



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

IAN AIRES NOLÊTO

**DESENVOLVIMENTO DE MEDIDOR INTELIGENTE PARA ENERGIA
ELÉTRICA E TRANSFÊRENCIA DE DADOS USANDO INTERNET DAS COISAS**

CARAÚBAS

2023

IAN AIRES NOLÊTO

**DESENVOLVIMENTO DE MEDIDOR INTELIGENTE PARA ENERGIA
ELÉTRICA E TRANSFERÊNCIA DE DADOS USANDO INTERNET DAS COISAS**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Orientador: HUGO MICHEL CÂMARA DE
AZEVEDO MAIA

CARAÚBAS

2023

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

NN791 Nolêto, Ian Aires.
d Desenvolvimento de medidor inteligente para
 energia elétrica e transferência de dados usando
 internet das coisas / Ian Aires Nolêto. - 2023.
 57 f. : il.

 Orientador: Hugo michel câmara de azevedo Maia.
 Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Elétrica, 2023.

 1. Internet das coisas . 2. Medidor
Inteligente . 3. Microcontrolador . 4. Energia
elétrica. I. Maia, Hugo michel câmara de azevedo,
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

IAN AIRES NOLÊTO

**DESENVOLVIMENTO DE MEDIDOR INTELIGENTE PARA ENERGIA
ELÉTRICA E TRANSFERÊNCIA DE DADOS USANDO INTERNET DAS COISAS**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 13 / 10/ 2023.

BANCA EXAMINADORA
HUGO MICHEL
CÂMARA DE
AZEVEDO MAIA

Assinado de forma digital
por HUGO MICHEL CÂMARA
DE AZEVEDO MAIA
Dados: 2023.10.20 17:42:35
-03'00'

Hugo Michel Câmara de Azevedo Maia
Prof. Dr. Presidente

JAN ERIK MONT GOMERY
PINTO

Assinado de forma digital por JAN
ERIK MONT GOMERY
PINTO
Dados: 2023.10.20 10:56:01 -03'00'

Jan Erik Mont Gomery Pinto
Prof. Dr. Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
gov.br **ADRIANO COSTA DE OLIVEIRA**
Data: 19/10/2023 22:29:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Adriano Costa de Oliveira
Prof. Dr. Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado saúde, força e proteção em todos os momentos e nunca deixar que faltasse nada.

A minha família, em especial meu pai Raimundo, minha mãe Josifina e meus irmãos pelo apoio e por tudo o que fizeram e fazem para mim, sem eles nada disso seria possível.

A minha mulher Joyce por me ajudar e apoiar em todos os momentos bons e ruins sem ela tudo seria mais difícil.

Ao Prof. Dr. Hugo Michel Câmara de Azevedo, por sua orientação, apoio e por acreditar no meu potencial. Agradeço a banca por terem aceitado o convite para essa apresentação.

Agradeço aos amigos e colegas que conheci ao longo do curso, e todas as pessoas que contribuíram com a realização desse objetivo.

A força de vontade é a chave para o sucesso.

RESUMO

Este projeto propõe a criação e implementação de um sistema de monitoramento de consumo de energia elétrica, baseado nos princípios da Internet das Coisas (IoT). O sistema automatiza a medição e interpretação do consumo de energia, permitindo a redução de gastos desnecessários e a detecção rápida e eficaz de problemas. O protótipo de um medidor inteligente foi desenvolvido utilizando um microcontrolador ESP-32 e sensores de tensão e corrente para acompanhar o consumo de energia em uma residência. Esse dispositivo se conecta à rede Wi-Fi, permitindo que os dados de consumo sejam acessados e exibidos em tempo real por meio de um navegador web. Esse projeto demonstra a aplicação da tecnologia IoT para melhorar a eficiência energética em residências e estabelecimentos, contribuindo para um consumo mais consciente e sustentável de energia elétrica.

Palavras-chave: Internet das Coisas; Medidor inteligente; microcontrolador; energia elétrica.

ABSTRACT

This project proposes the creation and implementation of an electrical energy consumption monitoring system based on the principles of the Internet of Things (IoT). The system automates the measurement and interpretation of energy consumption, allowing for the reduction of unnecessary expenses and the rapid and effective detection of issues. A smart meter prototype has been developed using an ESP-32 microcontroller and voltage and current sensors to monitor energy consumption in a residence. This device connects to Wi-Fi, enabling real-time access to and display of consumption data through a web browser. This project demonstrates the application of IoT technology to enhance energy efficiency in homes and establishments, contributing to a more conscious and sustainable consumption of electrical energy.

Keywords: Internet of Things; Smart meter; microcontroller; electrical energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Industria 4.0	18
Figura 2 – Smart grids	19
Figura 3 – Módulo Heltec WiFi Lora ESP32	23
Figura 4 – Módulo Heltec WiFi Lora ESP32 - top view	24
Figura 5 – Módulo Heltec WiFi Lora ESP32 - Bottom view	24
Figura 6 – Pinagem do ESP32 Lora	25
Figura 7 – Saída digital de um sensor	27
Figura 8 – Saída analógica de um sensor	28
Figura 9 – Sensor de corrente SCT-013	29
Figura 10 – Sensor de Tensão ZMPT 101B	29
Figura 11 – IoT e suas conexões	30
Figura 12 – Número de conexões de dispositivos	32
Figura 13 – Dispositivos conectados a Iot.....	33
Figura 14 – Exemplo de medidor convencional.....	34
Figura 15 – Esquema desenvolvido para o projeto	36
Figura 16 – Calibração do sensor de tensão	37
Figura 17 – Calibração do sensor de corrente	39
Figura 18 – Sistema pronto para uso	40
Figura 19 – Tela da rede local no monitor de Wifi.	44
Figura 20 – Dispositivo e ESP 32 sincronizado com as medições.....	45
Figura 21 – Dados no navegador versão teste	46
Figura 22 – Dados obtidos no medidor inteligente.....	47
Figura 23 – Consumo dos aparelhos	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações de Operações do ESP32.	23
Tabela 2 – Consumo obtido a partir dos dados do medidor no navegador.	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Iot	Internet of Things
ESP-32	Microcontrolador
RAM	Random access memory
PROM	Memória Somente de Leitura Programável
NOR	Memória de leitura de dados mais rápida
PC	Computador
Wifi	Wireless Fidelity, tecnologia de comunicação
IA	Inteligência artificial
Lora	Long range
USB	Universal Serial Bus, tecnologia de conexão
ADC	Conversor de analógico para digital
DAC	Conversor de digital para analógico
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
SPI	Serial Peripheral Interface
GPIOs	General-Purpose Input/Output
I2C	Inter -Integrated Circuit
I2S	Inter-Integrated Circuit Sound

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.2	Objetivos Gerais.....	14
1.3	Objetivos específicos	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Internet das coisas.....	16
2.2	Industria 4.0	17
2.3	Smart Grids	18
2.4	Microcontroladores	19
2.5	Medidores Inteligentes	20
2.6	ESP- 32.....	22
2.7	TCP IP	25
2.8	Sensores.....	26
2.9	Sensor SCT-013-000	28
2.10	Sensor ZMPT 101B.....	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
3.1	Aplicação de IoT	30
3.2	Cenário de crescimento	32
3.3	Medidores de Energia.....	34
4	SISTEMA PROPOSTO.....	35
4.1	Teste e calibração dos sensores.....	35
4.2	Configuração do ESP-32	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1	Resultado dos testes	46
5.2	Análise dos dados obtidos.....	46
5.3	Trabalhos Futuros	48
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
	REFERÊNCIAS	51
	ANEXO 1 – Código completo implementado	53

1 INTRODUÇÃO

A gestão eficiente do consumo de energia elétrica é uma preocupação crucial em um mundo onde a demanda por eletricidade continua a crescer exponencialmente. À medida que as questões ambientais se tornam cada vez mais urgentes e os recursos energéticos se tornam mais escassos, a Internet estão desempenhando um papel fundamental na busca por soluções inteligentes e eficazes para monitorar, controlar e otimizar o uso de energia elétrica.

Este trabalho tem como objetivo explorar a aplicação dos princípios da Internet das Coisas (IoT) no âmbito do monitoramento e gerenciamento do consumo de energia elétrica. A Internet das Coisas, ou IoT, refere-se à interconexão de dispositivos e objetos cotidianos à Internet, permitindo que eles colem, transmitam e recebam dados de forma autônoma. Esta tecnologia oferece uma oportunidade sem precedentes para melhorar a eficiência energética em residências, empresas e indústrias, contribuindo significativamente para a conservação de energia e a redução dos custos operacionais.

No Brasil, a qualidade da energia elétrica é regulamentada de forma rigorosa, com padrões estabelecidos para garantir a segurança e a confiabilidade do fornecimento de eletricidade. A conformidade com esses padrões é fundamental para atender às crescentes demandas energéticas do país e para assegurar que a energia fornecida seja segura e de alta qualidade.

Nos últimos anos, o setor energético tem passado por uma transformação significativa, com um foco crescente na eficiência e na sustentabilidade. A crescente demanda por eletricidade, juntamente com a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, tornou a gestão inteligente da energia elétrica uma prioridade global, a transição para fontes de energia mais limpas e renováveis é parte integrante dos esforços para combater as mudanças climáticas e reduzir a dependência de combustíveis fósseis.

Neste contexto, este projeto busca desenvolver um medidor inteligente de energia elétrica utilizando o microcontrolador ESP-32 e sensores de corrente e tensão. Este dispositivo permitirá o acompanhamento em tempo real do consumo de energia elétrica em residências e empresas, disponibilizando os dados de forma acessível pela Internet. Isso simplificará o controle e o gerenciamento eficiente do consumo de energia elétrica, capacitando os usuários a tomar decisões informadas sobre seu uso de eletricidade.

À medida que a tecnologia IoT continua a evoluir, espera-se que esta pesquisa contribua significativamente para aprimorar a gestão de energia elétrica, promovendo um uso mais consciente e sustentável desse recurso vital. Assim destaca-se a importância da conservação de energia elétrica e a aplicação da IoT como uma ferramenta poderosa para alcançar esse objetivo.

1.1 Problemática e justificativa

A sociedade moderna enfrenta um desafio complexo e premente: atender à crescente demanda por energia elétrica enquanto busca reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Esta questão exige um equilíbrio delicado entre fornecer um suprimento confiável de energia e promover a eficiência energética, ao mesmo tempo em que aceleramos a transição para fontes de energia mais limpas e renováveis.

Nesse contexto, os Medidores Inteligentes emergem como soluções vitais. Esses dispositivos avançados estão substituindo gradualmente os antigos modelos analógicos, trazendo consigo uma série de benefícios e possibilidades. Eles representam não apenas uma mudança tecnológica, mas também uma revolução na forma como consumimos e gerenciamos a energia elétrica. Esses medidores não são apenas aparelhos de leitura; eles são os pilares da gestão inteligente da energia. Com sua capacidade de monitorar o consumo em tempo real, otimizar o uso de eletricidade e integrar fontes renováveis, eles desempenham um papel crítico na busca por um futuro sustentável.

Assim a gestão inteligente da energia elétrica tornou-se uma prioridade global devido às preocupações ambientais e à busca por soluções sustentáveis. A aplicação da Internet das Coisas (IoT) oferece uma oportunidade única para abordar essa problemática. Monitorar o consumo de energia em tempo real, otimizar o uso de eletricidade e integrar fontes renováveis na matriz energética são passos essenciais para alcançar um futuro mais sustentável.

Este trabalho justifica-se pela urgência de adotar medidas que contribuam para a conservação de energia elétrica e para a redução das emissões de carbono. Além disso, destaca como a IoT pode desempenhar um papel crucial nessa jornada, tornando possível uma gestão mais eficiente da energia elétrica e promovendo benefícios ambientais e econômicos.

1.2 Objetivos Gerais

Analisar a viabilidade da implementação de um medidor inteligente voltado para a medição de grandezas elétricas, com o propósito de aprimorar o controle e a gestão eficiente do

consumo de energia elétrica, contribuindo para a promoção da sustentabilidade e redução de custos.

1.3 Objetivos específicos

- Conceituar e relatar a aplicabilidade de “IoT”;
- Programar o medidor com ESP-32;
- Calibrar os sensores de tensão e corrente;
- Medir grandezas elétricas na rede;
- Armazenar as informações sobre medição e o consumo;
- Analisar as informações obtidas durante o período.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Internet das coisas

A Internet das Coisas (IoT) é o resultado direto do avanço de diversas áreas tecnológicas, incluindo sistemas embarcados, microeletrônica, comunicação e sensoriamento. (Albertin e de Moura Albertin, 2017) Oferecem uma definição abrangente, descrevendo a IoT como uma rede onipresente e global cujo propósito central é a integração do mundo físico. Essa integração ocorre por meio da coleta, análise e processamento de dados provenientes de sensores IoT, que estão estrategicamente integrados à infraestrutura de comunicação pública, tornando-se parte essencial de uma infinidade de objetos do cotidiano.

Outra perspectiva da IoT é a sua caracterização como a conexão digital de objetos comuns à internet, gerando uma rede de objetos físicos, abrangendo veículos, edifícios, sensores e dispositivos de conectividade de rede. Esses objetos, equipados com capacidades de computação e comunicação, se tornam não apenas conectados à internet, mas também adquirem a inteligência para processar dados e executar ações. Essa interligação habilita o controle remoto desses objetos, abrindo caminhos para uma série de inovações nos campos comercial, educacional e industrial. É importante salientar que a IoT transcende a simples conexão de objetos; ela confere a esses objetos, como veículos, máquinas, sensores e eletrodomésticos, a capacidade de processar informações e tomar decisões, tornando-os verdadeiramente inteligentes (Albertin e de Moura Albertin, 2017).

Miranda et al. (2015) destacam que o objetivo central no desenvolvimento das aplicações da IoT é criar interações tecnológicas que beneficiem os usuários. Essas interações buscam expandir a presença da Internet ao integrar todos os objetos, viabilizando a comunicação entre seres humanos e outros dispositivos. Esse avanço tecnológico permite que as pessoas monitorem e controlem esses objetos de forma conveniente e eficiente, independentemente de onde estejam, enquanto as preocupações com a segurança e a privacidade são priorizadas (Carretero e Garcia, 2014).

A IoT está intrinsecamente relacionada a outros avanços tecnológicos que visam não apenas garantir sua viabilidade, mas também explorar seu potencial máximo. Alguns desses avanços incluem a computação ubíqua, computação em nuvem, computação cognitiva, Bring your own device (BYOD), Big Data, aprendizado de máquina (Machine Learning), crowdsourcing e blockchain (Albertin e de Moura Albertin, 2017).

A capacidade de estabelecer conexões entre dispositivos, como sensores e atuadores, e trocar informações sem intervenção humana, ou seja, por meio de sistemas totalmente automatizados, é uma pedra angular da IoT. Os dispositivos físicos são considerados simples objetos dentro dessa estrutura, sendo controlados por meio de software e codificações virtuais. O conceito da IoT emerge da necessidade contínua de solucionar desafios tecnológicos em constante evolução, e essa tecnologia continua a progredir à medida que novas descobertas são feitas nesse campo dinâmico (Santos et al., 2016).

Um aspecto crucial na implementação de sistemas IoT é a gestão eficiente do consumo de energia, seja por meio de corrente elétrica ou bateria, pelos dispositivos na rede. Em grande parte dos sistemas IoT, é fundamental que os dispositivos implantados possam operar pelo maior tempo possível com a mesma fonte de energia. Esse desafio torna-se ainda mais evidente à luz das projeções que indicam a existência de mais de 50 bilhões de dispositivos conectados até 2020 (Iorga et al., 2018).

2.2 Indústria 4.0

A Indústria 4.0, que teve seu início em 2012 por meio do projeto alemão High-Tech Strategy 2020, representa um marco significativo no avanço tecnológico. Essa abordagem revolucionária visa otimizar todas as fases da produção de produtos, desde a concepção até a fabricação, incorporando uma abordagem altamente digitalizada. A ideia-chave é criar registros de trabalho digitais que abranjam todos os estágios do ciclo de vida de um produto. Isso permite que os processos de fabricação sejam altamente ajustáveis e capazes de se adaptar rapidamente a novos métodos e especializações para a produção de produtos personalizados sob medida.

A Indústria 4.0 também está intrinsecamente ligada ao desenvolvimento da chamada "quarta revolução industrial". Nesse contexto, ocorre a convergência entre tecnologia e distribuição de energia elétrica, o que resulta na otimização do fluxo de informações disponíveis para os usuários em relação à qualidade da rede elétrica. Esse avanço é conhecido como "smart grid" ou rede elétrica inteligente, ilustrada na Figura 1.

Figura 1 - Indústria 4.0



Fonte: Learning dong gong

A "Smart grid" é uma parte essencial da Indústria 4.0, pois permite o monitoramento em tempo real e a gestão eficiente da distribuição de eletricidade. Isso não apenas melhora a confiabilidade da rede elétrica, mas também promove o uso eficiente de energia, reduzindo custos e impactos ambientais.

É importante notar que a Indústria 4.0 não se limita apenas à produção industrial; ela se estende a diversos setores, incluindo saúde, logística, agricultura e muito mais. À medida que essa abordagem continua a evoluir, seu potencial para impulsionar o crescimento econômico e melhorar a qualidade de vida se torna cada vez mais evidente (Neto, 2018).

2.3 Smart Grids

O conceito de Smart Grid (SG) se refere à aplicação das tecnologias de automação e computação para monitorar e controlar a rede elétrica. Essa abordagem oferece mecanismos avançados para aprimorar a eficiência da rede elétrica, proporcionando aos usuários uma maior conectividade com a tecnologia e a capacidade de monitorar a qualidade da energia em suas instalações (Nunes et al., 2019).

A implementação do conceito de Smart Grid beneficia todas as etapas do fornecimento de eletricidade, desde a geração até a distribuição. Isso é possível por meio da instalação de Dispositivos Eletrônicos Inteligentes (IEDs), que permitem um controle detalhado e em tempo real das operações em toda a rede elétrica. Essa troca contínua de informações entre os componentes da rede e o controlador central abre portas para o desenvolvimento de métodos mais eficientes de controle e automação em todo o sistema elétrico (Neto, 2018).

Essa abordagem possibilita uma série de vantagens, como uma maior Conectividade e Controle do Usuário, os consumidores têm acesso a informações detalhadas sobre seu consumo de energia e qualidade de fornecimento, permitindo um controle mais preciso e a tomada de decisões informadas sobre o uso da eletricidade. Monitoramento e Melhoria da Qualidade de Energia, a Smart Grid permite o monitoramento contínuo da qualidade da energia fornecida aos usuários, tornando possível identificar e corrigir problemas de qualidade rapidamente. Eficiência Operacional, a automação e o controle em tempo real permitem uma operação mais eficiente da rede elétrica, reduzindo perdas de energia e melhorando a confiabilidade. Integração de Energias Renováveis, A Smart Grid facilita a integração de fontes de energia renovável, como solar e eólica, na rede elétrica, aproveitando ao máximo essas fontes limpas de energia. Resposta a Emergências, com a capacidade de monitorar a rede em tempo real, a Smart Grid (Figura 2) permite uma resposta mais rápida a falhas e emergências, minimizando interrupções no fornecimento de energia.

Figura 2 - Smart grids



Fonte: Shutterstock

A convergência da tecnologia da informação com a rede elétrica tradicional abre novas possibilidades para a eficiência e sustentabilidade do setor elétrico, impulsionando o avanço em direção a um sistema elétrico mais inteligente e adaptável (Neto, 2018).

2.4 Microcontroladores

Os microcontroladores, muitas vezes chamados de "cérebros" de sistemas embarcados, têm sido fundamentais para a revolução tecnológica das últimas décadas. Esses dispositivos

compactos e altamente especializados desempenham um papel crucial na automação, controle e monitoramento de uma ampla variedade de dispositivos eletrônicos.

A história dos microcontroladores remonta ao início da era da computação. O primeiro microprocessador, o Intel 4004 de 4 bits, foi lançado em 1971. No entanto, esses primeiros microprocessadores eram caros e exigiam componentes externos significativos para funcionar efetivamente. A verdadeira revolução veio em 1974, com o lançamento do primeiro microcontrolador comercial, o TMS 1000 da Texas Instruments. Esse marco representou a integração de memória somente leitura, memória de leitura/gravação, processador e clock em um único chip, dando origem aos sistemas embarcados modernos.

Os microcontroladores se distinguem dos microprocessadores usados em computadores pessoais, pois são dispositivos autônomos projetados para aplicações específicas. Eles consistem em um núcleo de processador, memória (geralmente RAM, PROM ou Flash NOR) e periféricos programáveis de entrada/saída. Essa combinação compacta permite que eles sejam configurados para diversas tarefas, desde controles remotos e sistemas elétricos até dispositivos automotivos, eletrodomésticos, brinquedos e muito mais. A eficiência energética dos microcontroladores é notável, com um consumo que varia de miliwatts a nanowatts em modo de espera, tornando-os ideais para aplicações onde a economia de energia é crucial.

Uma das características mais marcantes dos microcontroladores é sua capacidade de conectividade. Com o avanço tecnológico, esses dispositivos agora podem se conectar à Internet, permitindo a comunicação e controle remoto entre dispositivos. Essa conectividade viabiliza o monitoramento de equipamentos à distância, possibilitando ajustes rápidos e tomada de decisões com base em dados em tempo real.

No contexto da Indústria 4.0, onde a automação e a conectividade são essenciais para otimizar os processos de produção, os microcontroladores desempenham um papel crucial. Eles também são a espinha dorsal da Internet das Coisas (IoT), tornando possível a criação de dispositivos inteligentes que melhoram a eficiência e a qualidade de vida em diversos setores, como saúde, logística, agricultura e muito mais. A evolução contínua dos microcontroladores promete continuar impulsionando a inovação tecnológica e moldando o futuro da eletrônica embarcada.

2.5 Medidores Inteligentes

Os medidores inteligentes, também conhecidos como medidores de energia inteligentes ou medidores digitais, representam uma evolução significativa na medição de energia elétrica.

Esses dispositivos incorporam tecnologia avançada para coletar, monitorar e gerenciar o consumo de energia de forma mais eficaz e precisa do que os medidores tradicionais.

Os medidores inteligentes são equipados com recursos que possibilitam a medição em tempo real do consumo de energia elétrica, eliminando a necessidade de leituras manuais periódicas. Essa capacidade de coleta de dados em tempo real não apenas simplifica o processo de medição, mas também permite que as empresas de serviços públicos e os consumidores monitorem o consumo de energia de forma mais precisa.

Uma das características distintivas dos medidores inteligentes é a capacidade de comunicação bidirecional. Eles podem transmitir informações sobre o consumo de energia de volta para as concessionárias de energia, permitindo uma leitura remota e a detecção rápida de falhas na rede elétrica. Além disso, os consumidores podem receber informações detalhadas sobre seu consumo de energia por meio de painéis de controle online, aplicativos móveis e outros dispositivos, incentivando a eficiência energética.

A integração dos medidores inteligentes com a infraestrutura de rede elétrica existente também abre caminho para a implementação de redes elétricas inteligentes, conhecidas como "smart grids". Essas redes são capazes de monitorar e gerenciar o fluxo de energia em tempo real, otimizando a distribuição e minimizando as perdas de energia.

Os medidores inteligentes desempenham um papel fundamental na modernização das redes elétricas e na transição para fontes de energia mais limpas e sustentáveis. Eles permitem uma gestão mais eficiente da demanda de energia, facilitando a integração de energia renovável e reduzindo os custos operacionais para as concessionárias de energia.

Além disso, os medidores inteligentes contribuem para a conscientização dos consumidores sobre seu consumo de energia, incentivando práticas mais sustentáveis e economia de energia.

Os Medidores Inteligentes de Energia permitem várias funcionalidades assim como (Silva, 2021):

- Telemetria e faturamento mais precisos;
- Monitoramento de aspectos ligados a qualidade da rede;
- Possibilitar a geração distribuída por pequenos consumidores;
- Corte e religamento remoto do fornecimento de energia;
- Detecção automática de falta de energia;
- Detecção facilitada de fraudes no medidor;
- Possibilidade de diversos tipos de tarifação (tarifa em tempo real, tarifas horo-sazonais, tarifa pré-paga e tarifa de picos críticos);

- Integração com outros dispositivos – medidores de gás e/ou água e dispositivos domésticos inteligentes.

Os novos elementos integrados ao medidor lhe conferem a capacidade para capturar, processar, responder e comunicar novas informações. O compartilhamento dessas informações com os outros integrantes do sistema elétrico, como as unidades de geração de energia ou ainda elementos do sistema de transmissão e controle, propiciam, entre outras coisas, maior agilidade na identificação e solução de problemas operacionais e gestão mais eficiente do fluxo de energia, que passa a ser direcionado através de rotas mais confiáveis para os pontos que tem demanda a ser atendida (Marcio Fortes 2017). Os novos elementos integrados ao medidor lhe conferem a capacidade para capturar, processar, responder e comunicar novas informações. (Marcio Fortes 2017).

2.6 ESP- 32

O ESP-32 foi desenvolvido pela Espressif Systems uma empresa Chinesa com sede em Xangai, Ele é um sucessor do microcontrolador ESP8266. e ficou disponível no mercado em meados de 2016. Com alta velocidade de processamento de dados e conectividade via Wi-Fi e Bluetooth, esse microcontrolador é um dos controladores mais disponíveis comercialmente, embora sua capacidade de memória seja superior a outros controladores amplamente utilizados, como o Arduino (KOLBAN, N.2018).

O módulo ESP-32 Lora é um módulo que integra o microcontrolador da série ESP32, Bluetooth e Wi-Fi. Este microcontrolador é amplamente utilizado em projetos envolvendo IoT devido a sua capacidade de interagir com as mais diversas bibliotecas e módulos (sensores) em diversas linguagens de programação. Alguns pontos positivos do dispositivo ESP32: possui ótimo desempenho de energia, baixo consumo de energia e um amplificador de baixo ruído.

O ESP32 Lora utilizado, representado na Figura 3, está equipado com WiFi, Bluetooth, Low Energy e o processador Tensilica LX6 Dual Core operando com até 240Mhz de velocidade, trabalhando junto ao transceptor de LoRa SX1276 capaz de realização transmissões sem fio na frequência de 915MHz com um baixo consumo de energia, longo alcance e grande capacidade anti-interferência. Para realizar a interação homem máquina, foi utilizado o display OLED de 0,96 polegada e cor Azul, tendo uma resolução de 128x64 px e baixíssimo consumo de energia por se tratar de tecnologia OLED, foi colocado um conector para bateria de lítio com circuito de carga e descarga para baterias de 3,7V e até 1000 mAh, tudo isso em uma plaquinha de 25x52x10 mm de dimensões.

Figura 3 - Módulo Heltec WiFi Lora ESP32



Fonte: HELTEC (2021)

Aqui estão algumas especificações do modelo ESP-32 (IBRAHIM, D.,2019):

- CPU: Xtensa Dual-Core 32-bit LX6;
- ROM: 448 KBytes;
- RAM: 520 KBytes;
- Memória Flash externa: 32-Bit de acesso e 4Mb;
- Suporte ao ambiente de desenvolvimento Arduino (Arduino IDE);
- Clock máximo: 240MHz;
- Wireless padrão 802.11 b/g/n; 2.4 a 2.5 GHz
- Segurança WiFi: WPA / WPA2 / WPA2-Enterprise / WPS;
- Criptografia WiFi: AES / RSA / ECC / SHA;
- Distância: cerca de 2,8 km em lugar aberto
- Bluetooth BLE 4.2.
- RTC Integrado de 8Kb (Slown / Fast);

As especificações de operação são dadas pela Tabela 1.

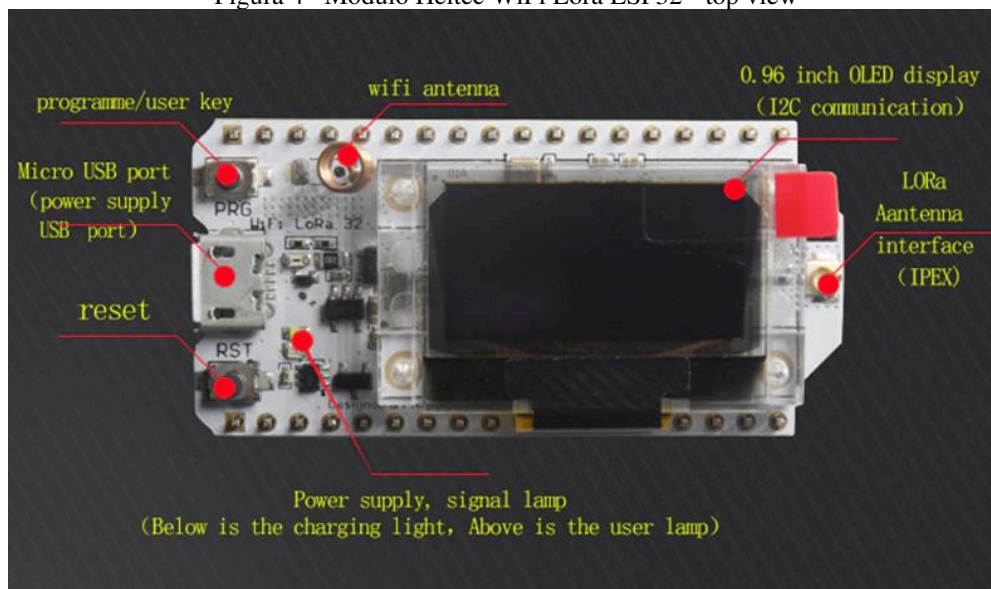
Tabela 1 - Especificações de Operações do ESP32.

	Representação	Mínimo	Ideal	Máximo	Unidade
Temperatura de Operação	°C	- 40	20	85	°C
Tensão de Alimentação	VDD	2,7	3,3	3,7	V
Corrente de Operação	IVDD	-	0,5	-	A

Fonte: Autoria própria

Na visão superior do módulo, identifica-se duas antenas dedicadas ao Wifi e LoRa, dois botões/chaves, ilustrados na Figura 4, para programação e reset, porta de alimentação do tipo USB B e um led para indicar o sinal do microcontrolador.

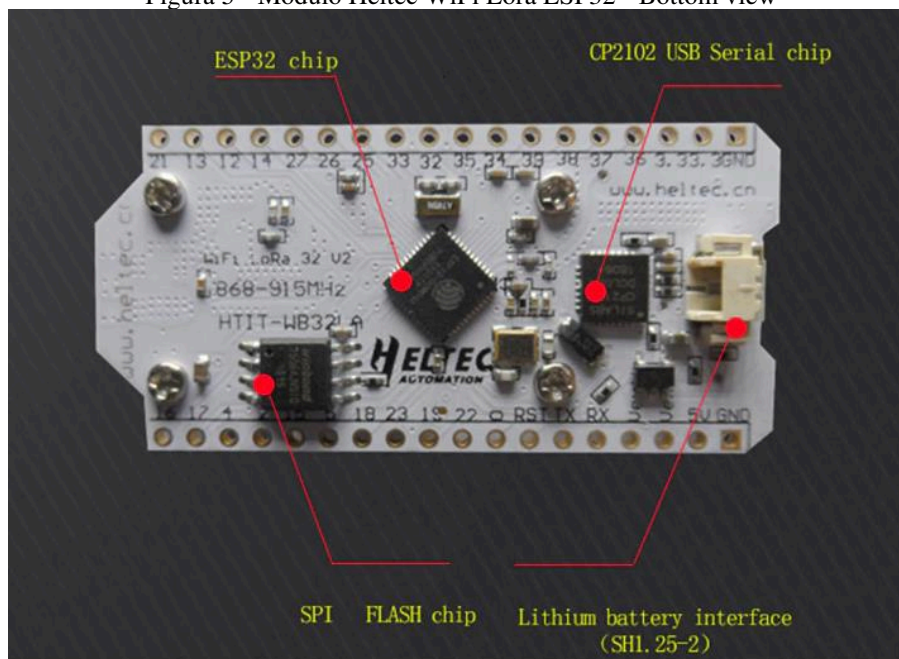
Figura 4– Módulo Heltec WiFi Lora ESP32 - top view



Fonte: HELTEC (2021)

Na visão inferior mostrada na Figura 5, estão identificados o Chip ESP32, USB Serial chip, SPI Flash Chip e a entrada para acoplar uma bateria de Lítio.

Figura 5 - Módulo Heltec WiFi Lora ESP32 - Bottom view



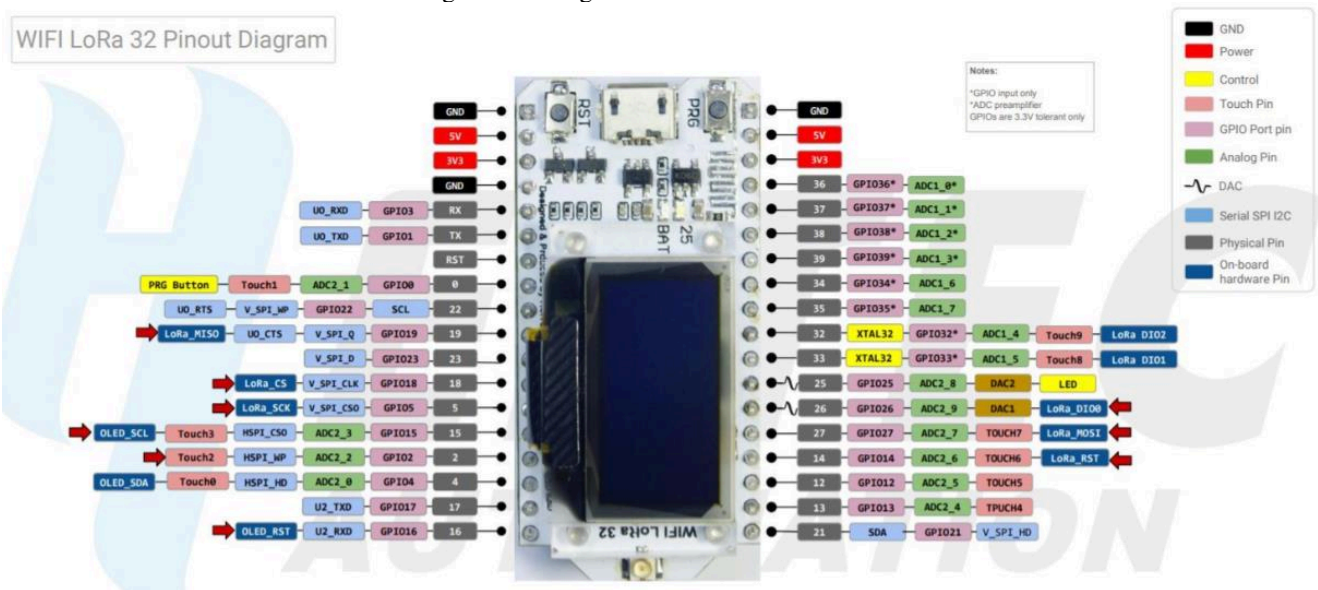
Fonte: HELTEC (2021)

Os pinos destacados na Figura 6 são dedicados por padrão ao chip LoRa. As demais configurações são iguais ao ESP 32 convencional.

Os periféricos do módulo ESP-32 possuem:

- 18 Pinos referentes a função de Conversor de analógico para digital (ADC);
- Pinos de interfaces SPI;
- Pinos de interfaces UART (comunicação serial);
- Pinos de interfaces I2C;
- 16 Pinos referentes a canais de saída PWM (modulação por largura de pulso);
- Pinos referentes a função de Conversores Digital-Analógico (DAC);
- 2 Pinos de interfaces I2S;
- 10 Pinos GPIOs com detecção capacitiva (Touch).
-

Figura 6 - Pinagem do ESP32 Lora



Fonte: HELTEC (2021)

2.7 TCP IP

O protocolo TCP/IP, que significa Transmission Control Protocol/Internet Protocol, é um dos protocolos mais amplamente utilizados para a transmissão de dados pela internet. Essa combinação de protocolos, composta pelo TCP (Protocolo de Controle de Transmissão) e pelo IP (Protocolo da Internet), é a espinha dorsal da comunicação de dados na internet. O TCP/IP foi desenvolvido para garantir a confiabilidade e a entrega eficaz de dados, independentemente

do tamanho da rede. Sua arquitetura de código aberto permite que qualquer pessoa o utilize, tornando-o uma base sólida para a conectividade global (Torres, 2014).

Na rede, dispositivos são identificados e reconhecidos por outros dispositivos por meio de endereços IP. Isso significa que cada equipamento que se comunica na rede é identificado por um endereço IP único. Esse endereçamento é fundamental para que os dados sejam encaminhados de forma precisa e confiável, garantindo que as informações sejam entregues ao destinatário correto. Essa é a essência do funcionamento de uma rede TCP/IP (Torres, 2014).

O endereço IP é responsável pelo direcionamento dos dados, indicando onde o servidor de destino está localizado e qual é o endereço do emissor da informação. Por outro lado, o TCP é o encarregado de gerenciar e organizar esses dados, assegurando uma comunicação eficiente entre o emissor e o receptor. Ele oferece garantias de segurança e verifica se as informações estão sendo transmitidas e recebidas de maneira adequada. O TCP também desempenha um papel importante na definição das portas que serão usadas para o envio e recebimento de dados, além de verificar a disponibilidade dessas portas (Torres, 2014). O protocolo TCP/IP é a base da comunicação na internet, garantindo que os dados sejam roteados corretamente, transmitidos de forma segura e entregues aos seus destinos finais. É um sistema robusto e flexível que desempenha um papel vital em nossa sociedade cada vez mais conectada.

2.8 Sensores

Os sensores desempenham um papel fundamental na aquisição de dados do ambiente e na interpretação de várias grandezas físicas. Conforme definido por Foncesa (2006), esses dispositivos têm a capacidade de "sentir" o meio ao qual estão expostos e identificar características específicas desse ambiente. Os resultados obtidos por esses sensores podem abranger uma ampla variedade de grandezas físicas, incluindo luminosidade e calor, dependendo do tipo de sensor utilizado. Após a coleta dessas grandezas, elas podem ser interpretadas por meio de um indicador ou controlador, permitindo que as variações sejam exibidas de forma compreensível por meio de um equipamento.

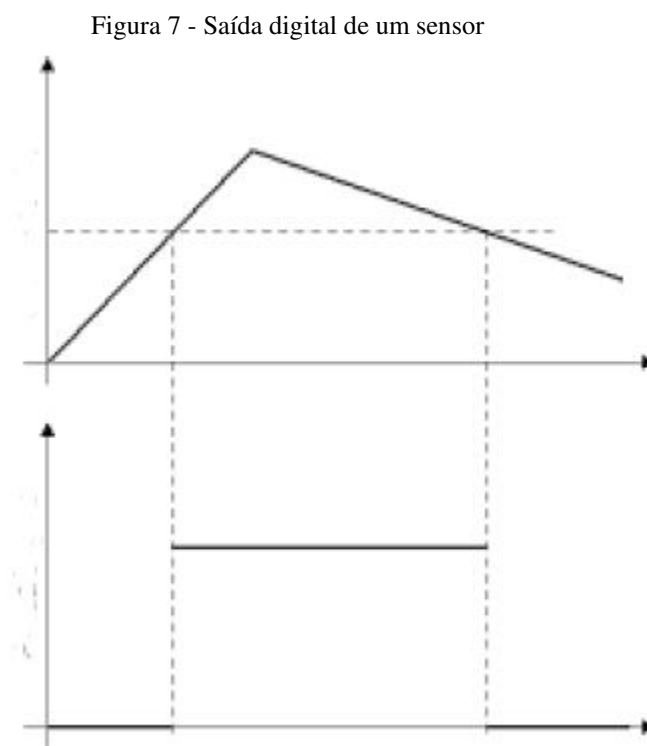
De acordo com Patsko (2006), um sensor atua como um transdutor, convertendo uma grandeza física em variações de pulsos elétricos. Esses dados podem então ser transformados em outro tipo de sinal, tornando-se valiosos para o monitoramento de variáveis ou características ambientais específicas.

Roggia Fuentes (2016) classifica sensores em dois tipos principais: digitais e analógicos. Sensores digitais são usados para monitorar a ocorrência ou não de um evento específico e têm

saídas que representam apenas dois estados lógicos, geralmente "ligado" (ON) ou "desligado" (OFF). Por outro lado, sensores analógicos monitoram grandezas físicas em uma faixa contínua, dentro dos limites definidos pelos valores mínimos e máximos nas saídas de sinal.

Ao escolher um sensor para um projeto específico, como mencionado por Wendling (2010), várias características devem ser consideradas. Um desses fatores é o tipo de saída do sensor, que pode ser digital ou analógico.

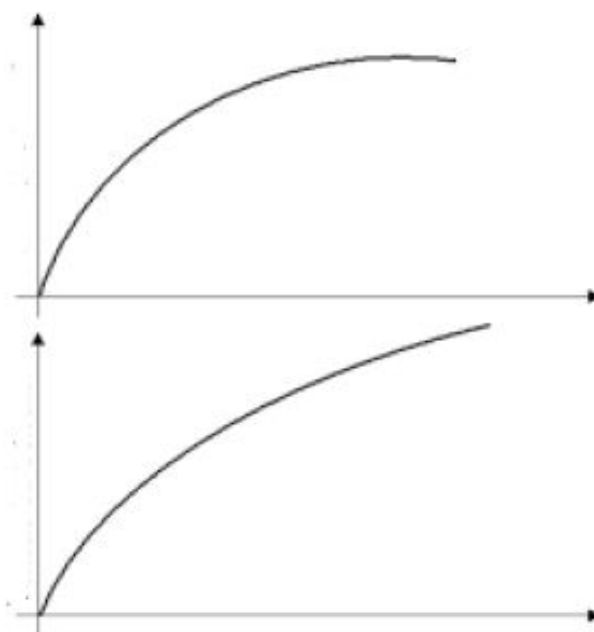
Tipo de saída digital: Sensores com saídas digitais fornecem apenas dois valores lógicos (0 ou 1), conhecidos como saídas binárias. Essas saídas alternam entre dois estados - geralmente "ligado" (nível 1) e "desligado" (nível 0) - com base em grandezas físicas bem definidas e valores pré-estabelecidos. A Figura 7 ilustra o comportamento da saída de um sensor digital ao longo do tempo.



Fonte: Wendling, 2010.

Tipo de saída analógica: Sensores com saídas analógicas interpretam uma gama contínua de valores ao longo do tempo, desde que esses valores estejam dentro de sua faixa de operação. A Figura 8 exemplifica o funcionamento de um sensor analógico, onde o gráfico representa a tensão ou corrente de saída, variando de maneira aproximadamente proporcional a uma grandeza física específica em um intervalo de tempo determinado.

Figura 8 - Saída analógica de um sensor



Fonte: Wendling, 2010.

2.9 Sensor SCT-013-000

O sensor SCT-013-000V é um dispositivo essencial para a medição de corrente alternada. Ele possui a capacidade de medir corrente elétrica em uma faixa que varia de 0 a 100 amperes, fornecendo uma saída correspondente de 0 a 1 volt. A abreviação SCT, que se refere a "Split-core Current Transformer," significa transformador de corrente de núcleo dividido.

Este sensor é composto por uma bobina, um supressor transiente de tensão (TVS) e um núcleo de ferrite dividido. A sua operação baseia-se na transformação da corrente elétrica que flui através do condutor em um sinal elétrico que pode ser facilmente lido e interpretado por dispositivos eletrônicos. O núcleo de ferrite dividido permite que o sensor seja "aberto" e "fechado" em torno do condutor, facilitando a instalação em sistemas elétricos existentes sem a necessidade de interromper o circuito. (Kuroishi, 2018).

Esse tipo de sensor, representado na Figura 9, é amplamente utilizado em várias aplicações, incluindo monitoramento de consumo de energia, controle de dispositivos elétricos e análise de sistemas elétricos. Ele desempenha um papel crucial na obtenção de dados precisos sobre a corrente elétrica, fornecendo informações valiosas para garantir a eficiência e a segurança dos sistemas elétricos.

Figura 9 - Sensor de corrente SCT-013



Fonte - YHDC, 2013a.

2.10 Sensor ZMPT 101B

O sensor ZMPT 101B é um módulo amplamente utilizado para medir a tensão em um circuito elétrico, sendo capaz de realizar medições tanto de tensão contínua quanto de corrente alternada. Embora não alcance a mesma eficiência de um multímetro profissional, esse módulo oferece uma medição de tensão com um nível satisfatório de precisão.

O ZMPT 101B é caracterizado pela presença de um trimpot em sua estrutura, o que possibilita a calibração do sensor. Essa característica permite que o usuário ajuste o sensor para obter leituras ainda mais precisas. Essa capacidade de calibração torna o ZMPT 101B (Figura 10) uma escolha versátil para uma variedade de aplicações que exigem medições precisas de tensão (Costa, 2019).

Figura 10 - Sensor de Tensão ZMPT 101B



Fonte: USINAINFO, 2021.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Aplicação de IoT

A Internet das Coisas (IoT) tem sido uma das tecnologias mais disruptivas dos últimos anos, transformando radicalmente a maneira como interagimos com o mundo digital e físico. Ela se baseia na interconexão de dispositivos, sensores e sistemas em uma rede global, permitindo a coleta e troca de dados em tempo real (Santos et. al. 2016).

Segundo Lima e Fidalgo (2021), o fluxo de dados na IoT (Figura 11), de forma geral é composto por quatro passos principais que se comunicam por meio de protocolos:

- O sensor, que coleta os dados do ambiente;
- O centro de dados, localizados na nuvem, responsável por armazenar e analisar os dados coletados;
- A aplicação, software que controla os dados analisados fornecendo o serviço ao usuário final;
- Consumidor, usuário final que compartilha e consome as informações com outras pessoas e serviços.

Figura 11 - IoT e suas conexões



Fonte: Shutterstock

A ideia de IoT já vem sendo difundida a tempos, no entanto só devido a coleção de avanços tecnológicos diversos desenvolvidos recentemente foi possível aplicar na prática (ORACLE).

Alguns destes avanços são:

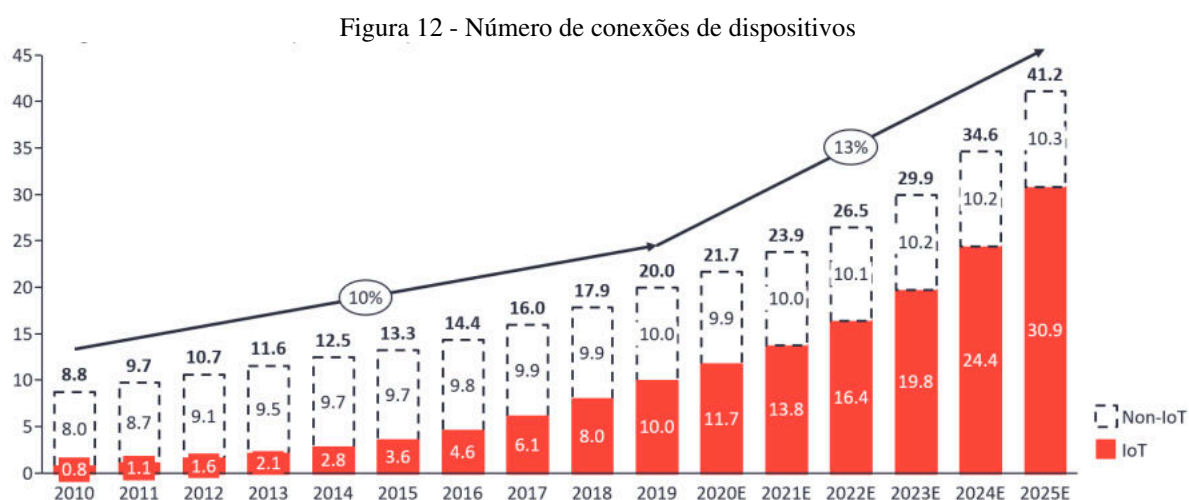
- Cidades Inteligentes: A IoT desempenha um papel fundamental na criação de cidades mais inteligentes e eficientes. Sensores em semáforos, lixeiras e sistemas de iluminação pública ajudam a otimizar o tráfego e economizar energia. Além disso, a coleta de dados em tempo real permite um gerenciamento mais eficaz de recursos, como água e eletricidade.
- Acesso à tecnologia de sensores de baixo custo e baixa potência – possibilita que a IoT seja utilizada por mais fabricantes devido a aplicabilidade de sensores acessíveis e confiáveis.
- Conectividade – Para uma transferência eficiente dos dados é necessária uma série de protocolos de rede para a internet que visa facilitar a conexão de sensores à nuvem e as outras coisas.
- Plataformas de computação em nuvem – As empresas e consumidores podem acessar a infraestrutura necessária para aumentar a escala sem precisar gerenciar tudo.
- Machine learning e análise avançada – Acesso a grande quantidade e variedade de dados armazenados, além disso possibilitam que as empresas tenham insights de forma mais fácil e rápida.
- Saúde Conectada: A IoT revolucionou a indústria da saúde com dispositivos que monitoram a saúde em tempo real. Desde smartwatches que rastreiam os batimentos cardíacos até dispositivos implantáveis que monitoram pacientes crônicos, a IoT está melhorando o acompanhamento médico e permitindo diagnósticos mais precisos.
- Indústria 4.0: Na manufatura, a IoT está impulsionando a chamada Indústria 4.0. Sensores em máquinas e equipamentos permitem a manutenção preditiva, reduzindo o tempo de inatividade e economizando custos. Além disso, a automação inteligente está aumentando a eficiência da produção.
- Inteligência artificial (IA) conversacional – Implementação do NLP (*Natural-Language Processsing*) aos dispositivos de IoT, tornando-os mais acessíveis, atraentes e viáveis para uso doméstico.

A combinação entre estas tecnologias citadas ultrapassam os limites da IoT, de modo que os dados coletados pela IoT são utilizados para alimentar essas tecnologias.

3.2 Cenário de crescimento

A Internet das Coisas pretende conectar dispositivos de detecção para comunicação com outros dispositivos a fim de fornecer um serviço inteligente. Como exemplo, IoT pode ser utilizado para monitoramentos de ambientes - medindo a qualidade do ar ou a temperatura - entregando informações e avisos aos habitantes, bem como para o controle dessas grandezas (LEE; KE, 2018).

A Figura 12 em seu eixo vertical demonstra o número global de conexões ativas em Bilhões. O índice "Non-IoT" inclui todos os smartphones, tablets, PCs, Laptops e telefones fixos (ANALYTICS, 2021). Conforme ANALYTICS (2021), percebe-se uma taxa de crescimento exponencial no número de conexões com dispositivos IoT nos próximos anos, enquanto há uma visão estável para as conexões Non-IoT.



Fonte: ANALYTICS (2021)

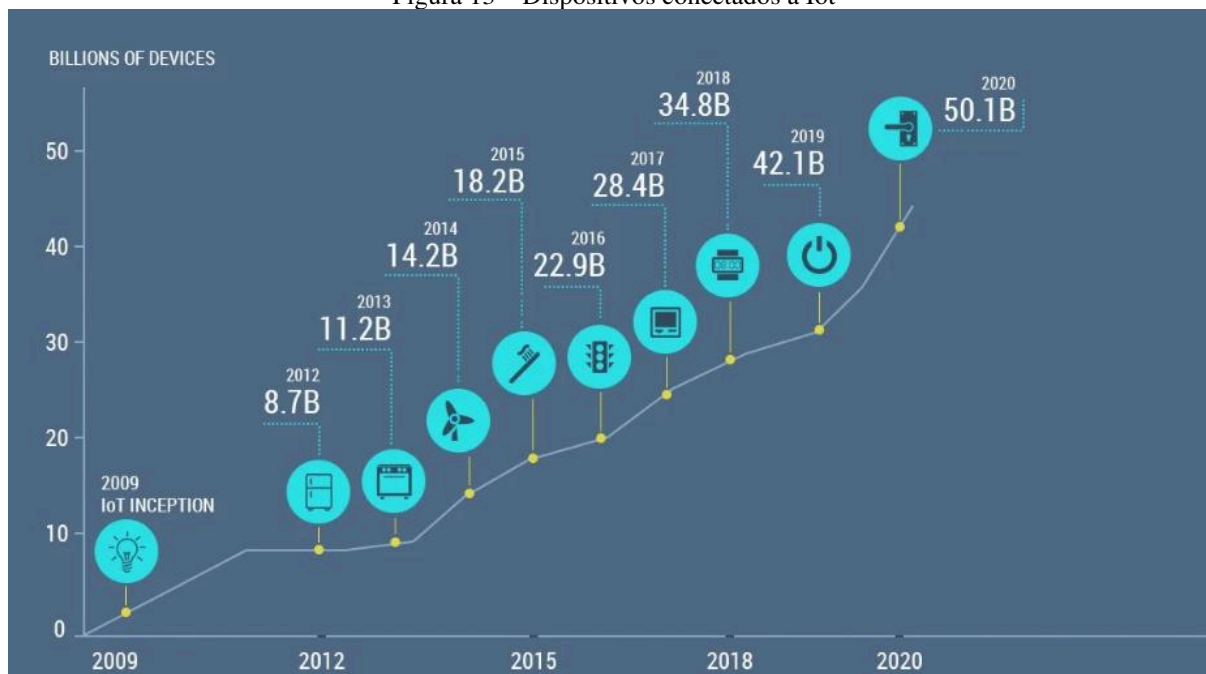
Algumas tendências atuais que estão ligadas a Iot (Figura 13):

- 5G e IoT: A implementação das redes 5G está acelerando o crescimento da IoT. Com maior largura de banda e menor latência, o 5G viabiliza a comunicação mais rápida e confiável entre dispositivos IoT, tornando possível aplicações como carros autônomos e cirurgia remota.
- Edge Computing: Para reduzir a sobrecarga das redes e melhorar a resposta em tempo real, a IoT está adotando o edge computing. Isso envolve processar dados

diretamente nos dispositivos ou em servidores próximos, em vez de enviá-los para a nuvem. Isso é particularmente relevante em aplicações críticas, como carros autônomos.

- **Privacidade e Segurança:** À medida que a IoT se expande, a privacidade e a segurança dos dados tornam-se preocupações cruciais. Novas regulamentações, como o GDPR na União Europeia, estão moldando a maneira como as empresas lidam com dados pessoais e incentivando práticas mais seguras.
- **Expansão nos Setores Agrícolas:** A IoT está transformando a agricultura, permitindo o monitoramento preciso de culturas e gado. Sensores de solo, drones e estações meteorológicas conectadas estão ajudando os agricultores a otimizar a produção de alimentos de forma sustentável.
- **IoT na Vida Cotidiana:** A IoT está se tornando cada vez mais parte da vida cotidiana, com dispositivos como assistentes virtuais e eletrodomésticos inteligentes. A automação residencial está crescendo rapidamente, tornando nossas casas mais convenientes e eficientes.

Figura 13 – Dispositivos conectados a Iot



Fonte: Voicers

A Internet das Coisas continua a evoluir rapidamente, e suas aplicações são vastas e variadas. À medida que mais dispositivos são conectados e mais dados são coletados, podemos esperar que a IoT continue a moldar e aprimorar nossa sociedade em inúmeras maneiras.

3.3 Medidores de Energia

Os medidores de energia desempenham um papel fundamental na medição do consumo elétrico. Eles têm a capacidade de medir a corrente elétrica, que representa a quantidade de eletricidade que flui pelo circuito do consumidor final, que é medida em ampères, e a tensão elétrica, que é a força que impulsiona essa corrente, medida em volts. Estes dois parâmetros, quando combinados determinam a potência elétrica total do sistema, e com esses parâmetros pode se obter mais grandezas do sistema, como potência, fator de potência, a resistência e a energia elétrica do sistema em kilowatt-hora (kWh).

O Cálculo da Potência (em watts) é o produto da corrente pela tensão ($P = VI$). Os medidores de energia calculam a potência instantânea, que varia ao longo do tempo à medida que os dispositivos elétricos são ligados e desligados. Para as medições do Consumo de energia ao longo do tempo, o medidor (Figura 14) acumula a potência ao longo de intervalos regulares de tempo (geralmente em kilowatt-horas, kWh). Isso é feito multiplicando a potência instantânea pelo tempo decorrido, e eles também utilizam display para leitura, muitos medidores de energia possuem um display digital ou analógico que mostra o consumo acumulado em kWh. Isso permite que os clientes acompanhem o consumo de energia ao longo do mês e também a concessionária, com seus leituristas.

Figura 14 – Exemplo de medidor convencional



Fonte: Autoria própria

4 SISTEMA PROPOSTO

O projeto proposto visa avaliar a viabilidade da implementação de um sistema de monitoramento de consumo de energia elétrica usando a Internet das Coisas (IoT). Este sistema permitirá a medição precisa e em tempo real do consumo de energia em residências, resultando em um melhor gerenciamento e evitando gastos desnecessários.

Alguns benefícios da monitorização de consumo de energia com IoT, assim como a eficiência energética, está na simultaneidade de ao monitorar o consumo de energia elétrica de uma residência, os moradores ou empresa que fornece a energia, os mesmos podem identificar padrões de uso e tomar medidas para reduzir o consumo.

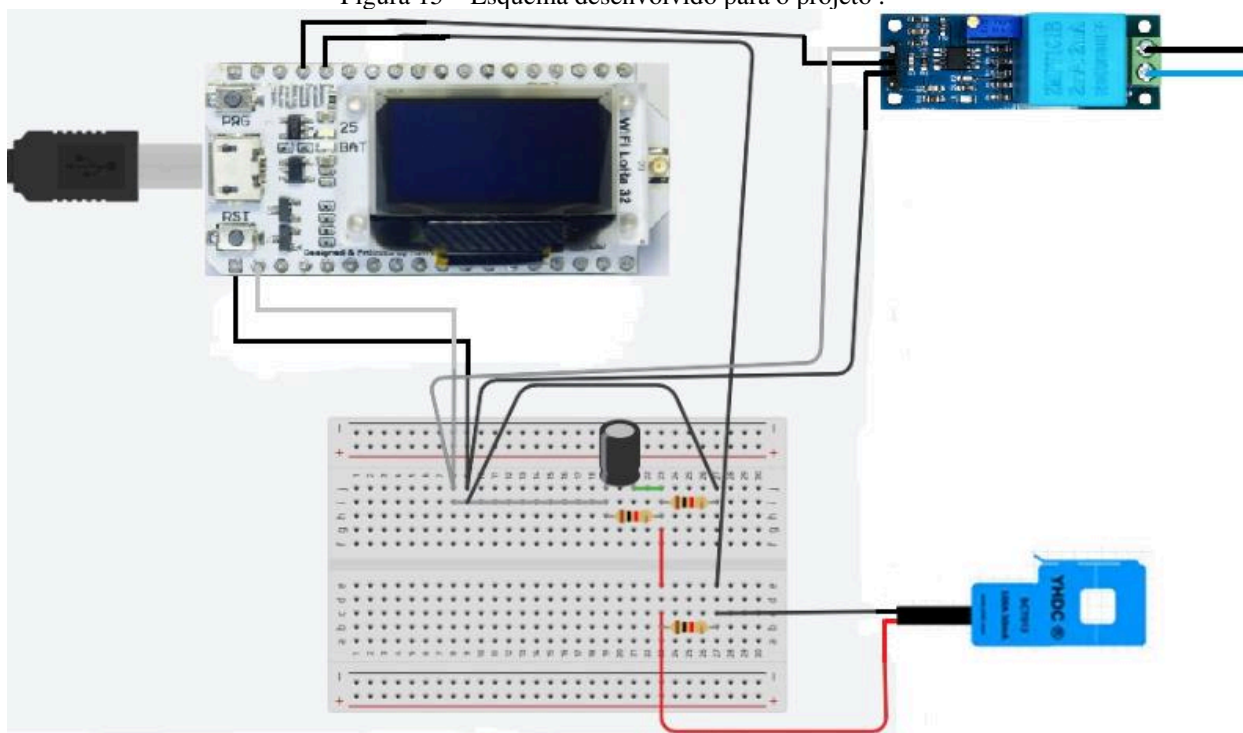
Isso pode incluir a identificação de dispositivos de alto consumo de energia ou o ajuste de horários de uso, além da economia financeira, com uma visão clara do consumo de energia, os residentes podem tomar decisões informadas sobre seu consumo, resultando em economia a longo prazo nas contas de energia elétrica, assim a redução do consumo de energia contribui para a sustentabilidade ambiental, diminuindo a pegada de carbono e promovendo práticas de consumo mais conscientes.

4.1 Teste e calibração dos sensores

O esquema desenvolvido para o desenvolvimento deste projeto é representado na Figura 15, podendo assim listar os equipamentos utilizados no sistema proposto como sendo:

- ESP32 Lora;
- Sensor ZMPT 101B;
- Sensor de corrente SCT-013 100A;
- Protoboard;
- Resistores de 10k Ω ;
- Resistor de 660 Ω ;
- Capacitor eletrolítico de 100uF;
- Jumpers;

Figura 15 – Esquema desenvolvido para o projeto .

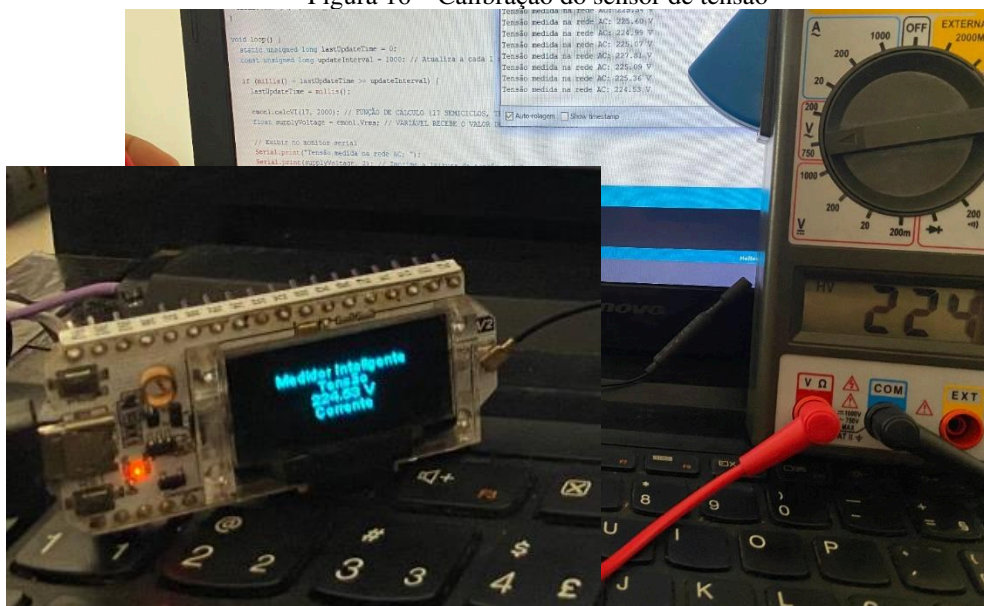


Fonte: Autoria própria

Primeiramente faz-se necessário incluir várias bibliotecas necessárias para o funcionamento do projeto, essas bibliotecas incluem a "Wire" para comunicação I2C, a "heltec.h" para controle do display OLED, a "EmonLib" para medição de energia com os sensores e a "WiFi" para comunicação Wi-Fi. O código define algumas constantes e variáveis iniciais, como a calibração da tensão, cria instâncias de sensores (tensão e corrente) e configura os pinos utilizados.

Para o melhor desempenho do sistema proposto realizou-se a calibração do sensor de tensão a partir do código no Arduino IDE, o qual imprimiu o mesmo valor da tensão tanto no display do ESP 32 Lora quanto no monitor serial (Figura 16), em concordância com o medido no multímetro. Vale ressaltar que essa parte não necessita de montagem do circuito pois o ESP 32 tem entradas analógicas igual o Arduino, logo faz-se necessário apenas o uso do sensor de tensão (ZMPT 101B), sendo este ligado em uma fase e um neutro.

Figura 16 – Calibração do sensor de tensão



Fonte: Autoria própria

De acordo, com o circuito exemplificado na Figura 15, é possível realizar a medição da corrente, já que o Arduino, em sua forma padrão, lê apenas valores de tensão em seus pinos analógicos, variando de 0V a 5V. O sensor SCT-013, no entanto, produz uma corrente variável como saída, o que não é diretamente compatível com a capacidade de leitura do Arduino. Portanto, um circuito de interface foi projetado para converter a saída de corrente do sensor em uma tensão que pode ser lida pelo Arduino, a montagem do circuito auxiliar com o resistor de carga apropriado, a calibração do sensor e a adição do circuito são etapas essenciais para garantir medições precisas e confiáveis da corrente elétrica usando o sensor SCT-013.

4.2 Configuração do ESP-32

```
#include <Wire.h>
#include <heltec.h>
#include <EmonLib.h>
#include <WiFi.h>
```

```
#define VOLT_CAL 56.5 // Valor de Calibração para a tensão (ajuste conforme necessário)
```

```
EnergyMonitor emon1; // Cria uma instância do sensor de tensão
```

```
EnergyMonitor SCT013; // Cria uma instância do sensor de corrente
```

```

int pinSCT = 37; // Pino analógico conectado ao SCT-013
int tensao = 220; // Tensão de referência para calcular a potência
int potencia;

float TotalKWh = 0.0; // Variável para acumular a energia total em kWh
emon1.voltage(36, VOLT_CAL, 1.7); // Configuração do sensor de tensão
SCT013.current(pinSCT, 6.0606); // Configuração do sensor de corrente

void loop() {
    static unsigned long lastUpdateTime = 0;
    const unsigned long updateInterval = 1000; // Atualiza a cada 1 segundo

    if (millis() - lastUpdateTime >= updateInterval) {
        lastUpdateTime = millis();
        emon1.calcVI(17, 2000); // Cálculo da tensão
        emon1.calcVI(1480, 60.0); // Cálculo da tensão (1480 semiciclos, tempo limite de 60
ms)
        SCT013.calcVI(1480, 60.0); // Cálculo da corrente (1480 semiciclos, tempo limite de
60 ms)

        float supplyVoltage = emon1.Vrms; // Leitura da tensão
        double Irms = SCT013.Irms; // Leitura da corrente
        potencia = Irms * supplyVoltage; // Cálculo da potência

        // Cálculo da energia em kWh
        float potenciaKW = potencia / 1000.0; // Potência em kW
        float energiaKWh = potenciaKW * (updateInterval / 3600000.0); // Energia em kWh
        TotalKWh += energiaKWh; // Acumula a energia total
    }
}

```

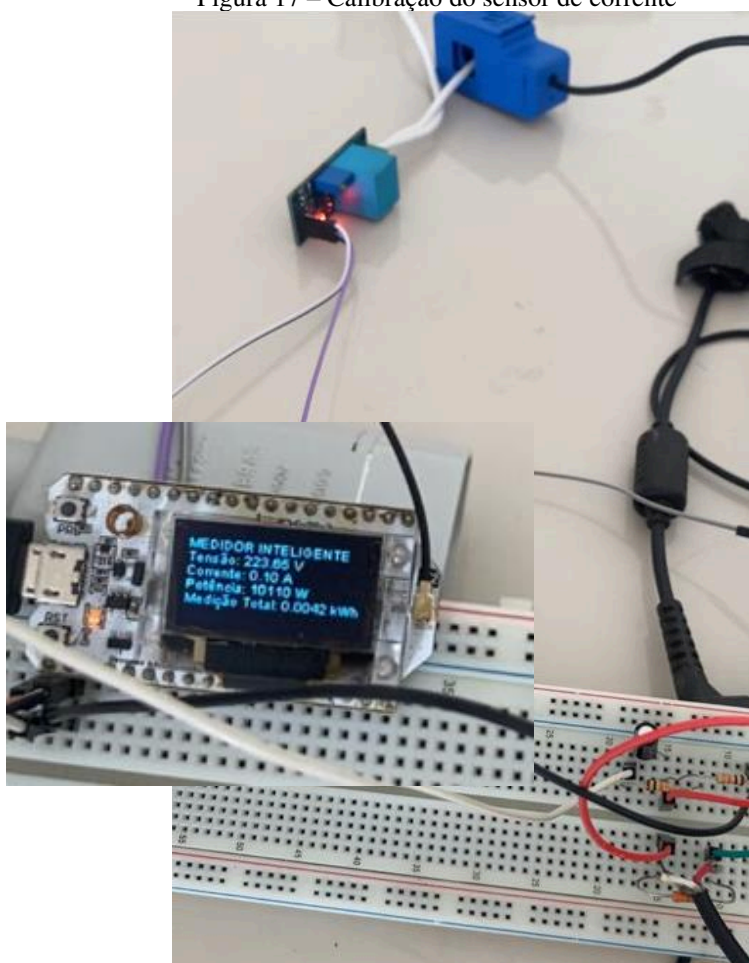
Vale ressaltar que além das definições das bibliotecas, também faz-se necessário definir constantes, variáveis e objetos necessários para o projeto. Isso inclui a calibração da tensão, a criação de instâncias dos sensores de tensão e corrente, a definição do pino de leitura do sensor de corrente, a tensão de referência e variáveis para armazenar medições de potência e energia.

A função *void loop* é a função principal do Arduino que é executada continuamente em um loop, nessa parte existe uma constante de atualização de cada 1 segundo. Dentro do bloco condicional, os valores de tensão, corrente, potência e energia são calculados com base nas leituras dos sensores, sendo realizado assim o cálculo de kwh. Além disso, é válido ressaltar que esses valores são então formatados como strings para exibição.

Os valores calculados são exibidos no Monitor Serial usando `Serial.println()`. Além disso, os valores são exibidos no display OLED do dispositivo Heltec WiFi Kit 32 usando o objeto `Heltec.display`. Isso permite que os valores sejam exibidos em uma tela OLED conectada ao dispositivo, sendo a função `delay()` usada para definir um intervalo antes da próxima atualização. Durante esse intervalo, o programa continuará a executar outras tarefas, e a atualização será executada novamente após o intervalo especificado.

Assim após algumas configurações feitas e implantadas, a seguir as medições de tensão, corrente e também de potência, o display Oled do Esp também imprime os valores de kwh em tempo real, ilustrada na Figura 17.

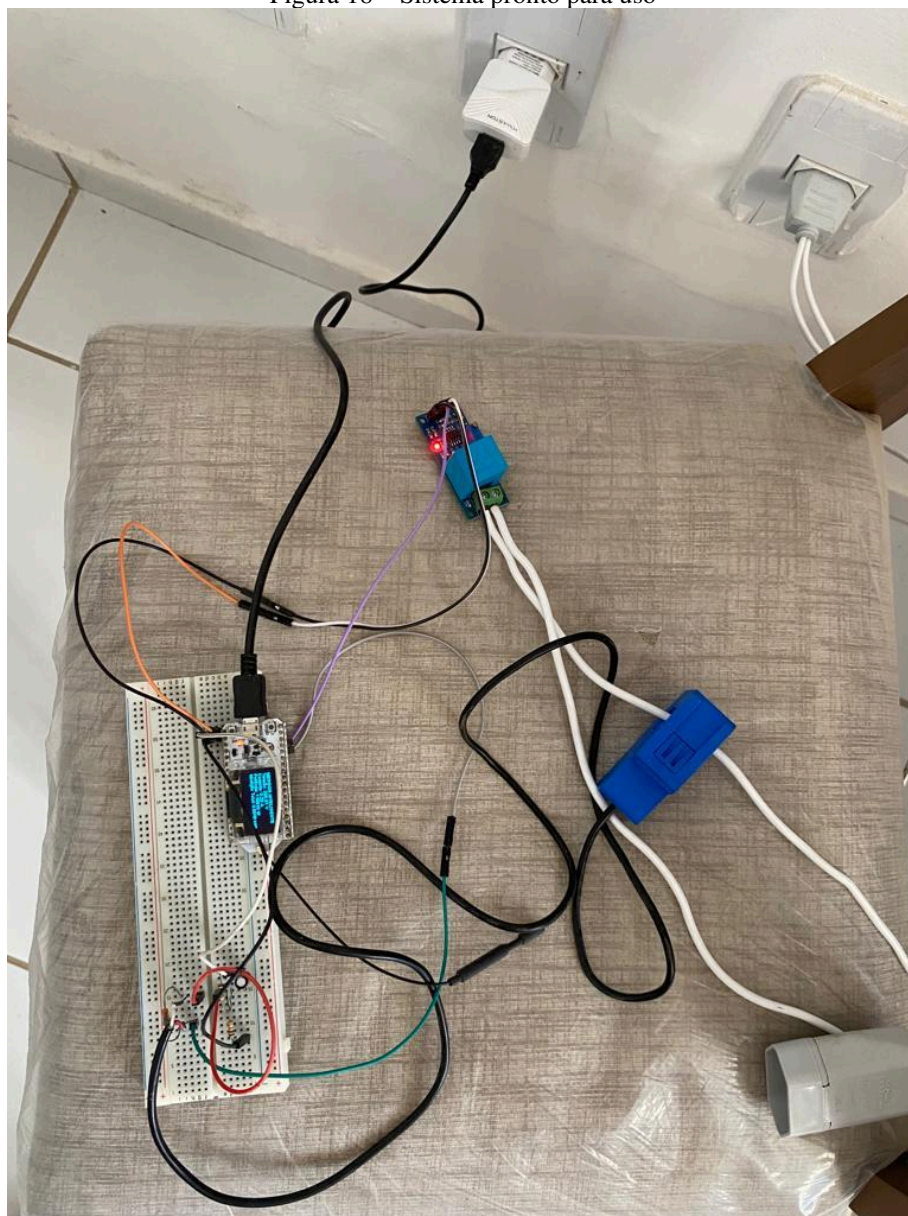
Figura 17 – Calibração do sensor de corrente



Fonte: Autoria própria

Como pode ser visto na Figura 18, temos o ESP-32 conectado a *protoboard* e alimentado por uma fonte além de todo circuito auxiliar. O qual como mencionado anteriormente, com o intuito de obter medições confiáveis dos sensores, o sistema está calibrado e pronto para uso.

Figura 18 – Sistema pronto para uso



Fonte: Autoria própria

Agora utilizando o Esp - 32 Lora com suas funções WiFi inicia um ponto de acesso WiFi usando o SSID (nome da rede) e a senha fornecidos nas variáveis SSID e *password*. Isso permite que outros dispositivos se conectem a este dispositivo como um ponto de acesso WiFi.

```
const char* ssid = "Medidor Inteligente"; // Nome da rede WiFi
```



```

const char* password = "87654321"; // Senha da rede WiFi
IPAddress ip(192, 168, 4, 1);
WiFiServer server(80);
  WiFi.softAP(ssid, password);
  IPAddress myIP = WiFi.softAPIP();
  Serial.print("AP IP address: ");
  Serial.println(myIP);

```

IPAddress myIP = WiFi.softAPIP();: Obtém o endereço IP atribuído ao ponto de acesso WiFi (192, 168, 4, 1) e o armazena na variável myIP.

Serial.print("AP IP address: ");: Exibe a mensagem "AP IP address: " no Monitor Serial.

Serial.println(myIP);: Exibe o endereço IP do ponto de acesso WiFi no Monitor Serial.

server.begin();: Inicializa um servidor no dispositivo. Este servidor será usado para fornecer acesso aos dados medidos por meio de uma interface da web ou outro protocolo de comunicação.

Conexão WiFi Cliente

```

WiFiClient client = server.available();
if (client) {
  if (client.connected()) {
    // Manipulador de rota para "/data"
    if (client.find("GET /data")) {
      String jsonData = "{\"tensao\": \"" + tensaoText + "\", \"corrente\": \"" + correnteText
+ "\", \"potencia\": \"" + potenciaText + "\", \"energia\": \"" + energiaText + "\"}";
      client.println("HTTP/1.1 200 OK");
      client.println("Content-Type: application/json");
      client.println("Connection: close");
      client.println();
      client.println(jsonData);
    } else {
      String content = "<html><head><meta charset=\"UTF-8\"></head><body
style=\"background: linear-gradient(to bottom, #333333, #666666); color: white; text-align:
center;\>";

```

```

content += "<h1>MEDIDOR INTELIGENTE</h1>";

// Medições em tempo real
content += "<p><b>Tensão:</b> <span id='\"tensao\"'>" + tensaoText +
"</span></p>";
content += "<p><b>Corrente:</b> <span id='\"corrente\"'>" + correnteText +
"</span></p>";
content += "<p><b>Potência:</b> <span id='\"potencia\"'>" + potenciaText +
"</span></p>";
content += "<p><b>Consumo:</b> <span id='\"energia\"'>" + energiaText +
"</span></p>";

// Calcula os consumos de 1 hora, 12 horas e 1 dia
float consumo1hr = TotalKWh; // Consumo de 1 hora (dados já coletados)
float consumo12hr = TotalKWh * 12; // Consumo de 12 horas
float consumo1dia = TotalKWh * 24; // Consumo de 1 dia
float consumo30dia = TotalKWh * 720; // Consumo de 1 dia

content += "<p><b>Consumo 1 Hora:</b> " + String(consumo1hr, 4) + "
kWh</p>";
content += "<p><b>Consumo 12 Horas:</b> " + String(consumo12hr, 4) + "
kWh</p>";
content += "<p><b>Consumo Diario :</b> " + String(consumo1dia, 4) + "
kWh</p>";
content += "<p><b>Consumo Mensal:</b> " + String(consumo30dia, 4) + "
kWh</p>";

//
content += "<script>";
content += "function atualizarDados() {";
content += "fetch('/data') .then(response => response.json()) .then(data => {";
content += "document.getElementById('tensao').textContent = data.tensao;";
content += "document.getElementById('corrente').textContent = data.corrente;";
content += "document.getElementById('potencia').textContent = data.potencia;";

```

```

        content += "document.getElementById('energia').textContent = data.energia;";
        content += "}); setTimeout(atualizarDados, " + String(updateInterval) + ");}";

        content += "atualizarDados();</script></body></html>";

        client.println("HTTP/1.1 200 OK");
        client.println("Content-Type: text/html; charset=UTF-8");
        client.println("Connection: close");
        client.println();
        client.println(content);
    }

    client.stop();
}
}
}

```

Este código basicamente cria um servidor HTTP onde ele verifica se há um cliente conectado que pode responder a duas rotas diferentes: `"/data"` para fornecer os dados medidos em formato JSON e `"/"` para fornecer uma página HTML que exibe as medições em tempo real e os consumos estimados. Isso permite que os usuários acessem os dados do medidor inteligente por meio de um navegador da web ou outra aplicação que faça solicitações HTTP ao dispositivo.

Quando o cliente está solicitando a página HTML principal, que exibe as medições em tempo real e o consumo estimado é gerada uma string chamada `content` que contém o código HTML da página.

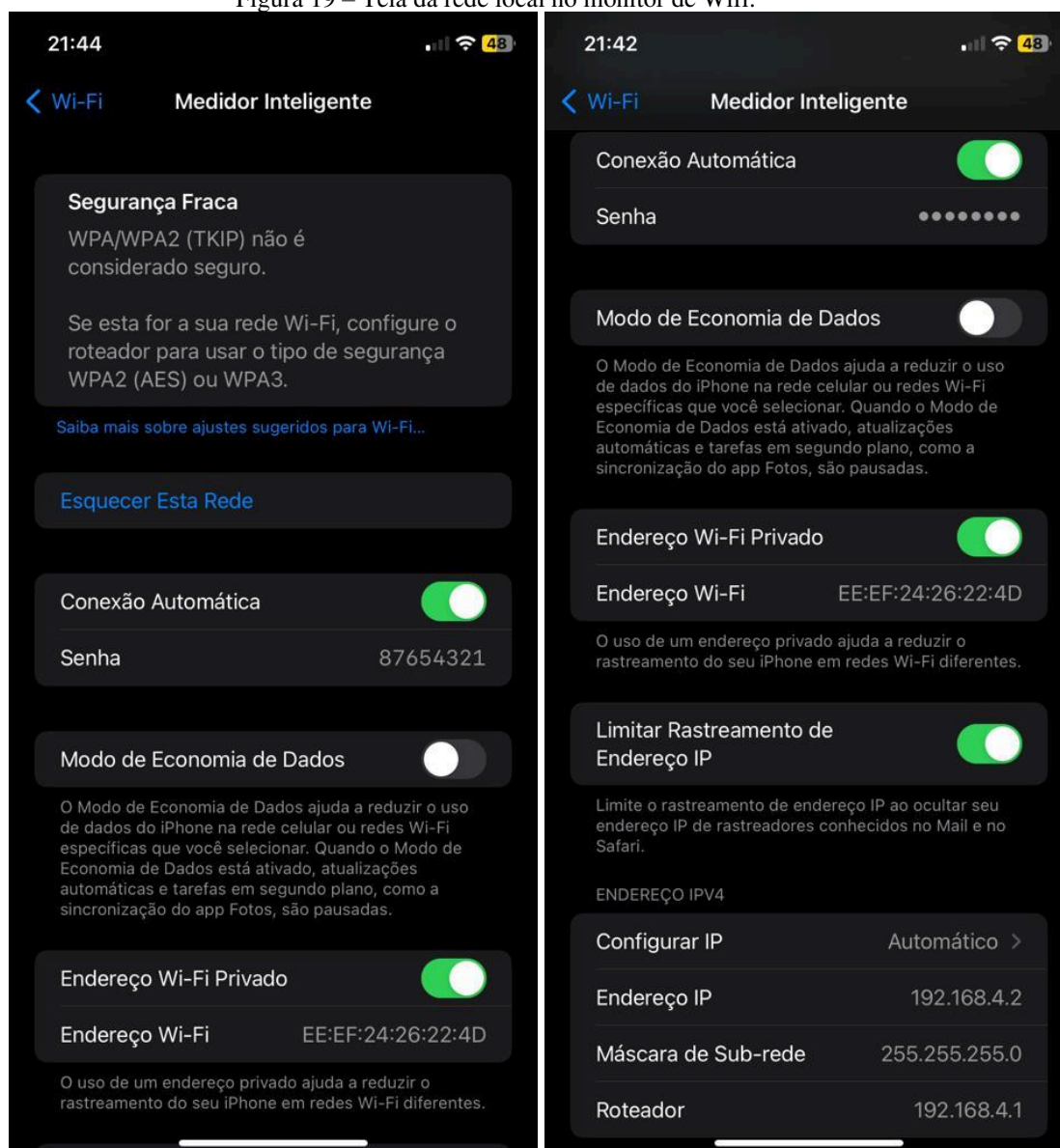
As variáveis `tensaoText`, `correnteText`, `potenciaText` e `energiaText` são incorporadas ao HTML para exibir as medições em tempo real, são calculados e exibidos os consumos estimados de 1 hora, 12 horas, 1 dia e 30 dias com base na variável `TotalKWh`.

O código JavaScript no final da página (`<script>...</script>`) atualiza dinamicamente os valores exibidos na página em um intervalo de tempo de um segundo.

Em seguida, a resposta HTTP é construída da mesma maneira que na rota `"/data"`, indicando que a solicitação foi bem-sucedida, o tipo de conteúdo como HTML e encerrando a conexão após o envio da resposta.

Na Figura 19 é possível visualizar a rede Wi-Fi que o ESP- 32 gerou para que o cliente possa se conectar e acompanhar a leitura de dados em tempo real, após a conexão só abrir o navegador e colocar o endereço ip que foi definido no código.

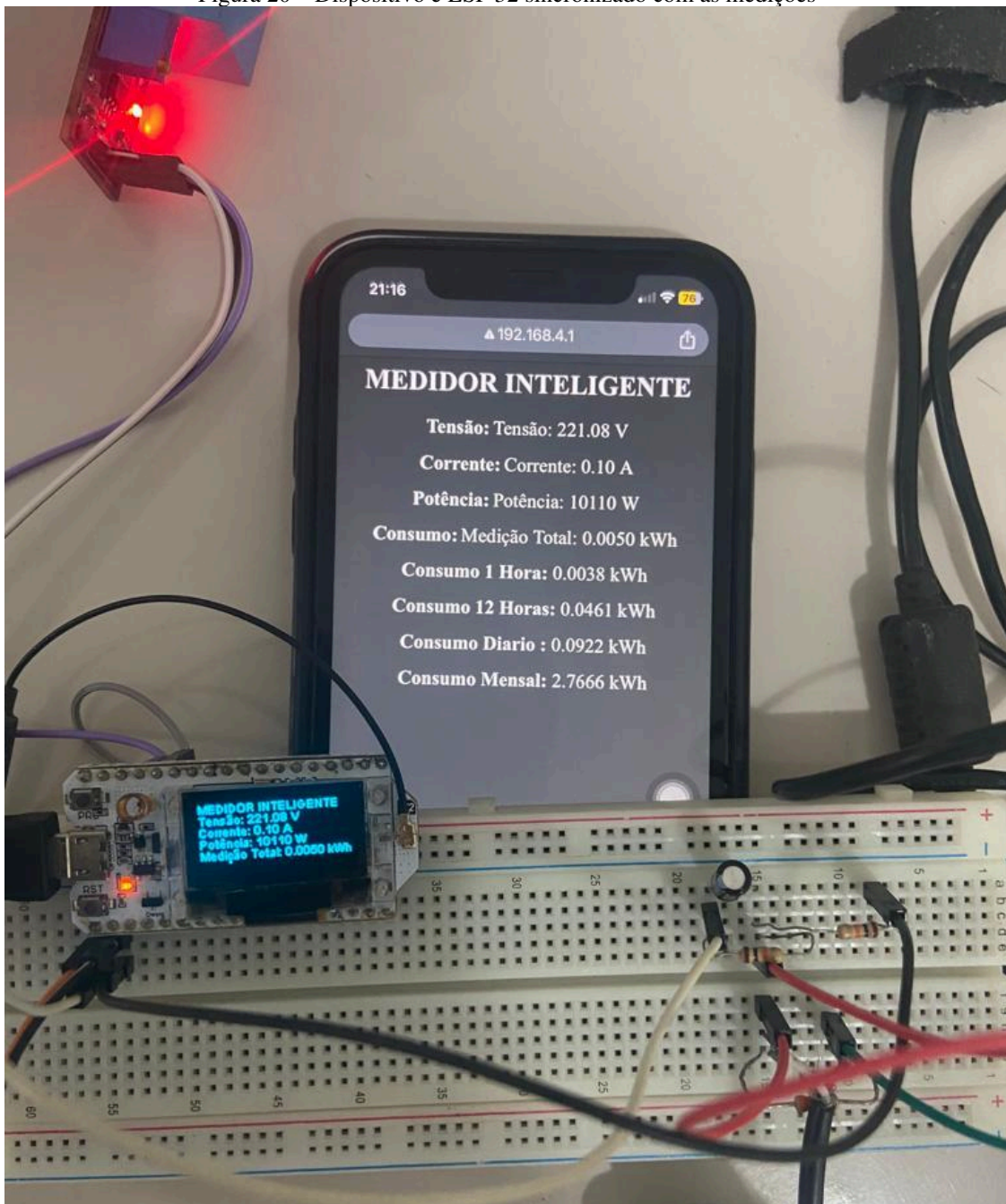
Figura 19 – Tela da rede local no monitor de Wifi.



Fonte: Autoria própria

Com o ESP - 32 já montado na *protoboard* (Figura 20), pode se observar o display Oled, mostrando as medições dos parâmetros de tensão, corrente, potência e o mais importante, as medições de kilowatts-hora, na página Web após a conexão. Além dos parâmetros de medição, torna-se possível mostrar os valores estimados de consumo de 1 hora (kwh), 12 horas 1 dia e consumo mensal (30 dias), o que possibilitou a análise dos resultados obtidos neste trabalho.

Figura 20 – Dispositivo e ESP 32 sincronizado com as medições



Fonte: Autoria própria

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Resultado dos testes

A Figura 21 mostra os resultados obtidos na simulação teste, o qual realizou medições em alguns aparelhos em funcionamento disponíveis, em que logo após a coleta dos dados fez-se uma análise do consumo para obtenção do consumo real dos aparelhos, sendo estes dados de acordo com os apresentados pelo medidor inteligente. Ainda na Figura 21 podemos observar o endereço utilizado para ter acesso aos dados que o medidor forneceu nesta simulação teste. Com esse endereço de IP do ESP-32, iremos abrir o navegador. Ao acessar o IP já teremos as medições de tensão, corrente, potência e o consumo em kwh, além dos consumos diário e mensal.

Figura 21 – Dados no navegador versão teste

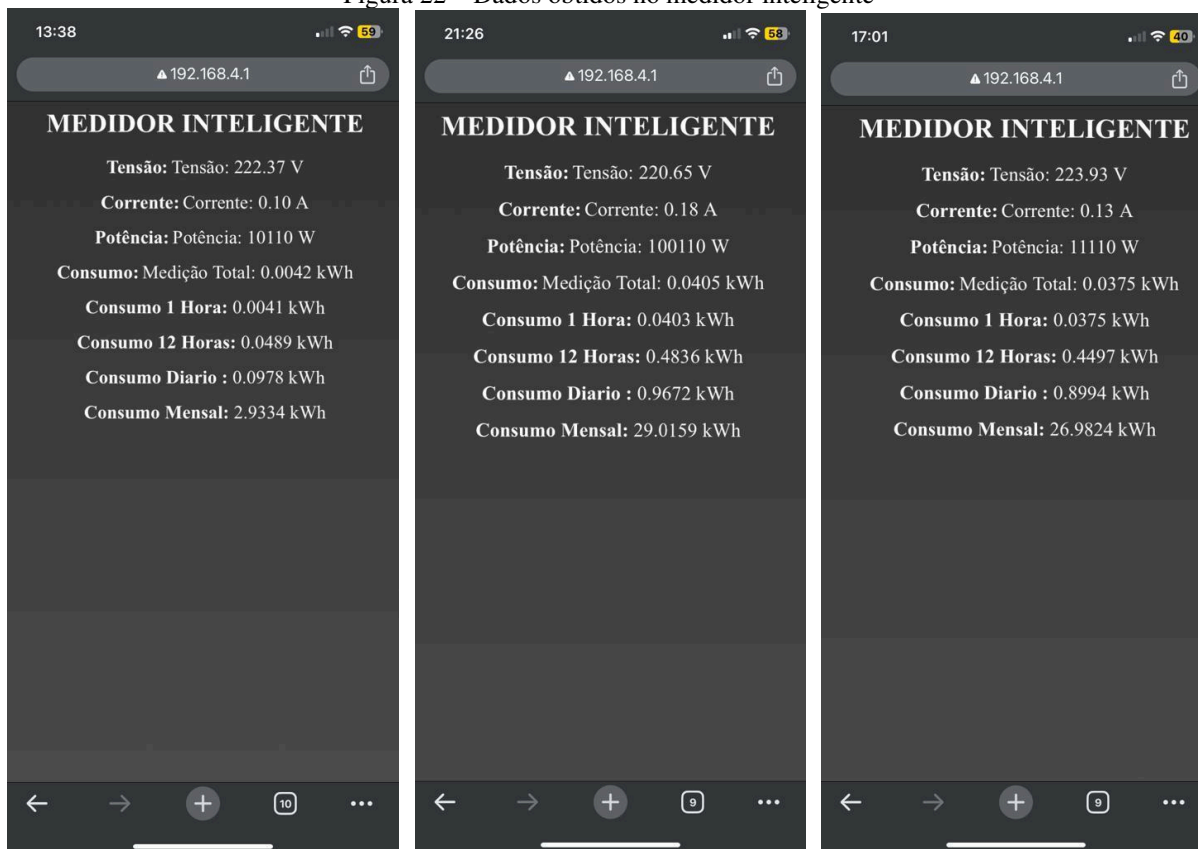


Fonte: Autoria própria

5.2 Análise dos dados obtidos

A Figura 22, mostra as medições realizadas tanto no sistema (medidor inteligente) e quanto em dois aparelhos que foram conectados ao medidor para os testes o primeiro é uma TV e o segundo um ventilador, de acordo com os consumo de kwh obtidos, estes estão dentro do esperado, assim como o consumo mensal (ligada 24 horas por dia). Vale ressaltar que o consumo pode variar dependendo das horas de uso dos aparelhos.

Figura 22 – Dados obtidos no medidor inteligente



Fonte: Autoria própria

O nosso objetivo do seguinte sistema foi concluído, o qual foram realizadas as medições de grandezas elétricas a fim de simular um medidor inteligente que mede em tempo real o consumo em kwh, para acompanhar os dados da rede elétrica de um consumidor em tempo real e também remotamente.

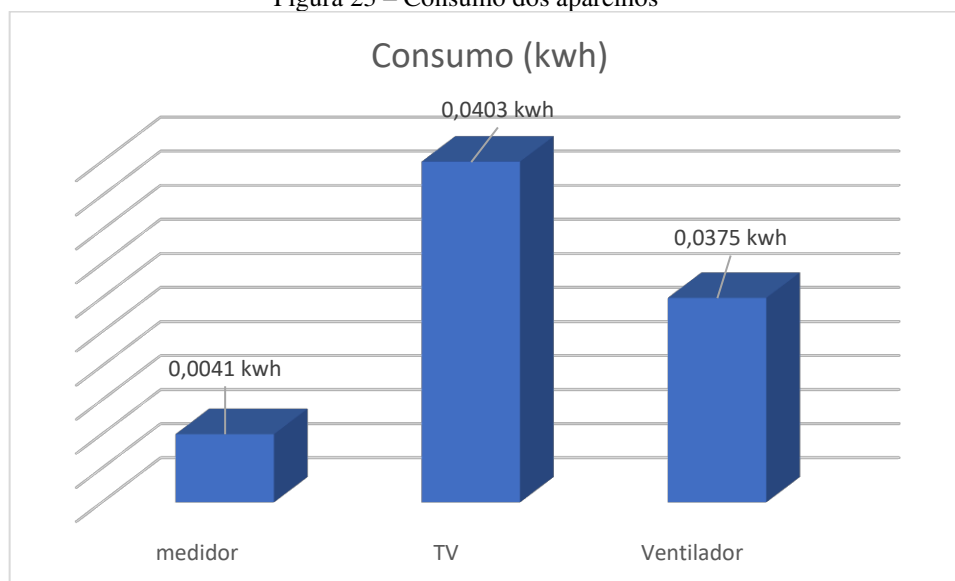
A partir dos dados apresentados tanto na Tabela 2 quanto na Figura 23, pode-se concluir que o consumo de cada um dos aparelhos foi bem variado mas assertivo, estando dentro de todos os padrões de medições.

Tabela 2 - Consumo obtido a partir dos dados do medidor no navegador.

Medições	Tensão (V)	Corrente (A)	Consumo (kwh)
Medidor	222, 37 V	0,10 A	0,0041 kwh
TV	220, 65 V	0,18 A	0,0403 kwh
Ventilador	223,93 V	0,13 A	0,0375 kwh

Fonte: Autoria própria

Figura 23 – Consumo dos aparelhos



Fonte: Autoria própria

Quanto realizada a comparação entre o consumo dos equipamentos medidos neste sistema, pode-se notar que somente o medidor tem o consumo mínimo quando comparados demais, portanto, caso este aparelho tenha a necessidade de funcionamento constante durante todo o mês, o seu consumo mensal seria de aproximadamente 3 kwh.

Já para o ventilador obteve-se um consumo um pouco maior, cerca de 0,0375 kwh. No caso de uso contínuo durante todas as horas e os dias do mês, este teria um consumo mensal de quase 27 kwh, no entanto para um uso de apenas 8 horas por dia durante 30 dias, o valor do mudaria, obtendo um consumo de aproximadamente 9 kwh, sendo este consumo extremamente aceitável e dentro dos parâmetros de comparação.

Por fim, a TV teve um consumo medido de 0,0403 kwh, para seu uso contínuo mensal, obteria um consumo de quase 30 kwh, porém caso seu funcionamento fosse somente 8 horas diárias durante os 30 dias consumiria aproximadamente 10 kwh, sendo este valor de consumo também aceitável.

5.3 Trabalhos Futuros

Na sequência do presente trabalho foram observados aspectos interessantes que despertam viabilidade para pesquisas futuras sendo algumas delas:

- Realizar a incorporação de um alerta no navegador ou na rede com a utilização de um IP público, assim o cliente ou a concessionária poderiam ser avisados caso ocorresse algum problema com a rede elétrica, possibilitando resolver o mais rápido possível.

- Para um sistema mais complexo com atuadores e outros dispositivos, poderia ser feita a ligação ou desligamento do abastecimento de energia elétrica, ou até mesmo ver a qualidade da energia por aparelhos de medições que consigam se conectar com a rede IoT, evitando assim problemas maiores quando houvesse uma medição fora do padrão. O monitoramento da qualidade da energia é algo bastante útil, por exemplo, na indústria e em residências, para garantir que os dispositivos elétricos funcionem adequadamente e para evitar danos.

Vale ressaltar que estas aplicações podem contribuir significativamente para melhorar a confiabilidade e a eficiência do fornecimento de energia elétrica, além de facilitar a detecção e a resolução rápida de problemas na rede elétrica.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados apresentados neste trabalho, percebe-se que a tecnologia IoT é uma ótima alternativa para sistemas autônomos ou semiautônomos de baixo custo implementados nas mais diversas residências. Nesse sentido, é viável desenvolver um protótipo de medidor inteligente, com os dispositivos ESP-32 e os sensores de fluxo de energia elétrica utilizados neste trabalho, devido à performance apresentada, à fácil implementação e à versatilidade para comunicação e o monitoramento dos dados.

O protótipo elaborado está apto para trabalhar em conjunto com uma rede, servidor e banco de dados ou até em conjunto com mais dispositivos inteligentes, a fim de alcançar uma variedade de aplicações e usos. Para o desenvolvimento de trabalhos futuros, seria interessante ter um servidor onde os dados obtidos são armazenados e podem ser acessados de qualquer lugar com acesso à internet. Isso permitiria que o projeto tenha mais funcionalidades, como acionamento e desligamento do fornecimento de energia elétrica. Além disso, poderia ser integrado com aplicativos móveis para monitoramento e controle remoto.

REFERÊNCIAS

- AHSAN, M.; BASED, M.; HAIDER, J.; RODRIGUES, E. M. et al. Smart monitoring and controlling of appliances using lora based iot system. Designs, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 5, n. 1, p. 17, 2021.
- ALBERTIN, Alberto Luiz; DE MOURA ALBERTIN, Rosa Maria. A internet das coisas irá muito além as coisas. GV EXECUTIVO, v. 16, n. 2, p. 12-17, 2017.
- ANALYTICS, I. IOT ANALYTICS, MARKET INSIGHTS FOR THE INTERNET OF THINGS. 2021. <https://iot-analytics.com/>. Acesso em: 07 outubro 2021.
- Autonomic IoT Battery Management with Fog Computing. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 11484 LNCS(Cc):89–103.
- ESPRESSIF, “Datasheet Esp32-wroom-32”, https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-_datasheet_en.pdf, 2021, acessado em 31/10/2021.
- Como o sistema de IoT pode ajudar na redução do desperdício de água?. EGESoluções 2020. Disponível em: <<https://www.egesolucoes.com.br>>. Acesso em 12 de março de 2022.
- Farhangi, H. (2010). The path of the smart grid. IEEE Power and Energy Magazine, 8(1), 18-28.
- Faruqui, A., Harris, D., Hledik, R., & Newell, S. (2010). Unlocking the €53 billion savings from smart meters in the EU: How increasing the adoption of dynamic tariffs could make or break the EU's smart grid investment. Energy Policy, 38(10), 6222-6231.
- Globo – G1. Fantástico: Testes avaliam aparelho que promete bloquear ar e baixar conta de água. Disponível em <<https://goo.gl/fXmZWQ>>.
- Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., & Hancke, G. P. (2011). Smart grid technologies: Communication technologies and standards. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 7(4), 529-539.
- HELTEC. WiFi LoRa 32 (V2). 2021. <https://heltec.org/project/wifi-lora-32/?lang=en>. Acesso em: 07 outubro 2021.
- IBRAHIM, D., The Complete ESP32 Projects Guide. Elektor International Media BV, 2019.
- Iorga, M., Feldman, L., Barton, R., Martin, M. J., Goren, N., and Mahmoudi, C. (2018). Fog computing conceptual model. NIST Special Publication, (500-325):11.
- INTERNET das coisas. Oracle, 2022. Disponível em: <<https://www.oracle.com/br/internet-of-things/what-is-iot/>>. Acesso em: 26 de março de 2022.

Internet de las cosas - Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo, Dave Evans, Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), abril de 2011 (p. 2)

Kevin Ashton: «That 'Internet of Things' Thing.». RFID Journal, 22 de julho de 2009

KOLBAN, N., Kolban's Book on ESP32. Elektor International Media BV, 2018.

LEE, H.-C.; KE, K.-H. Monitoring of large-area iot sensors using a lora wireless mesh network system: Design and evaluation. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, IEEE, v. 67, n. 9, p. 2177–2187, 2018.

LIMA, Thiago P.; FIDALGO, Robson N. Uma Plataforma IoT para Desenvolvimento de Sistemas de Comunicação Aumentativa e Alternativa, 2021.

LLORET, Jaime et al. Uma arquitetura IoT integrada para medição inteligente. Revista de Comunicações IEEE, v. 54, n. 12, pág. 50-57, 2016.

Magrassi, P.; A. Panarella, N. Deighton, G. Johnson, “Computers to Acquire Control of the Physical World”, Gartner research report T-14-0301, 28 September, 2001.

Mazidi, M. A., McKinlay, R. D., & Causey, D. M. (2008). Microcontroladores: Teoria e Aplicações. Pearson.

Neto, J. S. L. (2018). Indústria 4.0: Conceitos e Contribuições para o Brasil. Brasília, DF: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Nunes, G., de Paula, G. F., & Sodré, J. R. (2019). Uma Abordagem para a Modelagem de Sistemas de Automação Residencial baseada em Agentes e Plataforma IoT. Em Anais do XXVII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI) (pp. 1-6).

Oral History Panel on the Development and Promotion of the Intel 8048 Microcontroller» (PDF). Computer History Museum Oral History, 2008. p. 4. Consultado em 28 de junho de 2011. Arquivado do original (PDF) em 19 de junho de 2012

Sampaio, H. V., de Jesus, A. L. C., do Nascimento Boing, R., and Westphall, C. B. (2019).

SANTOS, B. P., SILVA, L. A. M., CELES, C. S. F. S., et al., Internet das Coisas: da Teoria à Prática. Sociedade Brasileira de Computação, 2016.

Santos Junior, E. S. (2019). Sistemas Embarcados: Conceitos e Aplicações. Novatec Editora.

SCHULTZ, Felix. O que é Internet das Coisas (IoT) e como funciona?. Milvus, 2020. Disponível em : < <https://blog.milvus.com.br/internet-das-coisas-iot/>>. Acesso em: 09 março 2022.

Siano, P. (2014). Demand response and smart grids—A survey. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 30, 461-478.

Torres, G. (2014). Redes de Computadores e a Internet: Uma Abordagem Top-Down. Editora Pearson.

9 aplicações mais importantes da internet das coisas iot. Fractal, 2020. Disponível em: <<https://www.fractal.com/pt/blog/as-9-aplicações-mais-importantes-da-internet-das-coisas-iot>>. Acesso em 28 de março de 2022.

ANEXO 1 – Código completo implementado

```
#include <Wire.h>
#include <heltec.h>
#include <EmonLib.h>
#include <WiFi.h>

#define VOLT_CAL 56.5 // Valor de Calibração para a tensão (ajuste conforme necessário)
EnergyMonitor emon1; // Cria uma instância do sensor de tensão
EnergyMonitor SCT013; // Cria uma instância do sensor de corrente

int pinSCT = 37; // Pino analógico conectado ao SCT-013
int tensao = 220; // Tensão de referência para calcular a potência
int potencia;

float TotalKWh = 0.0; // Variável para acumular a energia total em kWh

String tensaoText = "";
String correnteText = "";
String potenciaText = "";
String energiaText = "";

const char* ssid = "Medidor Inteligente"; // Nome da rede WiFi
const char* password = "87654321"; // Senha da rede WiFi
IPAddress ip(192, 168, 4, 1);
WiFiServer server(80);

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Heltec.begin(true, false);

  emon1.voltage(36, VOLT_CAL, 1.7); // Configuração do sensor de tensão
  SCT013.current(pinSCT, 6.0606); // Configuração do sensor de corrente
```

```

// Inicia o ponto de acesso WiFi
WiFi.softAP(ssid, password);
IPAddress myIP = WiFi.softAPIP();
Serial.print("AP IP address: ");
Serial.println(myIP);

server.begin();
}

void loop() {
    static unsigned long lastUpdateTime = 0;
    const unsigned long updateInterval = 1000; // Atualiza a cada 1 segundo

    if (millis() - lastUpdateTime >= updateInterval) {
        lastUpdateTime = millis();

        emon1.calcVI(17, 2000); // Cálculo da tensão
        emon1.calcVI(1480, 60.0); // Cálculo da tensão (1480 semiciclos, tempo limite de 60 ms)
        SCT013.calcVI(1480, 60.0); // Cálculo da corrente (1480 semiciclos, tempo limite de 60 ms)

        float supplyVoltage = emon1.Vrms; // Leitura da tensão
        double Irms = SCT013.Irms; // Leitura da corrente
        potencia = Irms * supplyVoltage; // Cálculo da potência

        // Cálculo da energia em kWh
        float potenciaKW = potencia / 1000.0; // Potência em kW
        float energiaKWh = potenciaKW * (updateInterval / 3600000.0); // Energia em kWh
        TotalKWh += energiaKWh; // Acumula a energia total

        // Construir as strings para exibição
        tensaoText = "Tensão: " + String(supplyVoltage, 2) + " V";
        correnteText = "Corrente: " + String(Irms, 2) + " A";
        potenciaText = "Potência: " + String(potencia, 2) + " W";
        energiaText = "Medição Total: " + String(TotalKWh, 4) + " kWh";
    }
}

```

```

// Exibir no monitor serial
Serial.println(tensaoText);
Serial.println(correnteText);
Serial.println(potenciaText);
Serial.println(energiaText);

Heltec.display->clear();
Heltec.display->setTextAlignment(TEXT_ALIGN_LEFT);
Heltec.display->setFont(ArialMT_Plain_10);

// Exibir as medições no display OLED
Heltec.display->drawString(0, 0, "MEDIDOR INTELIGENTE");
Heltec.display->drawString(0, 10, tensaoText);
Heltec.display->drawString(0, 20, correnteText);
Heltec.display->drawString(0, 30, potenciaText);
Heltec.display->drawString(0, 40, energiaText);

Heltec.display->display();
}

// Lida com as conexões de clientes
WiFiClient client = server.available();
if (client) {
  if (client.connected()) {
    // Manipulador de rota para "/data"
    if (client.find("GET /data")) {
      String jsonData = "{\"tensao\":\"" + tensaoText + "\",\"corrente\":\"" + correnteText +
        "\",\"potencia\":\"" + potenciaText + "\",\"energia\":\"" + energiaText + "\"}";
      client.println("HTTP/1.1 200 OK");
      client.println("Content-Type: application/json");
      client.println("Connection: close");
      client.println();
      client.println(jsonData);
    }
  }
}

```

```

    } else {
        String content = "<html><head><meta charset=\"UTF-8\"></head><body
style=\"background: linear-gradient(to bottom, #333333, #666666); color: white; text-align:
center;\">";

        content += "<h1>MEDIDOR INTELIGENTE</h1>";

        // Medições em tempo real
        content += "<p><b>Tensão:</b> <span id=\"tensao\">" + tensaoText + "</span></p>";
        content += "<p><b>Corrente:</b> <span id=\"corrente\">" + correnteText +
"</span></p>";
        content += "<p><b>Potência:</b> <span id=\"potencia\">" + potenciaText +
"</span></p>";
        content += "<p><b>Consumo:</b> <span id=\"energia\">" + energiaText +
"</span></p>";

        // Calcula os consumos de 1 hora, 12 horas e 1 dia
        float consumo1hr = TotalKWh; // Consumo de 1 hora (dados já coletados)
        float consumo12hr = TotalKWh * 12; // Consumo de 12 horas
        float consumo1dia = TotalKWh * 24; // Consumo de 1 dia
        float consumo30dia = TotalKWh * 720; // Consumo de 30 dias

        content += "<p><b>Consumo 1 Hora:</b> " + String(consumo1hr, 4) + " kWh</p>";
        content += "<p><b>Consumo 12 Horas:</b> " + String(consumo12hr, 4) + " kWh</p>";
        content += "<p><b>Consumo Diario :</b> " + String(consumo1dia, 4) + " kWh</p>";
        content += "<p><b>Consumo Mensal:</b> " + String(consumo30dia, 4) + " kWh</p>";

        //
        content += "<script>";
        content += "function atualizarDados() {";
        content += "fetch('/data') .then(response => response.json()) .then(data => {";
        content += "document.getElementById('tensao').textContent = data.tensao;";
        content += "document.getElementById('corrente').textContent = data.corrente;";
        content += "document.getElementById('potencia').textContent = data.potencia;";
    }

```



```
content += "document.getElementById('energia').textContent = data.energia;";  
content += "}); setTimeout(atualizarDados, " + String(updateInterval) + ");}";
```

```
content += "atualizarDados();</script></body></html>";
```

```
client.println("HTTP/1.1 200 OK");  
client.println("Content-Type: text/html; charset=UTF-8");  
client.println("Connection: close");  
client.println();  
client.println(content);  
}
```

```
client.stop();  
}  
}  
}
```