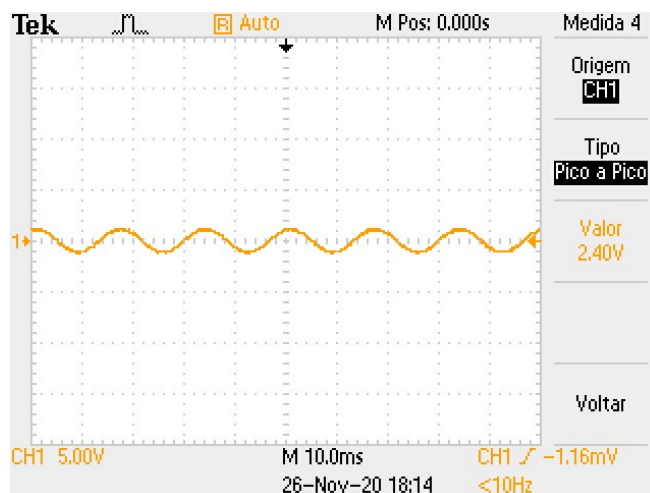
Já para o teste de dispositivos com uma potência relativamente alta, escolheu-se a utilização de um ferro de passar roupa de 1200 W de potência. Os valores teóricos esperados para esse teste são: $I_p = 9,44 A$, $I_s = 9,44 mA$, $V_{p-p} = 2,67 V$ e $V_m = 1,336 V$. Os valores reais e a forma de onda obtidos nesse teste é visto na Figura 22.

No entanto, ao contrário do valor obtido no teste para baixa potência, com o valor de tensão de pico a pico medido pelo transdutor, os valores para corrente primária e secundária, 8,545 A e 8,545 mA nessa ordem, apresentaram um erro em torno de 9% em relação ao valor teórico esperado.

Para ambos os testes é notável que a maior divergência de valores se dá na tensão de pico a pico, embora haja também uma pequena divergência entre a tensão média calculada e a coletada com o osciloscópio. Isso se dá pela maior amplitude do sinal de onda captado, impactando diretamente no erro.

Nota-se que para essa composição de testes, os valores teóricos e os valores reais obtidos estão bem próximos, embora fora da faixa de precisão indicada pelo fabricante de $\pm 0,9\%$.

Figura 22- Forma de onda e tensão pico a pico de teste realizado com ferro de passar roupa de 1200 W ligado à rede elétrica de 127 V.



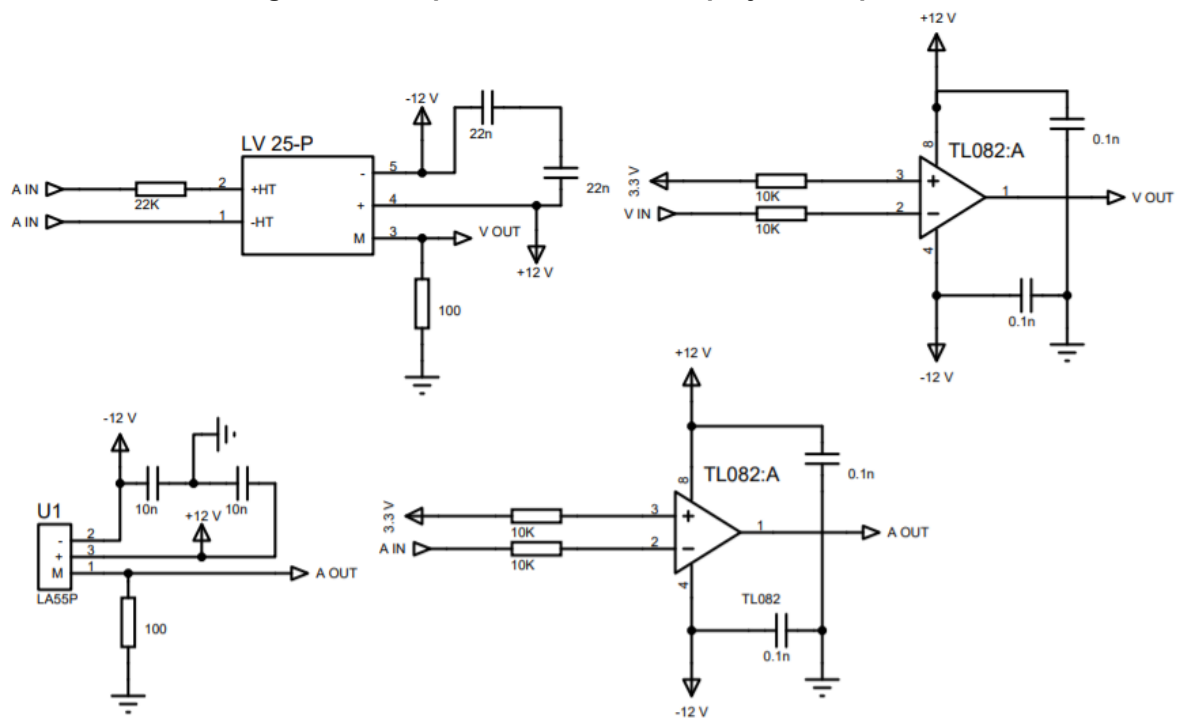
Fonte: Autoria própria (2021).

4.3 PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO DO PROJETO

Posterior a validação dos circuitos medidores de tensão e corrente em função dos testes realizados, o esquemático do circuito de monitoramento completo foi definido, Figura 23, o software *Proteus*, versão de teste, foi utilizado para o desenvolvimento da placa de circuito impresso.

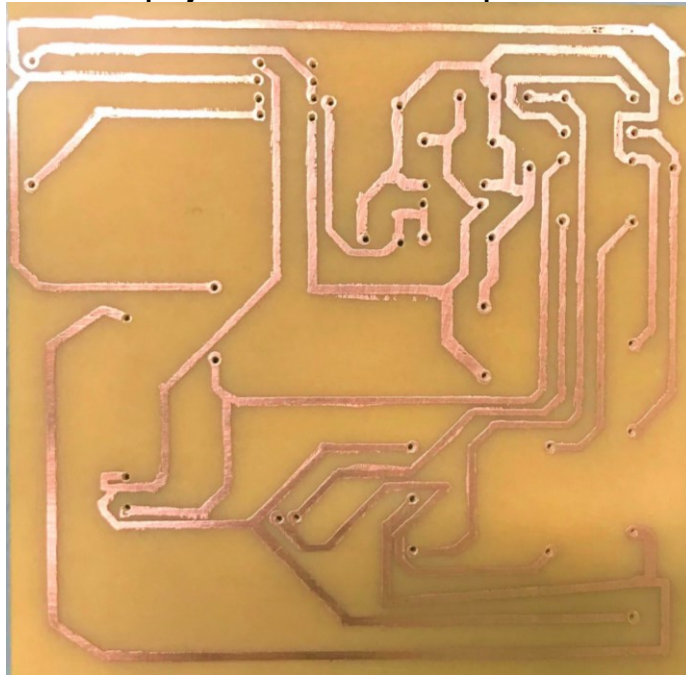
O processo de confecção da placa foi feito de forma artesanal, utilizando o método de transferência térmica para realizar a impressão das trilhas em uma placa de fenolite face simples. Na Figura 24 é possível observar o resultado da placa após a etapa de corrosão e perfuração.

Figura 23 – Esquemático elétrico do projeto completo.



Fonte: Autoria própria (2021).

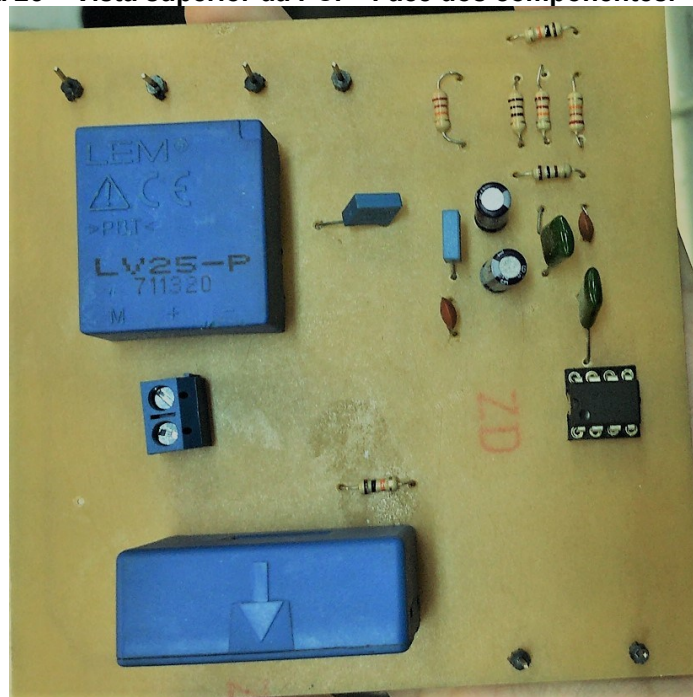
Figura 24 – PCI do projeto - Face das trilhas após a corrosão.



Fonte: Autoria própria (2021).

O resultado do final dessa etapa de desenvolvimento é visto na Figura 25, a placa soldada e com os componentes em seus respectivos lugares.

Figura 25 – Vista superior da PCI – Face dos componentes.



Fonte: Autoria própria (2021).

4.4 TESTES DOS CIRCUITOS MEDIDORES COM O CONDICIONAMENTO DOS SINAIS

Nessa etapa de validação, os resultados esperados diferem dos valores obtidos nos testes individuais de cada circuito de medição, dado que junto dos circuitos medidores de corrente e tensão está também o circuito desenvolvido para o condicionamento dos sinais. Um ferro de passar roupa de 1200 W de potência foi o equipamento utilizado para esse processo.

Como visto no tópico sobre condicionamento de sinais, quando se trabalha com sistemas que integram sinais analógicos e processamento através de softwares, muitas vezes existe a necessidade de trabalhar os sinais anteriormente ao processamento.

O sistema de condicionamento de sinais implementado nesse trabalho consiste em aplicar uma tensão de offset com o intuito de atenuar o sinal e eliminar a parte negativa do mesmo, alterações necessárias devido a limitação de tensão nas entradas analógicas do ADC e ESP8266.

O sistema de aquisição de corrente e tensão foram testados juntos, os valores medidos com o osciloscópio foram de 2,28 V e 2,68 V de tensão de pico a pico, respectivamente. Os valores obtidos podem ser considerados lineares e consistentes, pois não apresentaram grande variação durante a aquisição e se comparados com simulações em software do circuito em questão, com os mesmos valores de entrada, estão dentro de uma faixa de erro aceitável, considerando que na simulação o ambiente testado é sem interferência.

O propósito do trabalho é medir o consumo de energia elétrica de aparelhos e conforme visto anteriormente, para isso é necessário o cálculo da potência ativa, isto é, o gasto energético após o início de transmissão de energia.

Com os resultados obtidos nessa etapa, é possível fazer a análise dos valores de potência alcançados a partir do sistema implementado. Exercendo a etapa inversa de conversão com os resultados de tensão de pico a pico obtidos até aqui, 2,28 V no circuito medidor de corrente e 2,68 V para o circuito medidor de tensão.

Para o circuito medidor de tensão, o dispositivo nos fornece 131,92 V, no entanto a tensão medida na rede com o auxílio de um multímetro foi de 128,18 V, uma variação de aproximadamente 3%. Agora, para o circuito medidor de corrente,

percebeu-se uma imprecisão de aproximadamente 9%, já que o valor medido foi de 8,545 A e esperava-se um valor teórico de 9,448 A.

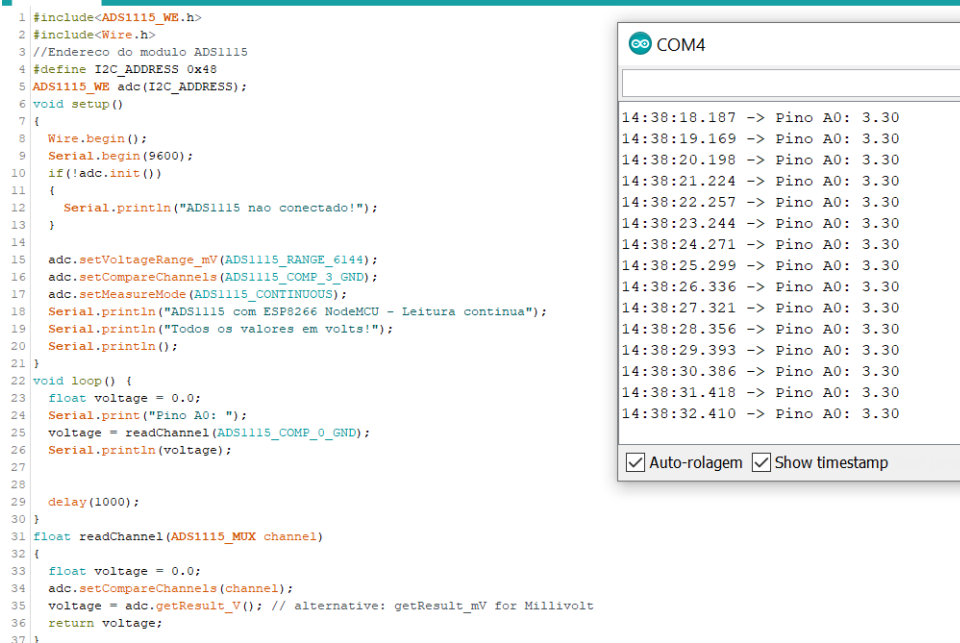
A potência ativa calculada a partir dos valores de corrente e tensão obtidos pelo sistema é de 1127,25 W, resultando em um erro percentual de 6,0625% em relação a potência indicada no dispositivo testado.

4.5 AQUISIÇÃO DE DADOS E ENVIO PARA BANCO DE DADOS

Em seguida a validação da placa de medição, fez-se a implementação do algoritmo responsável pela aquisição dos dados.

Com a necessidade de utilização de um conversor analógico digital, ADS1115, a leitura dos dados no algoritmo foi feita utilizando a biblioteca do mesmo. Antes da aquisição dos dados coletados pelo sistema, houve uma etapa em que a precisão dos dispositivos foi testada. Na Figura 26, vê-se a implementação para leitura do sinal na porta analógica A0 do conversor com uma tensão de 3.3 V fixada na entrada. Analisando a imagem, constata-se a precisão do dispositivo.

Figura 26 – Teste de precisão no conversor analógica digital ADS1115.



```

1 #include<ADS1115_WE.h>
2 #include<Wire.h>
3 //Endereco do modulo ADS1115
4 #define I2C_ADDRESS 0x48
5 ADS1115_WE adc(I2C_ADDRESS);
6 void setup()
7 {
8   Wire.begin();
9   Serial.begin(9600);
10  if(!adc.init())
11  {
12    Serial.println("ADS1115 nao conectado!");
13  }
14
15  adc.setVoltageRange_mV(ADS1115_RANGE_6144);
16  adc.setCompareChannels(ADS1115_COMP_3_GND);
17  adc.setMeasureMode(ADS1115_CONTINUOUS);
18  Serial.println("ADS1115 com ESP8266 NodeMCU - Leitura continua");
19  Serial.println("Todos os valores em volts!");
20  Serial.println();
21 }
22 void loop() {
23   float voltage = 0.0;
24   Serial.print("Pino A0: ");
25   voltage = readChannel(ADS1115_COMP_0_GND);
26   Serial.println(voltage);
27
28   delay(1000);
29 }
30
31 float readChannel(ADS1115_MUX channel)
32 {
33   float voltage = 0.0;
34   adc.setCompareChannels(channel);
35   voltage = adc.getResult_V(); // alternative: getResult_mV for Millivolt
36   return voltage;
37 }

```

COM4

```

14:38:18.187 -> Pino A0: 3.30
14:38:19.169 -> Pino A0: 3.30
14:38:20.198 -> Pino A0: 3.30
14:38:21.224 -> Pino A0: 3.30
14:38:22.257 -> Pino A0: 3.30
14:38:23.244 -> Pino A0: 3.30
14:38:24.271 -> Pino A0: 3.30
14:38:25.299 -> Pino A0: 3.30
14:38:26.336 -> Pino A0: 3.30
14:38:27.321 -> Pino A0: 3.30
14:38:28.356 -> Pino A0: 3.30
14:38:29.393 -> Pino A0: 3.30
14:38:30.386 -> Pino A0: 3.30
14:38:31.418 -> Pino A0: 3.30
14:38:32.410 -> Pino A0: 3.30

```

Auto-rolagem Show timestamp

Fonte: Autoria própria (2021).

Para o sistema proposto, a leitura do sinal se faz da mesma forma vista no teste de precisão, os cálculos implementados e todo o algoritmo está disponível no

Apêndice B. A implementação da etapa de conexão com a rede WiFi pode ser encontrada entre as linhas 8 e 31 do apêndice supracitado.

Primeiro, inicia-se a conexão com a rede Wi-Fi e então os valores de 100 amostras são lidos nas portas analógicas, faz-se o cálculo das médias de corrente, tensão, potência e energia, definida em Wh, pois existe limitação de casas decimais na variável do tipo *float* e foi preterido essa modificação para que não houvesse truncamento de valores e conseqüentemente perda de precisão.

A amostra de dados é enviada a cada 5 segundos, e corresponde à média de valores coletados nesse período, esse valor foi definido com base na precisão de envio, pois foi observado que para intervalos menores de tempo havia uma variação acima do desejado e afetaria a aferição dos dados e cálculos posteriores.

O envio dos dados coletados é feito através de uma requisição *GET* para uma página no servidor que fica aguardando o recebimento, esta página para o qual a requisição é direcionada foi desenvolvida na linguagem de programação PHP e é responsável por interpretar os dados enviados e inseri-los corretamente no banco de dados.

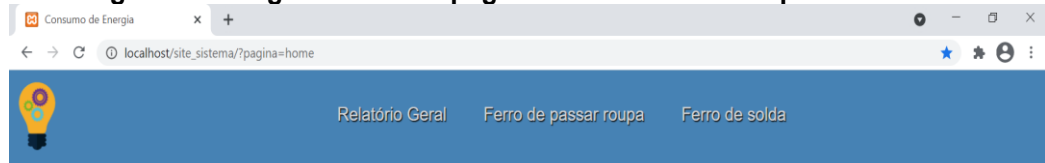
A interpretação dos dados é feita através das variáveis utilizadas e ordem de envio. Após a identificação dos valores, uma *query* de inserção é feita para a tabela do banco de dados desejada, passando os dados como parâmetros. A forma como a identificação dos parâmetros e inserção na tabela é feita inicia-se na linha 5 do apêndice C, onde o código de implementação da página web está exposto.

4.6 SISTEMA DE MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A página web foi desenvolvida com o intuito de ser uma interface gráfica para o usuário e que proporcionasse a visualização dos resultados de forma rápida e intuitiva, visto que a ideia principal do desenvolvimento do dispositivo é fornecer esse tipo de interação.

Na Figura 27, verifica-se a página principal da aplicação, contendo no cabeçalho um menu que possibilita a navegação entre as páginas, a sessão de conteúdo e o rodapé que contém apenas um anúncio sobre a aplicação, como comumente é visto em páginas web.

Figura 27 – Página inicial da página web desenvolvida para o sistema.



Sistema de Monitoramento de Consumo de Energia

© 2021 Energy Monitoring System ;

Fonte: Autoria própria (2021).

Ao navegar pela página e pressionar as opções Ferro de passar roupa e Ferro de solda, o usuário navegará para as páginas com o conteúdo desses dispositivos. Na Figura 28 e 29 é possível analisar a forma como os dados são apresentados para a página do ferro de passar roupa e do ferro de solda, respectivamente.

Figura 28 – Página de relatório de consumo de ferro de passar roupa.

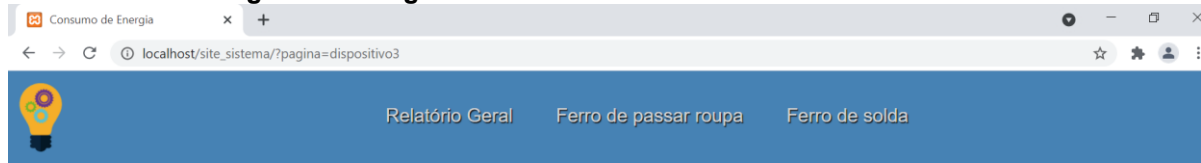
Data/hora	Corrente (A)	Tensão (V)	Potência (W)	Energia (Wh)
2021-04-25 18:00:56	9.4499998093	126.6200027466	1196.1790771484	1.6613597870
2021-04-25 18:01:01	9.4499998093	126.6100006104	1195.9581298828	1.6610529423
2021-04-25 18:01:06	9.4499998093	126.6399993896	1196.3680419922	1.6616222858
2021-04-25 18:01:11	9.4499998093	126.6200027466	1196.0526123047	1.6611841917
2021-04-25 18:01:16	9.4499998093	126.6299972534	1196.2735595703	1.6614910364
2021-04-25 18:01:22	9.4499998093	126.6500015259	1196.4625244141	1.6617535353
2021-04-25 18:01:27	9.4460000992	126.6800003052	1196.6192626953	1.6619712114
2021-04-25 18:01:32	9.4469995499	126.6100006104	1196.0845947266	1.6612286568
2021-04-25 18:01:37	9.4460000992	126.6800003052	1196.6192626953	1.6619712114

Fonte: Autoria própria (2021).

Observando ambas as páginas com os relatórios do consumo, é de se destacar que o intervalo de tempo de cada envio é aproximadamente 5 s. Convencionalmente, a energia em kWh é o resultado do valor de potência em 1 segundo dividido por 3.600.000, no entanto para a página divide-se por 720,

respeitando o período determinado na aplicação e a energia estar sendo apresentada em Wh.

Figura 29 – Página de relatório de consumo de ferro de solda.



Relatório de Consumo - Ferro de solda

Show 10 entries

Search:

Data/hora	Corrente (A)	Tensão (V)	Potência (W)	Energia (Wh)
2021-04-25 16:58:12	0.1937499940	126.6600036621	24.5403747559	0.034083854407072070
2021-04-25 16:58:17	0.1937000006	126.6699981689	24.5359783173	0.034077748656272890
2021-04-25 16:58:23	0.1937299967	126.6200027466	24.5300922394	0.034069571644067764
2021-04-25 16:58:28	0.1937499940	126.5999984741	24.5287494659	0.034067708998918530
2021-04-25 16:58:33	0.1937099993	126.6100006104	24.5256233215	0.034063365310430530
2021-04-25 16:58:38	0.1937099993	126.6399993896	24.5314350128	0.034071438014507294
2021-04-25 16:58:43	0.1937800050	126.6200027466	24.5364246368	0.034078367054462430
2021-04-25 16:58:48	0.1937700063	126.6100006104	24.5332202911	0.034073915332555770
2021-04-25 16:58:53	0.1937499940	126.6800003052	24.5442485809	0.034089233726263046

Fonte: Autoria própria (2021).

As informações mais relevantes para a aplicação de cada dispositivo estão reunidas em uma única página, relatório geral, que contém a somatória do consumo do dispositivo enquanto ligado, o custo desse período e a data da última atualização para que o usuário possa identificar se a atualização está acontecendo da forma correta. A página ainda identifica o id do dispositivo e o nome do mesmo. O valor da tarifa por kWh está fixado em R\$ 0,38460, valor correspondente a tarifa residencial convencional, cobrado pela Companhia Paranaense de Energia (Copel). O *design* pronto pode ser visto na Figura 30.

Nesse tipo de aplicação, acredita-se que como diferencial, além das informações detalhadas de cada dispositivo, seria essencial para o usuário uma aba que constasse um resumo de consumo de cada dispositivo, com informações como o somatório de energia em kWh, a tarifa local e a data de atualização. Porém, como um dos principais objetivos do trabalho é fornecer de forma antecipada o relatório de consumo, incluiu-se também o custo (em R\$) e o período em que o dispositivo ficou em funcionamento.

Figura 30 – Página com o relatório de consumo geral dos dispositivos.

Consumo de Energia

localhost/site_sistema/?pagina=pagina_geral

Relatório Geral Ferro de passar roupa Ferro de solda

Relatório de Consumo Geral

Show entries Search:

ID	Nome	Energia (kWh)	Tarifa (R\$)	Custo (R\$)	Data atualização	Período
1	FERRO DE PASSAR ROUPA	8.4406	0.3846	3.2463	2021-04-25 18:45:53	00:41:16
2	FERRO DE SOLDA	0.0166	0.3846	0.0064	2021-04-25 17:56:56	00:41:07

Showing 1 to 2 of 2 entries Previous Next

© 2021 Energy Monitoring System

Fonte: Autoria própria (2021).

5 CONCLUSÃO

O trabalho exposto apresentou o desenvolvimento de um sistema de medição de consumo de energia aplicado a equipamentos eletrodomésticos, com conexão Wi-Fi, viabilizando a interação em tempo real com banco de dados e página web para visualização dos dados coletados. O projeto do sistema de medição é composto por dois circuitos que utilizam transdutores de tensão e corrente, LV 25-P e LA 55-P, na devida ordem, com condicionamento do sinal na saída dos sensores através de um circuito somador feito com amplificador operacional, para que então pudesse ser feita a leitura dos dados pela ESP8266 com o auxílio do conversor analógico digital ADS 1115 e envio dos dados ao banco de dados conectado a página web para visualização do consumo em tempo real.

A implementação do dispositivo se fez com o intuito de proporcionar ao usuário um relatório de consumo de forma antecipada e que isso então, fizesse com que o consumo fosse feito de forma mais consciente. Para isso, dos principais objetivos do projeto eram que: a leitura fosse feita com precisão, o dispositivo fosse considerado portátil e que possibilitasse o acompanhamento simultâneo.

Considerando os resultados adquiridos, constata-se que o dispositivo possui uma boa precisão, algo em torno de $\pm 3\%$ para valores de tensão medidos, a variação, no entanto, está acima do descrito pelo fornecedor do transdutor escolhido, mas deve-se levar em considerações interferências de outros componentes utilizados no desenvolvimento do circuito.

Já para o circuito medidor de corrente, como o teste foi realizado medindo dois dispositivos com potências diferentes, notou-se uma disparidade entre as precisões. Para o ferro de solda com 25 W de potência, obteve-se uma precisão muito boa, com erro médio percentual de 0,46 %. No entanto, quando foi feito o teste para o ferro de passar roupa com 1200 W de potência, percebeu-se uma imprecisão de aproximadamente 9%. Os valores de potência conseqüentemente também sofreram alterações visto que o cálculo é feito a partir dos valores de tensão e corrente obtidos.

Ainda que o sistema fornecesse resultados um pouco acima dos esperados, durante todo o período de testes, seja na protoboard ou na placa final, apresentou uma linearidade correspondente a esperada e não houve grandes variações de valores medidos enquanto os testes aconteciam, algo positivo para a confiança dos resultados.

Em relação a estrutura de software, o sistema cumpre bem com os objetivos propostos pelo projeto. Composto pela etapa de aquisição de dados e apresentação dos relatórios de consumo, se provou eficaz e com boa linearidade de transmissão de dados, além de apresentar interface de fácil navegação, oferece ao usuário de forma instantânea os resultados obtidos pelo sistema de medição de forma objetiva.

Diante disso, constata-se que o sistema implementado cumpre os objetivos propostos, que é principalmente fornecer ao usuário um monitoramento confiável do consumo energético dos dispositivos e apresentar os resultados em tempo real através de uma interface gráfica de fácil acesso e navegação.

No entanto, por possuir limitação de potência o sistema não é aplicável a redes de alta tensões ou padrões de residências, e também é necessário atentar-se a potência do aparelho para que não exceda 2,99 kW de potência. Analisando a possibilidade de desenvolver um aparelho para comercialização, essas informações devem estar bem explícitas para o consumidor.

Além disso, como futuras melhorias do dispositivo, desenvolver um sistema análogo a esse, mas com transdutores mais robustos que suportem altas potências, aumentaria, portanto, o público capaz de adquirir o produto por possibilitar mais aplicações.

Pensando em comercialização, outro ponto de possível aperfeiçoamento é a precisão do dispositivo para medição de corrente em dispositivos de alta potência, pois analisando os valores obtidos, é nítido que o valor apresentado está um pouco acima do erro para potências mais baixas e também do indicado pelo fornecedor do transdutor de corrente utilizado.

Ainda como possíveis melhorias, tratando-se de um sistema inteligente de medição, percebe-se que um requisito básico estabelecido foi cumprido, isto é, apresentar o valor de energia elétrica ativa consumida. Para futuras implementações cabe desenvolver ainda um sistema capaz de identificar e reportar falhas, pois, como visto durante o trabalho, um dos principais motivos de investimento em redes de transmissão de energia inteligentes é possibilitar o monitoramento e envio de informações não só do consumo em tempo real, mas principalmente atuar como um identificador de data e horário do início e fim das interrupções de transmissões.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. M. **História da energia elétrica no Brasil**. São Paulo: Atual, 1982.

ALEXANDER, C, K.; SADIKU, M. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. 5 ed. São Paulo: Mc Graw, 2014.

AMIN, S.M; WOLLENBERG, B.F. Toward a Smart grid: power delivery for the 21st century. **IEE Power and Energy Magazine**. v.3, 2. ed, p. 34 – 41, 2005.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **ANEEL regulamenta medidores eletrônicos**, 2012. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/home?urlTitle=aneel-regulamenta-medidores-eletronicos&inheritRedirect=true>. Acesso em: 19 mar. 2021.

ATECH. **Saiba por que os medidores inteligentes vão reduzir custos na distribuição de energia**. 2018. Disponível em: <https://atech.com.br/saiba-por-que-os-medidores-inteligentes-vao-reduzir-custos-na-distribuicao-de-energia>. Acesso em: 20 mar. 2021.

BARAI, G. R; KRISHNAN, S; VENKATESH, B. Smart meterings and functionalities of Smart meters in Smart grid. 2015 **IEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC)**. 2015, London, Canada.

BARTHOLD, L. O.; REPPEN, N. D.; HEDMAN, D. E. **Análise de circuitos de sistemas de potência**. 2. ed. Santa Maria Universidade Federal de Santa Maria, 1983.

BEAUVOIR, S. **Memórias de uma moça bem-comportada**. Paris, Gallimard, 1958.

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

COPEL (Companhia Paranaense de Energia). **Taxas e Tarifas**. Disponível em: <https://www.copel.com/hpcweb/copel-distribuicao/taxas-tarifas/>. Acesso em: 25 mar. 2021.

CPFL. **Smart grid**, 2017. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br/energias-sustentaveis/sites-tematicos/smart-grid>. Acesso em: 14 set. 2018.

EFLUL (Empresa Força e Luz de Urussanga Ltda). **Tabela de Consumo de Aparelhos**. Disponível em: <http://www.eflul.com.br/consumidores/tabela-de-consumo>. Acesso em: 27 jan. 2021.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Balanco Energético Nacional: 2020**. Rio de Janeiro, 2020.

ESMIG. **Smart Metering Technologies**. Disponível em: <https://esmig.eu/page/smart-metering-technologies>. Acesso em: 20 mar. 2021.

ESPRESSIF SYSTEMS. Espressif Systems IOT Team. **ESP8266EX Datasheet**. NODE MCU ESP8266-12, 2015.

FALCÃO, D. M; Smart Grids e Microredes: O futuro já é presente. *In*: Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos, 8., 2009, Rio de Janeiro. **Anais [...]** Rio de Janeiro: UFRJ, 2014.

IARONKA, O. **Projeto e desenvolvimento de um sistema inteligente de monitoramento de energia elétrica para residências**. Monografia (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria. Cachoeira do Sul, RS, 2019.

IEA. **Smart grids: Tracking Clean Energy Progress**. 2018.

LAZAROIU, G. C.; ROSCIA, M.; Model for Smart Appliances toward Smart Grid into Smart City. **IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)**. 2016, Birmingham, UK.

LEM. Datasheet: **Current Transducer LA 55-P**. Electronic Publication, 2019a.

LEM. Datasheet: **Voltage Transducer LV 25-P**. Electronic Publication, 2019b.

MARTINS, C. **Medidor Inteligente para o Monitoramento e a Detecção de Falhas em Redes de Baixa Tensão**. Monografia (Bacharel em Engenharia Eletrônica) – Faculdade UnB Gama, Universidade de Brasília. Brasília, 2016.

MÓDULO, Wifi ESP8266 NodeMCU Esp-12. Filipe Flop. [201-?].

MOLEIRO, M. A. **Desenvolvimento de páginas para internet**. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ, 2010.

OPEN ENERGY MONITOR. **HOME ENERGY**, 2018. Disponível em: <https://guide.openenergymonitor.org/applications/home-energy/>. Acesso em: 18 out. 2018.

ONS (Operador Nacional do Sistema). **Mapa do sistema elétrico de transmissão do Brasil**. Disponível em: <http://www.ons.org.br/pt/paginas/sobre-o-sin/mapas>. Acesso em: 14 mai. 2021.

ORSINI, L. Q; CONSONNI, D; **Medidas de potência e fator de potência**. Apostila do Departamento de Engenharia Eletrônica da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 23 p, 1995.

PETRY, A.C. **Potência Monofásica e Fator de potência**. Circuitos Elétricos I. 17 de jul. de 2019. Aula de Laboratório. Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Catarina.

PHOENIX CONTACT. **Transdutores**. 2021. Disponível em: https://www.phoenixcontact.com/online/portal/br?1dmy&urile=wcm:path:/brpt/web/main/products/subcategory_pages/Current_transducers_AC_DC_P-14-08-01/51a5e3ce-a9b3-4b45-9526-837bbb8ec32a. Acesso em: 20 mar. 2021.

POTTER, C.; ARCHAMBAULT, A.; WESTRICK, K. Building a smarter smart grid through better renewable energy information. **IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition**, 2009, Seattle, USA.

SADIKU, M.; ALEXANDER, C.; MUSA, S. **Análise de Circuitos Elétricos com Aplicações**. Porto Alegre: Grupo A, 2014.

SANTOS, R. H ALAN. **Sensor para detecção de variação de tensão para redes de baixa tensão utilizando redes sem fio IEEE 802.11**. Tese (Pós- graduação em Engenharia Elétrica) – Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pontifícia Universidade Católica, Campinas, 2016.

SMAPPEE. **Infinite Possibilites**. Disponível em: <https://www.smappee.com/use-cases/>. Acesso em: 20 mar. 2021.

TEXAS INSTRUMENTS. **Ultra-Small, Low-Power, 16-Bit Analog-to-Digital Converter with Internal Reference**. SBAS444B, 2009.

VILAS, V. G. *et al.* Implementation of Metering Practices in Smart Grid. **2015 International Conference on Smart Technologies and Management for Computing, Communication, Controls, Energy and Materials**. 2015, Chennai, India.

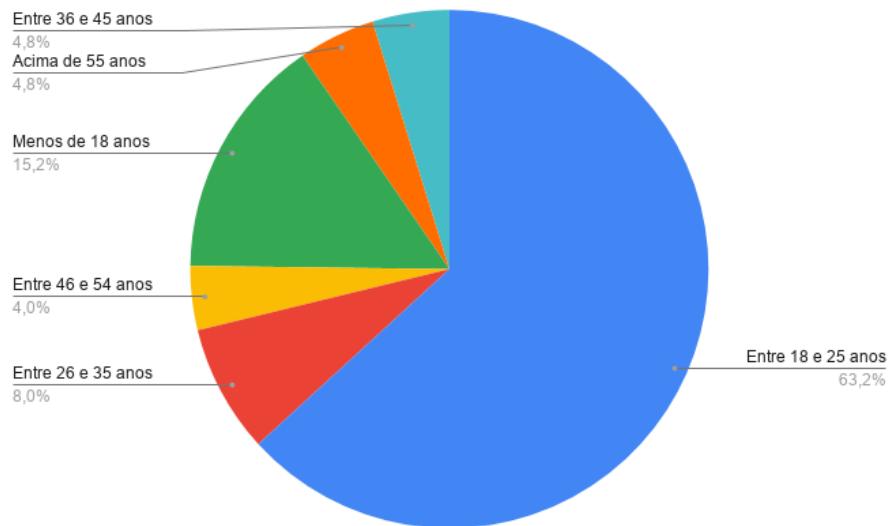
WELLING, L; THOMSON, L. **PHP e MySQL: Desenvolvimento Web**. 3 ed. São Paulo: Elsevier, 2005.

ZHENG D; GAO, L. L. J. **Smart meters in smart grid: An overview**. IEEE Green Technologies Conference, 2013.

APÊNDICE A - Resultado de Pesquisa – Comportamento do Usuário

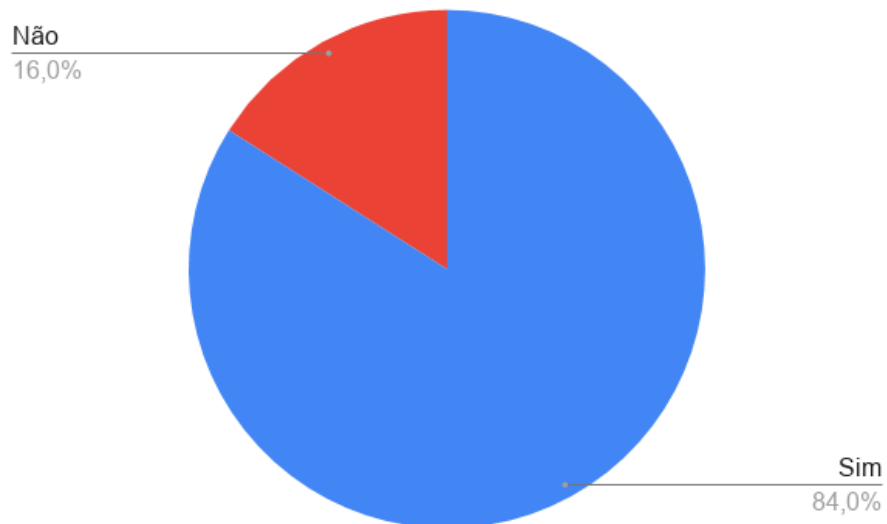
RESULTADO DE PESQUISA – COMPORTAMENTO DO USUÁRIO

Gráfico 1 - Faixa etária dos participantes da pesquisa



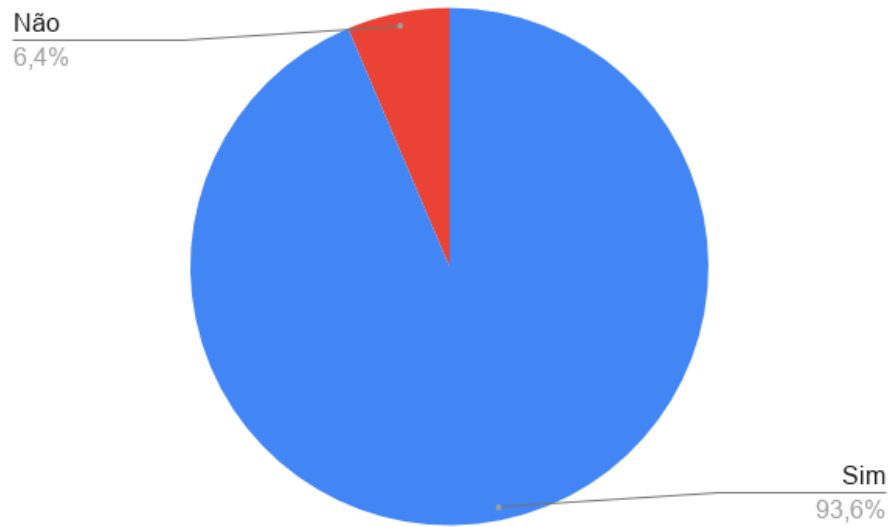
Fonte: Autoria própria (2019).

Gráfico 2 – Você considera importante saber quanto cada aparelho eletrodoméstico consome de energia?



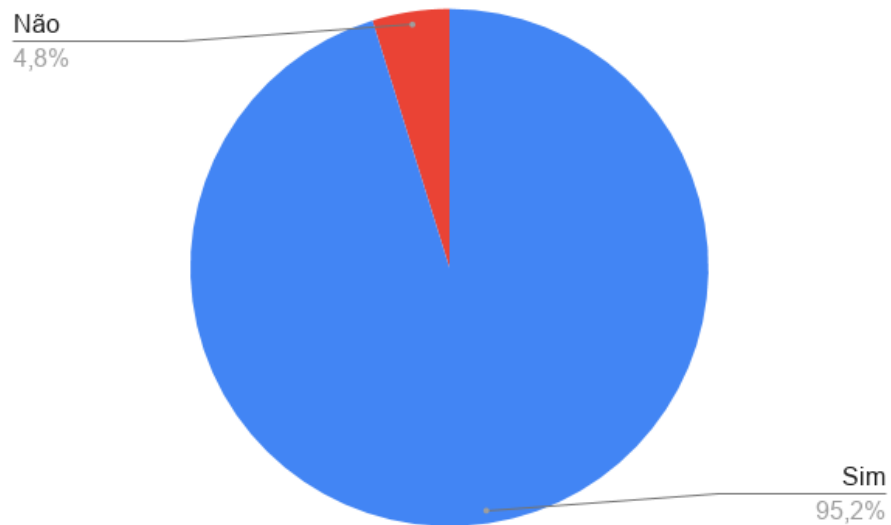
Fonte: Autoria própria (2019).

**Gráfico 3- Você pratica ações para diminuir o gasto de energia elétrica em sua residência?
Exemplos : Apagar a luz de cômodos, desligar aparelhos não utilizados.**



Fonte: Autoria própria (2019).

Gráfico 4 – Caso conseguisse acompanhar o consumo de energia elétrica diário, considera que isso impactaria num consumo mais consciente?



Fonte: Autoria própria (2019).

Gráfico 5 – Você compraria um dispositivo capaz de medir e indicar o consumo de energia elétrica diário residencial ?



- Talvez, depende do valor do dispositivo/facilidade de instalação e
- Sim
- Não

Fonte: Autoria própria (2019).

APÊNDICE B - Algoritmo implementado para ESP8266 – IDE ARDUINO

Algoritmo desenvolvido para ESP8266 – IDE ARDUINO

```

1  #include<ADS1115_WE.h>
2  #include <ESP8266WiFi.h>
3  #include<Wire.h>
4
5  #define I2C_ADDRESS 0x48
6  ADS1115_WE adc(I2C_ADDRESS);
7
8  // Dados da rede Wi-Fi
9  const char* ssid   = "";
10 const char* password = "";
11 const char* httpHost = "";
12
13 void setup(){
14
15  // setup WiFi
16  Serial.println();
17  Serial.println();
18  Serial.print("Connecting to ");
19  Serial.println(ssid);
20
21  WiFi.begin(ssid, password);
22
23  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
24  delay(500);
25  Serial.print(".");
26  }
27
28  Serial.println("");
29  Serial.println("WiFi connected");
30  Serial.println("IP address: ");
31  Serial.println(WiFi.localIP());
32
33  //setup ADS1115
34  Wire.begin();
35  Serial.begin(9600);
36  if(!adc.init())
37  {
38  Serial.println("ADS1115 nao conectado!");
39  }
40
41  //parametros biblioteca ADS1115
42  adc.setVoltageRange_mV(ADS1115_RANGE_6144); // range
43  adc.setCompareChannels(ADS1115_COMP_3_GND); // pinos analogicos
44  adc.setMeasureMode(ADS1115_CONTINUOUS); // medicao continua
45
46  float potencia, sum_potencia, tensao, corrente, energy, sum_corrente, sum_tensao;
47  float media_potencia, kw_pot, media_corrente, media_tensao;
48  int16_t ler_tensao, ler_corrente;
49
50  }
51
52  void loop(){

```

```

53  for(int inc = 0; inc<100; inc++){
54
55  ler_tensao = readChannel(ADS1115_COMP_0_GND);
56  ler_corrente = readChannel(ADS1115_COMP_1_GND);
57
58  var1 = ((ler_tensao*2 - 3.3)*2);
59  var2 = ((ler_corrente*2 - 3.3)*2);
60
61  corrente = ((var2*1000)/(99.1*2*sqrt(2)))*1.09; // corrigido erro
62  tensao = (var1*21400)/(2.5*99.1*2*sqrt(2))*0.98; // corrigido erro
63
64  potencia = corrente * tensao;
65  sum_potencia = sum_potencia + potencia;
66  sum_corrente = sum_corrente + corrente;
67  sum_tensao = sum_tensao + tensao;
68  }
69  media_potencia = sum_potencia/100;
70  media_corrente = sum_corrente/100;
71  media_tensao = sum_tensao/100;
72  kw = media_potencia/720;
73
74  // conectando ao host
75  Serial.print("connecting to ");
76  Serial.print(httpHost);
77
78  // Uso da classe WifiCliente pra criação da conexão TCP
79  WiFiClient client;
80  const int port = 80;
81
82  if (!client.connect(httpHost, port)) {
83  Serial.println("connection failed");
84  return;
85  }
86
87  String url = "/nodemcu/salvar.php?";
88  url += "corrente=";
89  url += String(media_corrente,10);
90  url += "&tensao=";
91  url += String(media_tensao,10);
92  url += "&potencia=";
93  url += String(media_potencia,10);
94  url += "&energia=";
95  url += String(kw,10);
96
97  Serial.print("Requesting URL: ");
98  Serial.print(url);
99
100 client.print(String("GET ") + url + "HTTP/1.1\r\n" +
101 "Host: " + httpHost + "\r\n" +
102 "Connection: close\r\n\r\n");
103 delay(100);
104 unsigned long timeout = millis();
105 while(client.available() == 0){
106 if(timeout > 5000){
107 Serial.print(">>> Client Timeout! ");
108 client.stop();
109 return;

```

```
110 }
111 }
112 while(client.available()){
113   String line = client.readStringUntil('\r');
114   Serial.print(line);
115 }
116 }
117 float readChannel(ADS1115_MUX channel)
118 {
119   float voltage = 0.0;
120   adc.setCompareChannels(channel);
121   voltage = adc.getResult_V();
122   return voltage;
123 }
```

APÊNDICE C - Código aplicação web

Código para a aplicação web

```

// Página responsável por receber a requisição GET
1  <?php
2
3      include('conexao.php');
4
5      $corrente = $_GET['corrente'];
6      $tensao = $_GET['tensao' ];
7      $potencia = $_GET['potencia'];
8      $energia = $_GET['energia' ];
9
10     $sql = "INSERT INTO ferro_passar(CORRENTE,TENSAO, POTENCIA, ENERGIA) VALUES
(:corrente, :tensao, :potencia, :energia)";
11
12     $stmt = $PDO->prepare($sql);
13
14     $stmt->bindParam(':corrente', $corrente);
15     $stmt->bindParam(':tensao' , $tensao);
16     $stmt->bindParam(':potencia', $potencia);
17     $stmt->bindParam(':energia' , $energia);
18
19     if($stmt->execute()) {
20         echo"salvo com sucesso";
21     } else {
22         echo"erro ao salvar";
23     }
24  ?>

// Conexão com o banco de dados
1  <?php
2
3      try {
4
5          $host = "localhost";
6          $senha = "";
7          $banco = "energy_system";
8          $usuario = "root";
9
10         $PDO = new PDO("mysql:host=" . $host . ";dbname=" . $banco . ";charset=utf8",
$usuario, $senha );
11
12     } catch(PDOException $erro){
13
14         echo"Erro de conexao";
15     }
16  ?>

```