



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE SOBRAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

JOAN KENNEDY CAETANO PARENTE

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA
RESIDENCIAL

SOBRAL - CE

2024

JOAN KENNEDY CAETANO PARENTE

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA
RESIDENCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica
do Campus de Sobral da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Márcio André Baima
Amora.

SOBRAL - CE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- P252s Parente, Joan Kennedy Caetano.
 Sistema de Monitoramento de Consumo de Energia Elétrica Residencial / Joan Kennedy Caetano
 Parente. – 2024.
 76 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Sobral,
 Curso de Administração em Gestão Pública, Sobral, 2024.
 Orientação: Prof. Dr. Marcio Andre Baima Amora.
1. Medidor inteligente. 2. monitoramento de energia. 3. eficiência energética. 4. Internet das Coisas
 (IoT). 5. plataforma web. I. Título.

CDD 658

JOAN KENNEDY CAETANO PARENTE

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA
RESIDENCIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica
do Campus de Sobral da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em: 27/09/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Márcio André Baima Amora (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcelo Marques Simões de Souza
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Mestre Danillo Fernandes do Nascimento
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho, principalmente, à minha família, que me viu passar por todos os desafios que enfrentei durante a graduação e me apoiou em todos os momentos em que pensei em desistir, mas também aos meus amigos que me acompanharam nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que me apoiaram ao longo desta jornada acadêmica.

Primeiramente, agradeço aos meus amigos da faculdade, que tornaram essa experiência inesquecível. Agradeço especialmente a Eli Marques, Jardel Azevedo, Edênio Galvão, Carlos Daniel, Emerson Nunes, Gabriel Lima, Janice Pinheiro, Jorge Silvestre, Gilmar Freitas, Adriano Tavares por estarem sempre ao meu lado, compartilhando momentos de alegria e desafios. Assim como também aos meus amigos membros do grupo de estudos, Bryan Nicholas, Joaquim Moura, Marcelo Estevão e o Professor Márcio Amora.

À minha família, meu alicerce e fonte de inspiração, sou eternamente grato. Agradeço à minha mãe, Andreia Caetano, aos meus avós, Dalva e Antônio, ao meu padrasto, Claudio Ramos, e ao meu padrinho, Luis Carlos, por seu amor incondicional e apoio constante. Agradeço também ao meu irmão, Gabriel Gomes, por acreditar em mim e me incentivar a seguir em frente.

Agradeço também à minha namorada, Sheila Ferreira, por seu amor, paciência e compreensão durante todo este período. Seu apoio foi fundamental para que eu pudesse concluir este trabalho.

Por fim, agradeço aos meus amigos e colegas de trabalho da Tellar Soluções, que compreenderam minhas ausências e me apoiaram durante todo o processo.

A todos vocês, meu sincero obrigado. Este trabalho é fruto do esforço conjunto e do apoio inestimável de cada um de vocês.

"Não se pode aprender nada de uma lição que não seja acompanhada por dor, já que não se pode conseguir nada sem um sacrifício. Mas quando você aguenta essa dor e a supera, as pessoas conseguem um coração forte que não perde para nada. Sim, um coração de aço."
(Hiromu Arakawa)

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso tem como tema o desenvolvimento de um protótipo de medidor inteligente residencial. O projeto deste dispositivo foi idealizado como resposta ao aumento constante das tarifas de energia elétrica, que tem incentivado a busca por formas mais eficientes de controle do gasto energético. O medidor inteligente permite que os usuários acompanhem o consumo de energia em tempo real por meio de uma plataforma web interativa, proporcionando uma gestão mais consciente e eficiente dos recursos energéticos. O sistema foi programado para medir grandezas elétricas como corrente, tensão e consumo instantâneo, transmitindo esses dados para uma base de dados na nuvem e apresentando-os de forma acessível ao usuário via plataforma web. Além de detalhar o processo de desenvolvimento do dispositivo, o trabalho discute os testes de calibração e desempenho realizados, comparando os resultados obtidos com outros medidores disponíveis no mercado. O protótipo demonstrou precisão nas medições e um custo consideravelmente mais baixo em relação a alternativas comerciais, sendo viável para implementação em residências como uma ferramenta de eficiência energética. A relevância do projeto está alinhada com a crescente demanda por soluções sustentáveis e tecnologias que favoreçam a automação residencial e o uso racional de recursos energéticos.

Palavras-chave: Medidor inteligente; monitoramento de energia; eficiência energética; Internet das Coisas (IoT); plataforma web.

ABSTRACT

This thesis focuses on the development of a prototype for a residential smart meter. The project for this device was conceived in response to the constant increase in electricity tariffs, which has encouraged the search for more efficient ways to control energy consumption. The smart meter allows users to monitor energy consumption in real-time through an interactive web platform, providing more conscious and efficient management of energy resources. The system was programmed to measure electrical quantities such as current, voltage, and instantaneous consumption, transmitting this data to a cloud database and presenting it in an accessible manner to the user via the web platform. In addition to detailing the device development process, the thesis discusses the calibration and performance tests conducted, comparing the results obtained with other meters available on the market. The prototype demonstrated accuracy in measurements and a considerably lower cost compared to commercial alternatives, making it viable for implementation in homes as an energy efficiency tool. The relevance of the project aligns with the growing demand for sustainable solutions and technologies that promote home automation and the rational use of energy resources.

Keywords: Smart meter; energy monitoring; energy efficiency; Internet of Things (IoT); web platform.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Medidor de energia eletromecânico	18
Figura 2 – Medidor inteligente de energia	19
Figura 3 – Arduino Mega 2560	23
Figura 4 – WeMos D1	24
Figura 5 – Sensor ZMPT101B	25
Figura 6 – Sensor SCT-013-020	25
Figura 7 – IDE Arduino	27
Figura 8 – Conexão dos componentes	30
Figura 9 – Organização do software do equipamento	30
Figura 10 – Teste da plataforma gráfica	35
Figura 11 – Fileira de lâmpadas	36
Figura 12 – Medição com baixa corrente	37
Figura 13 – Medição com alta corrente	37
Figura 14 – Leitura realizada em um dia	40
Figura 15 – Montagem interna do medidor	41
Figura 16 – Protótipo devidamente montado	41
Figura 17 – Protótipo em funcionamento	44
Figura 18 – Leitura realizada de todo o período	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo das grandezas registradas	38
Tabela 2 – Levantamento dos valores dos componentes	42
Tabela 3 – Levantamento dos valores dos medidores disponíveis no mercado	43
Tabela 4 – Comparativo dos valores registrados	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/D	Analógico Digital
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AWS	<i>Amazon Web Services</i>
CI	Circuito Integrado
EC2	<i>Elastic Compute Cloud</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
MI	Medidores Inteligentes
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
QD	Quadro de Distribuição
RMS	<i>Root Mean Square</i>
RTC	<i>Real Time Clock</i>
TC	Transformador de Corrente
TE	Tarifa de Energia
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

LISTA DE SÍMBOLOS

I_{rms}	Corrente elétrica Eficaz (Arms)
V_{rms}	Tensão elétrica eficaz (Vrms)
$E(t)$	Energia elétrica (kWh)
CA	Corrente Alternada (A)
C_{inst}	Consumo Instantâneo (Ws)
C_{med}	Consumo Instantâneo Médio (Ws)
C_{tot}	Consumo Total Acumulado (kWh)
C_{ant}	Consumo Total Acumulado Anterior (kWh)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Motivação	14
1.2	Objetivos	15
1.2.1	<i>Objetivos específicos</i>	15
1.3	Trabalhos apresentados em eventos	16
1.4	Estrutura do trabalho	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1	Medidores inteligentes	17
2.2	Estado da arte	19
3	COMPONENTES DO EQUIPAMENTO	22
3.1	Hardware	22
3.1.1	<i>Arduino Mega 2560</i>	22
3.1.2	<i>WeMos D1</i>	23
3.1.3	<i>Sensor ZMPT101B</i>	24
3.1.4	<i>Sensor SCT-013-020</i>	25
3.2	Software	26
3.2.1	<i>IDE Arduino</i>	26
3.2.2	<i>Streamlit</i>	27
3.2.3	<i>Supabase</i>	27
3.2.4	<i>AWS</i>	28
4	DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	29
4.1	Desenvolvimento do hardware do equipamento	29
4.2	Desenvolvimento do software do equipamento	30
4.2.1	<i>Programação no Arduino Mega 2560</i>	31
4.2.2	<i>Programação no WeMos D1</i>	33
4.2.3	<i>Programação no Streamlit</i>	33
4.3	Calibragem e testes	36
5	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E COMPARATIVO	39
5.1	Plataforma gráfica	39
5.2	Versão final do equipamento	40

5.3	Comparativo com as alternativas presentes no mercado	42
5.4	Equipamento instalado	43
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	46
6.1	Sugestões de trabalhos futuros	46
	REFERÊNCIAS	48
	APÊNDICE A –CÓDIGO DA PLATAFORMA GRÁFICA	51
	APÊNDICE B –CÓDIGO PARA A COMUNICAÇÃO COM O BANCO DE DADOS	57
	APÊNDICE C –CÓDIGO PARA MEDIÇÃO DE GRANDEZAS ELÉ- TRICAS	61
	APÊNDICE D –CIRCUITO ESQUEMÁTICO DO HARDWARE	64
	ANEXO A –DATASHEET LINHA SCT-013	65
	ANEXO B –DATASHEET ADS1115	66
	ANEXO C –DATASHEET LINHA ESCT-TU	67
	ANEXO D –DATASHEET CONVERSOR A/D MCP3909	68
	ANEXO E –DATASHEET LINHA STM32F407	69
	ANEXO F –DATASHEET ATM90E36A	70
	ANEXO G –DATASHEET ZMCT116A	71
	ANEXO H –DATASHEET ZMPT101B	72
	ANEXO I – DATASHEET ARDUINO MEGA 2560	73
	ANEXO J –DATASHEET WEMOS D1	74

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo consiste em descrever o problema abordado no trabalho, falando inicialmente sobre as motivações que o autor teve para realizar a construção do equipamento, assim como os objetivos gerais e específicos deste trabalho, finalizando com as citações de alguns dos trabalhos feitos e apresentados pelo próprio autor abordando o tema e a evolução da construção do equipamento.

Nos últimos anos, o aumento contínuo no consumo de energia elétrica tem levado a uma demanda crescente por tecnologias que permitam uma gestão mais eficiente e consciente desse recurso. A crescente conscientização sobre os impactos ambientais e a busca por redução de custos têm impulsionado a inovação no setor de energia, com uma ênfase particular na automação residencial e na implementação de sistemas inteligentes de monitoramento de energia.

Nesse contexto, a automação residencial e a Internet das Coisas, conhecido pelo termo em inglês *Internet of Things* (IoT), desempenham um papel fundamental, oferecendo oportunidades para o desenvolvimento de dispositivos inteligentes capazes de otimizar o consumo de energia e proporcionar maior conforto e segurança aos usuários. Um exemplo disso são os medidores inteligentes, que permitem um monitoramento detalhado do consumo de energia em tempo real e oferecem percepções para a gestão eficiente dos recursos elétricos em residências.

1.1 Motivação

Com o aumento constante do custo da energia elétrica, os consumidores têm se interessado cada vez mais por meios de economizar e otimizar o uso da eletricidade em suas residências. Segundo dados colhidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), no ano de 2024, o valor médio da conta de energia deve subir cerca de 5,6% (CONTA. . . , 2024).

Por conta disso, nos dias atuais, a busca por eficiência energética e a conscientização sobre o consumo de energia são temas cruciais para a sociedade. No entanto, para tomar decisões informadas sobre o consumo de energia, é essencial compreender quais dispositivos e equipamentos estão consumindo mais eletricidade.

Equipamentos estão sendo criados para oferecer à população em geral formas de otimizar o estilo de vida, assim como resolver os problemas diários que cada um enfrenta. Um desses problemas, assim como abordado anteriormente, é a fatura de energia elétrica, que vem sofrendo aumentos constantes. Uma das formas de otimizar o consumo energético é reduzir ou

cessar o seu uso em horários específicos, mas para fazer isso da melhor forma possível, faz-se necessário realizar um levantamento detalhado do gasto energético.

Os Medidores Inteligentes (MI) contribuem justamente para a mitigação desse problema, com eles as Redes Inteligentes deixam de ser um conceito, tornando possível a administração consciente de energia elétrica por parte do consumidor (SILVA, 2021).

Assim, este trabalho propõe apresentar um equipamento compacto e de baixo custo para o acompanhamento do consumo energético em unidades consumidoras residenciais, aliado a uma plataforma web interativa para fornecer aos usuários informações detalhadas sobre seu consumo de energia.

1.2 Objetivos

O objetivo geral do trabalho é o desenvolvimento de um equipamento compacto e pouco invasivo para o acompanhamento do consumo energético em unidades consumidoras residenciais.

1.2.1 Objetivos específicos

- Apresentar conceitos relacionados com medidores inteligentes;
- Fazer um levantamento dos trabalhos que abordaram o tema ‘Medidores Inteligentes’ dando destaque aos que apresentaram projetos práticos;
- Descrever os componentes utilizados para compor o equipamento, tanto o software como o hardware;
- Descrever a montagem do equipamento, assim como a lógica de programação que compõe o software;
- Propor uma interface de usuário por meio de uma plataforma gráfica;
- Descrever os testes de calibragem realizados em laboratório;
- Realizar o teste de funcionamento do protótipo;
- Avaliar o custo benefício do equipamento, fazendo uma comparação com aqueles que estão à venda no mercado.

1.3 Trabalhos apresentados em eventos

Durante o processo de estudo e criação do equipamento, foram feitos alguns trabalhos e apresentações a respeito do tema, assim como a evolução do próprio equipamento, nos Encontros Universitários da Universidade Federal do Ceará Campus Sobral. Esses trabalhos são listados a seguir:

PARENTE, J K C; MOURA FILHO, J O F; SILVA, M E; MIRANDA, B N F; AMORA, A B. SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA O MONITORAMENTO DO CONSUMO ENERGÉTICO DE UMA RESIDÊNCIA In Encontro de Programas de Educação Tutorial, PROGRAD, 2022 Sobral, CE ENCONTROS UNIVERSITÁRIOS 2022 Edição Virtual.

PARENTE, J K C; MOURA FILHO, J O F; SILVA, M E; MIRANDA, B N F; MACHADO I R. ESTUDO DE CASO: MEDIDOR ELÉTRICO RESIDENCIAL In Encontro de Programas de Educação Tutorial, PROGRAD, 2023 Sobral, CE ENCONTROS UNIVERSITÁRIOS 2023.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está organizado em mais cinco capítulos, além deste. O capítulo 2 traz o estado da arte, introduzindo o conceito de medidores inteligentes e como a literatura abrange várias aplicações e formas de construção do equipamento.

No capítulo 3 são descritos os diversos componentes do equipamento, tanto o hardware como o software, assim como a função e o motivo da escolha de cada um.

O capítulo 4 é destinado para descrever a construção do equipamento, abordando também os testes de calibragem realizados nos sensores e a lógica por trás do cálculo de algumas grandezas.

O capítulo 5 é destinado a avaliação de desempenho do equipamento. Por fim, o capítulo 6 é destinado a apresentar a conclusão do trabalho, trazendo também algumas propostas para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são discutidos os conceitos de Medidores Inteligentes (MI) e suas principais aplicações, além disso, é abordado também o estado da arte, destacando os trabalhos que contribuíram para a construção deste equipamento.

2.1 Medidores inteligentes

Para entender o que são os MI, primeiro faz-se necessário introduzir o conceito de Redes Inteligentes. Segundo Silva (2021) esse conceito surgiu em 2005 com S. Massoud Amin e Bruce F. Wollenberg afirmando que, fazendo uso da eletrônica e da ciência, é possível criar uma melhor gestão da rede elétrica, racionalizando o uso dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia.

Os medidores de energia evoluíram significativamente ao longo da história, refletindo avanços tecnológicos e a necessidade de maior eficiência nas redes elétricas. Inicialmente, esses eram eletromecânicos, baseados no princípio da indução eletromagnética, inventados por Shallenberger em 1888 (SILVA, 2021). Esses medidores eram predominantemente analógicos e registravam o consumo de energia de forma mecânica.

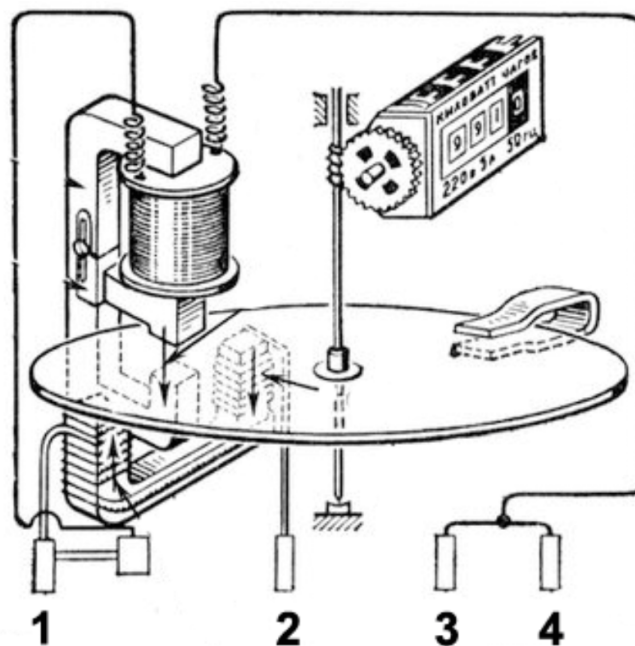
Na Figura 1, é possível visualizar um exemplo de diagrama que mostra o interior de um medidor eletromecânico de energia. Esse equipamento possui um disco de metal que rotaciona quando há uma energia elétrica de corrente alternada passando pelos bornes de seus terminais, enquanto que um sistema de engrenagens faz movimentar os ponteiros que marcam o consumo de energia. O comércio desses medidores deu-se início no ano de 1889 após uma apresentação feita na Feira de Frankfurt pelo húngaro Ottó Bláthy (MEDIDOR. . . , 2022), sendo este ainda usado nos dias atuais.

Um dos países que mais se destacou na fabricação de medidores de energia foi a China, tendo início na década de 1950 e desenvolvendo escalas de fabricação consideráveis, além de diversos outros tipos de medidores, como o medidor de energia de longa duração, medidor de energia mecatrônico (medidor de energia semi-eletrônico), medidor de energia totalmente eletrônico, medidor de energia totalmente eletrônico multifuncional, dentre outros (DO. . . , 2020).

Atualmente os medidores eletromecânicos ainda estão presentes em boa parte das residências, principalmente dos consumidores do Grupo B, que seriam as residências que são

taxadas com a tarifa de baixa tensão, entretanto, com o avanço da eletrônica e da computação, surgiram os medidores eletrônicos, que permitem uma medição mais precisa e a comunicação de dados de forma digital. Posteriormente, os MI de energia foram desenvolvidos, incorporando tecnologias avançadas de comunicação e processamento de dados. Esses dispositivos revolucionaram a forma como a energia é medida e gerenciada, possibilitando a coleta em tempo real de informações detalhadas sobre o consumo de energia, a detecção de falhas, a implementação de tarifas personalizadas e a integração com outros dispositivos (DO. . . , 2020).

Figura 1 – Medidor de energia eletromecânico



Fonte: Adaptado de Medidor. . . (2022).

Atualmente, os MI desempenham um papel fundamental na transição para redes elétricas mais inteligentes e eficientes, permitindo uma gestão mais sofisticada da distribuição de energia, a integração de fontes renováveis e a promoção de práticas sustentáveis de consumo de energia (SILVA, 2021). Essa evolução histórica dos medidores de energia reflete o constante progresso tecnológico e a busca por soluções inovadoras para atender às demandas crescentes por energia de forma sustentável e eficiente. Na Figura 2 é mostrado um modelo de medidor inteligente disponível no site da concessionária de energia Cemig.

Diferente dos medidores convencionais, os medidores inteligentes não fazem uso de métodos analógicos de registro de energia, mas sim métodos eletrônicos, através de sensores internos, deixando o equipamento mais compacto. Além disso, o equipamento conta com um visor totalmente digital além, é claro, das funcionalidades, como a conexão com a internet, acom-

panhamento em tempo real de forma remota do consumo energético e também a visualização de grandezas mais complexas, como tensão, corrente e, em alguns casos, até o fator de potência (MEDIDORES. . . , 2021).

Figura 2 – Medidor inteligente de energia



Fonte: Adaptado de Medidores. . . (2021).

2.2 Estado da arte

Referente aos trabalhos pesquisados, foi dado enfoque àqueles que fizeram uso do microcontrolador Arduino ou semelhante, tendo em vista que este será um dos componentes do equipamento, além disso, a pesquisa consistiu principalmente em sistemas que foram montados e testados. Foi levado em conta também a interface de usuário, priorizando as que tivessem comunicação com a internet, aumentando a versatilidade do equipamento. As folhas de dados dos componentes que serão citados podem ser visualizados em anexo.

No trabalho de Lima (2020) é proposto a criação de um sistema de controle dos circuitos de força da residência, sendo o usuário capaz de acompanhar em tempo real o consumo da casa e ativar e desativar a alimentação de cada uma das tomadas. Apesar de não ter sido construído um equipamento, o medidor teorizado fez uso do ESP32 como microcontrolador e Python como a linguagem de programação. A plataforma gráfica seria uma página WEB, onde seriam mostrados os dados elétricos (corrente, tensão e potência), assim como o estado do relé (ligado ou desligado), contudo, não foram descritos os sensores que seriam utilizados.

No trabalho de Brito (2016) é criado um sistema de monitoramento de consumo energético para a residência utilizando o sensor de corrente SCT-013-000 que possui o princípio de funcionamento semelhante ao alicate amperímetro, contudo, foi necessário realizar algumas adaptações afim de que o Arduino pudesse ler os dados adquiridos pelo sensor. Para o monitoramento das tensões, foi utilizado um transformador de potencial e algumas adaptações para que o microcontrolador, além de ler os dados, fosse capaz de suportar a tensão. Todas essas adaptações foram projetadas e compactadas numa placa de circuito impresso, conhecido pelo termo em inglês *Printed Circuit Board* (PCB). O Arduino UNO conectado a um *Ethernet Shield* foi o microcontrolador e o aplicativo Blynk realizou a comunicação entre o usuário e o equipamento.

O trabalho de Nunes (2012) utiliza a tecnologia Zigbee ao invés da tecnologia Wifi. O microcontrolador foi o Arduino Duemilanove conectado a um *Ethernet Shield* e um aplicativo foi criado com o intuito de estabelecer a comunicação entre o usuário e o equipamento.

O trabalho de Schuler (2020) mostra a criação um equipamento muito semelhante ao desenvolvido por Nunes (2012), sendo criada uma página na WEB para a comunicação entre o equipamento e o usuário. O ESP32 é o microcontrolador do sistema, utilizando C como linguagem de programação. O sensor de corrente escolhido foi o SCT-013-000, tornando o equipamento menos invasivo.

No trabalho de Frigo (2019) um chip NodeMCU Esp8266 exerceu a função de microcontrolador que já possui conexão wifi integrada, contudo, por conta da limitação de portas de entrada analógica, foi necessário um conversor Analógico Digital (A/D) ADS1115. Para mensurar os dados elétricos foram utilizados um sensor ESCT-TU16 e um divisor de tensão para registrar a corrente e a tensão elétricas, respectivamente. A comunicação do hardware com o usuário e processamento de dados foi realizada através uma plataforma na WEB (WebHost), os dados elétricos são colhidos a cada 15 min e salvos na EEPROM do microcontrolador, sendo que os dados só são sobrescritos na memória caso haja alguma alteração.

No trabalho de PINTO FILHO (2019) foi integrado um Arduino Nano como o núcleo de processamento do sistema devido ao seu design compacto. A leitura dos dados elétricos e a conversão desses valores para leituras digitais foi realizada através de um Circuito Integrado (CI) MCP3909 e um Transformador de Corrente (TC) com uma razão de transformação de 2500:1, acoplado a um resistor *shunt*. Um circuito adicional de filtro foi implementado para aprimorar a qualidade dos sinais. A alimentação do medidor foi garantida por uma fonte customizada desenvolvida pelo autor, assegurando operação contínua. Um display de cristal

líquido, conhecido pelo termo em inglês *Liquid Crystal Display* (LCD), e um *Real Time Clock* (RTC) foram empregados para exibir informações e registrar o tempo, respectivamente. Para proteger os dados contra perdas em eventuais falhas de energia, optou-se pelo uso da EEPROM do Arduino. O software de controle, ou *firmware*, foi desenvolvido empregando a IDE do Arduino.

No trabalho de Motter e França (2020) foi utilizado um STM32F407VG como microcontrolador e, para a coleta de dados, um CI ATM90E36A em conjunto com 4 TC's ZMCT116A, um para cada fase e outro pro neutro, para a medição das correntes e 3 sensores ZMPT101B para a medição da tensão de cada fase. O protótipo conta com relés para ligar e desligar remotamente unidades consumidoras e também circuitos auxiliares de RTC.

Breda *et al.* (2019) propuseram um equipamento totalmente não invasivo, que consiste num dispositivo de medição que utiliza apenas um sensor de corrente STC-013-000 de 100 A para a leitura dos dados elétricos. Já que não há um sensor de tensão, essa grandeza foi incluída no código de programação como sendo a tensão de rede local (220 V). Papel de microcontrolador foi exercido pelo Arduino UNO e também foi instalado um display Nokia 5110 para que fosse possível ao usuário visualizar os dados registrados (corrente, tempo, energia consumida e valor da fatura).

3 COMPONENTES DO EQUIPAMENTO

Neste capítulo serão listados todos os componentes que fazem parte do equipamento, tanto o hardware como o software, fazendo uma breve explicação das características de cada um deles.

Como mencionado anteriormente, os Medidores Inteligentes são equipamentos que incorporam as tecnologias de comunicação e processamento de dados, além disso, eles podem ser construídos de várias formas distintas. Assim como mencionado no tópico 2.1, os MI são formados por microcontroladores, funcionando como o núcleo de processamento do sistema, e sensores, que tem a função de mensurar as grandezas elétricas que atuam na rede em questão, ademais é de suma importância que exista uma plataforma gráfica, onde seja possível a leitura dos dados.

3.1 Hardware

O hardware é composto de duas placas para o processamento dos dados, estes sendo o Arduino Mega 2560 (ARDUINO. . . , 2020) e o WeMos D1 (WEMOS. . . , 2022), e os sensores ZMPT101B (SENSOR. . . , 2019) e SCT-013-020 (SENSOR. . . , 2022) para ler os dados de tensão e correntes, respectivamente. Ao todo foram usados um sensor de tensão e dois sensores de corrente, já que o estudo foi feito para uma residência monofásica com dois circuitos. Esses componentes foram escolhidos com o intuito de evoluir o projeto futuramente.

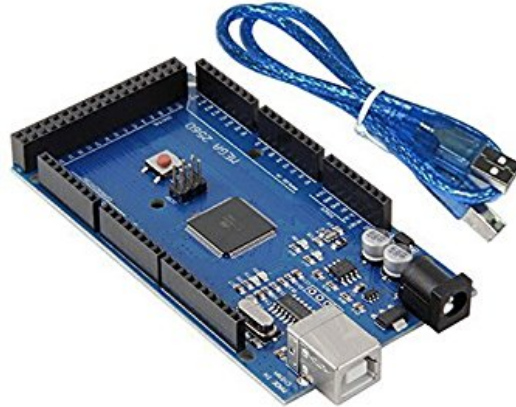
3.1.1 *Arduino Mega 2560*

O Arduino Mega 2560 é uma placa de microcontrolador baseada no chip AT-mega2560 (ARDUINO. . . , 2020). Destinada principalmente a projetos de eletrônica e automação, essa placa oferece uma vasta gama de recursos e funcionalidades que a tornam altamente popular entre entusiastas, estudantes e profissionais da área.

Com um total de 54 pinos de entrada/saída digital, dos quais 15 podem ser usados como saídas de Modulação por Largura de Pulso, muito conhecidas pelo termo em inglês *Pulse Width Modulation* (PWM), e 16 pinos de entrada analógica, o Arduino Mega 2560 oferece uma quantidade significativa de interfaces para conectar e controlar dispositivos externos. Além disso, a placa suporta várias interfaces de comunicação, incluindo UART, I2C e SPI, proporcionando flexibilidade para interagir com uma ampla variedade de dispositivos periféricos.

O Arduino Mega pode ser visualizado a seguir na Figura 3.

Figura 3 – Arduino Mega 2560



Fonte: Adaptado de Arduino. . . (2020).

Uma das características distintivas do Arduino Mega 2560 é sua capacidade de armazenamento e processamento. Equipada com 256 KB de memória flash para armazenamento de programas, 8 KB de SRAM para manipulação de dados em tempo de execução e 4 KB de EEPROM para armazenamento não volátil, a placa oferece recursos substanciais para a implementação de códigos complexos e o armazenamento de dados.

Além disso, o microcontrolador é compatível com uma variedade de módulos conhecidos como *shields*, placas de expansão que adicionam funcionalidades à placa base. Esses *shields* podem incluir módulos de comunicação sem fio, controladores de motores, interfaces de display e muito mais, ampliando ainda mais as capacidades do equipamento. A primeira página do datasheet do microcontrolador está presente no Anexo I.

3.1.2 *WeMos D1*

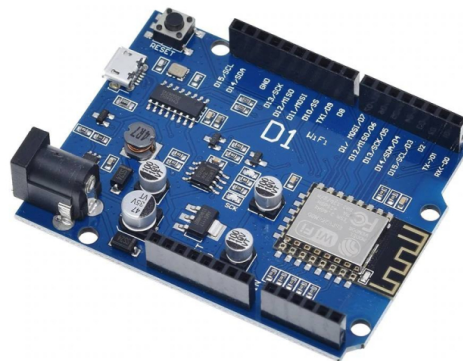
A placa WeMos D1 é uma plataforma de desenvolvimento eletrônico, projetada para facilitar a criação de projetos e aplicações IoT. Baseada no módulo ESP8266 da Espressif Systems, a WeMos D1 combina compatibilidade com a IDE do Arduino com a funcionalidade WiFi integrada (WEMOS. . . , 2022).

A WeMos D1 destaca-se por seu design compacto e sua capacidade de se conectar à internet sem necessidade de hardware adicional, graças ao módulo ESP8266 embutido. Este módulo é equipado com um processador Tensilica L106 de 32 bits. Além disso, a placa oferece

uma série de portas de Entrada e Saída de Uso Geral, ou em inglês, *General Purpose Input/Output* (GPIO), possibilitando a conexão com diversos sensores, atuadores e outros dispositivos periféricos para expandir suas funcionalidades.

O WeMos D1 pode ser visualizado a seguir na Figura 4.

Figura 4 – WeMos D1



Fonte: Adaptado de WeMos. . .(2022).

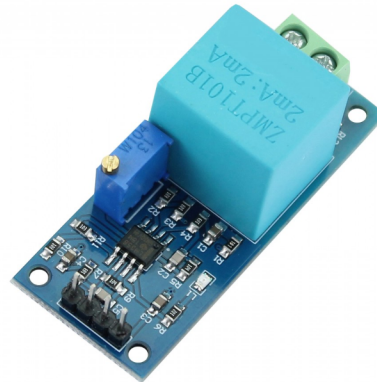
Entretanto, apesar de trazer diversas vantagens em relação ao Arduino, como a conexão com a internet, o hardware possui apenas uma porta de leitura analógica, o que acaba por limitar o seu uso nessa aplicação. A primeira página do datasheet do microcontrolador está presente no Anexo J.

3.1.3 *Sensor ZMPT101B*

O sensor ZMPT101B é um dispositivo projetado para medir tensão alternada, baseado no princípio do transformador de potencial, este sensor oferece uma saída analógica proporcional à tensão de entrada. É comumente empregado em aplicações de monitoramento de energia elétrica e sistemas de automação residencial, permitindo a medição precisa de tensões de até 250V (SENSOR. . . , 2019).

O Sensor ZMPT101B pode ser visualizado a seguir na Figura 5. O datasheet do sensor está presente no Anexo H.

Figura 5 – Sensor ZMPT101B



Fonte: Adaptado de Sensor. . . (2019).

3.1.4 Sensor SCT-013-020

O sensor de corrente SCT-013-020 é um sensor não invasivo projetado para medir correntes alternadas em sistemas elétricos de baixa tensão. Ele é amplamente utilizado em projetos de monitoramento de energia, sistemas de automação residencial e industrial, e em projetos de eficiência energética (SENSOR. . . , 2022).

O Sensor SCT-013-020 pode ser visualizado a seguir na Figura 6.

Figura 6 – Sensor SCT-013-020



Fonte: Adaptado de Sensor. . . (2022).

Este sensor é capaz de medir correntes de até 20A com precisão e sem a necessidade de interromper o circuito em que está sendo utilizado. Ele opera com base no princípio do efeito Hall, onde um campo magnético é gerado pela corrente elétrica que flui através do condutor. Esse campo magnético é então detectado pelo sensor e convertido em um sinal elétrico proporcional à corrente medida.

Uma das principais vantagens do SCT-013-020 é sua facilidade de uso, pois ele pode ser simplesmente encaixado em torno do condutor que deseja-se monitorar, sem a necessidade de cortar ou modificar o circuito. Além disso, ele possui um isolamento galvânico que garante a segurança do usuário e protege os circuitos de medição contra danos. O datasheet da linha de sensores SCT-013 presente no Anexo A.

3.2 Software

Para desenvolver o núcleo de processamento do equipamento fez-se uso de quatro plataformas: a IDE Arduino (ARDUINO. . . , 2024) que foi responsável por enviar a programação para os microncontroladores através da linguagem Arduino ¹; o Streamlit (STREAMLIT, 2024), utilizada para criar a Plataforma Gráfica do equipamento através da linguagem de programação Python; o Supabase (SUPABASE, 2024) utilizada como banco de dados e a AWS (AMAZON. . . , 2024) para disponibilizar a interface do usuário na internet.

3.2.1 IDE Arduino

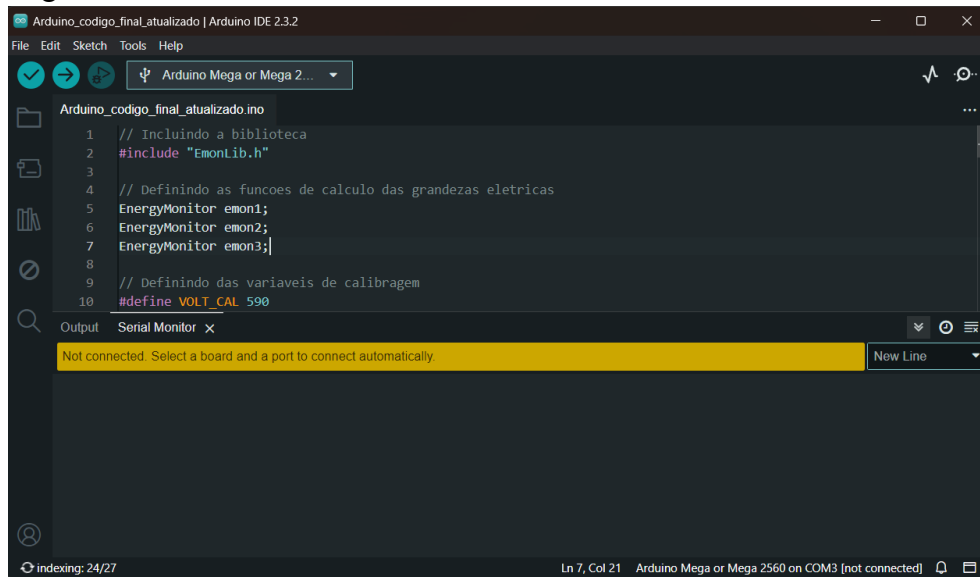
A *Integrated Development Environment* (IDE) do Arduino é um ambiente de desenvolvimento que fornece todas as ferramentas necessárias para escrever, compilar e fazer *upload* de código para placas Arduino. Ela oferece uma interface simples e intuitiva, projetada para facilitar o processo de desenvolvimento para iniciantes e profissionais. A seguir na Figura 7 é apresentada a tela inicial da plataforma:

A IDE do Arduino inclui um editor de texto onde você pode escrever seu código em linguagem Arduino, que é uma linguagem baseada no C/C++, realçando a sintaxe para facilitar a leitura e identificação de erros. Além disso, possui um conjunto de bibliotecas padrão que simplificam a interação com os periféricos da placa Arduino.

Como dito anteriormente, essa foi a plataforma responsável por realizar a programação dos microcontroladores, onde a leitura e o processamento inicial dos dados foi feito no Arduino Mega, enquanto que o envio desses dados para o banco de dados (Supabase) foi feito através do WeMos D1.

¹ A linguagem de programação Arduino possui o mesmo nome do microcontrolador.

Figura 7 – IDE Arduino



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.2 Streamlit

O Streamlit é uma ferramenta de código aberto desenvolvida para simplificar a criação de aplicativos da WEB interativos para análise de dados e prototipagem de modelos de *machine learning* (STREAMLIT. . . , 2020). Com o Streamlit, é possível criar interfaces de usuário facilmente acessíveis diretamente em Python, sem a necessidade de conhecimentos extensivos em HTML, CSS ou JavaScript. Esse foi o principal motivo da escolha dessa ferramenta para a criação da interface gráfica do equipamento.

Ele oferece uma variedade de ferramentas prontas para uso, como botões, caixas de seleção, gráficos e muito mais, que podem ser facilmente incorporados ao código para criar uma experiência de usuário rica e interativa.

Uma das principais vantagens do Streamlit é sua capacidade de atualizar automaticamente a interface do usuário conforme o código Python é alterado, permitindo um processo de desenvolvimento iterativo e eficiente.

3.2.3 Supabase

O Supabase é um banco de dados que oferece uma plataforma de código aberto que proporciona uma solução completa para o desenvolvimento de aplicativos WEB e móveis (SUPABASE, 2024). Baseado no PostgreSQL (POSTGRESQL. . . , 2024) e no PostgreSQL Realtime (SOTO *et al.*, 2024), disponibilizando um conjunto de ferramentas e serviços para

simplificar o processo de criação de aplicativos, abrangendo desde o armazenamento de dados até a autenticação de usuários e o gerenciamento de sessões em tempo real.

Ele conta também com uma API RESTful² para acessar e manipular os dados do banco de dados. Além disso, o Supabase oferece suporte nativo para SQL³ e PL/pgSQL⁴, facilitando consultas e procedimentos armazenados.

Outrossim, o Supabase disponibiliza recursos adicionais, como autenticação de usuários por meio de provedores de identidade populares (como Google, Facebook e GitHub), armazenamento de arquivos na nuvem, integração com serviços de e-mail, entre outros.

3.2.4 AWS

A *Amazon Web Services* (AWS) é uma plataforma de computação em nuvem oferecida pela Amazon.com, conhecida por sua ampla gama de serviços que incluem computação, armazenamento, banco de dados, análise de dados, inteligência artificial IoT, entre outros (AMAZON. . . , 2024). Com a AWS, empresas e desenvolvedores podem hospedar, gerenciar e dimensionar aplicativos e serviços na nuvem de maneira eficiente e econômica. A plataforma oferece vários serviços gratuitos como a Amazon *Elastic Compute Cloud* (EC2), que fornece instâncias virtuais escaláveis para a execução de aplicativos.

A AWS oferece também grande flexibilidade, escalabilidade e redução de custos para organizações e programadores que buscam implementar aplicativos na nuvem. Seus serviços são amplamente utilizados em uma variedade de casos de uso, desde *startups* até grandes empresas, proporcionando recursos sob demanda e pagando apenas pelo que é usado, tendo inclusive, como já citado, vários serviços gratuitos.

² Interface que permite a comunicação entre sistemas de computador pela internet de forma segura e eficiente.

³ Linguagem padrão usada para gerenciar e manipular bancos de dados relacionais.

⁴ Linguagem procedural usada no PostgreSQL que estende o SQL com elementos de programação, como controle de fluxo, loops e tratamento de erros.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Este capítulo é destinado a descrever a construção do protótipo de forma detalhada, incluindo a descrição dos testes de calibragem pelo autor durante o desenvolvimento do projeto, assim como a lógica por trás dos códigos de programação.

4.1 Desenvolvimento do hardware do equipamento

O hardware do equipamento é composto por 2 microcontroladores (Arduino Mega 2560 e WeMos D1) e 2 tipos de sensores (SCT-013-020 e ZMPT101B) para mensurar as grandezas elétricas da rede.

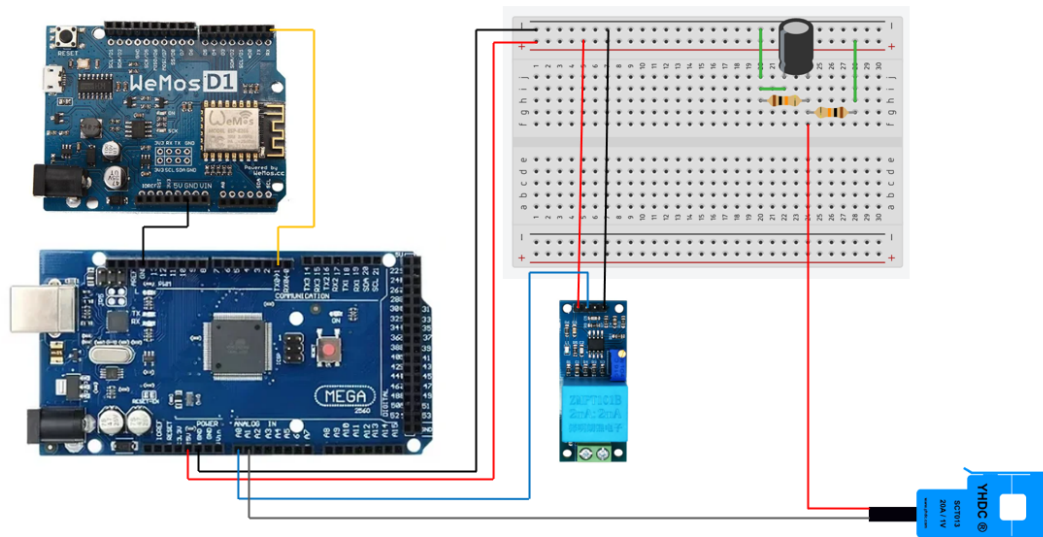
A comunicação entre as placas é serial, através das portas Rx (receptor de dados) e Tx (transmissor de dados) de ambas as placas. O Arduino é o responsável pela leitura e processamento inicial dos dados, enquanto que o D1 pelo envio dos dados processados para o banco de dados. A conexão serial entre os microcontroladores foi escolhida pela simplicidade de implementação, pois não há a necessidade de utilizar funções de nenhuma biblioteca, o que diminui o risco de erros de compatibilidade e nem é necessário linhas de código extensas em ambos os aparelhos dedicadas a essa operação.

Para ajustar a leitura dos sensores de corrente, foi utilizado um divisor de tensão. Como o sensor de tensão já é integrado a um módulo, foi necessário apenas a conexão dos pinos de alimentação 5 Vcc e GND, assim como o pino de saída dos dados (OUT). O circuito divisor de tensão do sensor de corrente utiliza dois resistores de 10 k Ω para reduzir a tensão de leitura do Arduino e um capacitor de 100 μ F para suavizar o sinal, reduzindo os picos de tensão.

O diagrama de conexão do equipamento pode ser visualizado na Figura 8 e o esquemático completo do circuito está disponibilizado no Apêndice D. Cabe nesse esquema se atentar a alguns pontos:

- Todos os componentes devem possuir a mesma referência;
- A tensão de alimentação dos sensores deve ser 5 Vcc;
- O sensor de corrente deve ser conectado a apenas um fio, ou seja, o mesmo não vai funcionar corretamente caso seja conectado aos cabos de fase e neutro simultaneamente.

Figura 8 – Conexão dos componentes

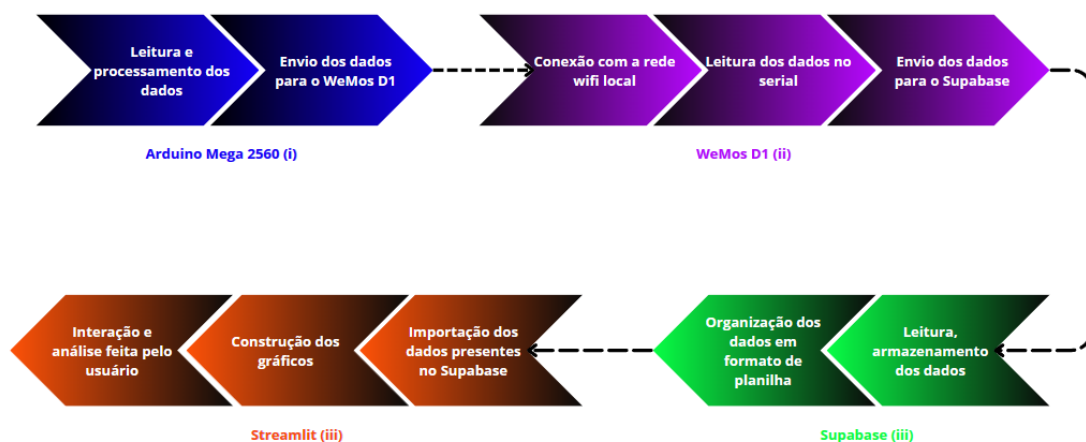


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Desenvolvimento do software do equipamento

Pode-se dizer que o código de programação foi separado em 3 partes, inicialmente foi feita a leitura e processamento dos dados pelo Arduino Mega 2560, em seguida foi realizada a transmissão dos dados para o banco de dados realizada no WeMos D1 e, por fim, a programação da plataforma gráfica feita a partir do Streamlit. A seguir, na Figura 9 é apresentado uma ilustração de como é feita a organização e separação das tarefas dos diferentes componentes do equipamento, assim como as suas comunicações:

Figura 9 – Organização do software do equipamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

O software segue a seguinte ordem de processamento: primeiro os dados elétricos

são colhidos e processados pelo Arduino Mega 2560 para então serem transmitidos ao WeMos D1, neste é feita a comunicação com a internet para a alimentação do banco de dados. Por fim, os dados são enviados do banco de dados para a plataforma gráfica, para ser possível a visualização e análise do consumo pelo usuário. Os códigos de programação utilizados foram disponibilizados nos Apêndices A, B e C deste documento.

4.2.1 Programação no Arduino Mega 2560

Para realizar a leitura e processamento dos dados pelo Arduino, foi necessário utilizar a biblioteca Emonlib (EMONLIB, 2010). Essa biblioteca oferece funções e métodos que facilitam a leitura de dados de sensores de corrente e tensão, permitindo calcular com precisão parâmetros como potência, corrente e energia consumida.

Ela possui funções que fazem a conversão diretamente para valores eficazes, usualmente conhecido pelo termo em inglês *Root Mean Square* (RMS), permitindo a redução das linhas de código. Além disso, a biblioteca oferece recursos avançados, como a capacidade de compensar o desvio de leitura dos sensores e calibrar os resultados de medição para maior precisão.

A leitura dos dados elétricos é realizada a partir de funções específicas para cada um dos sensores, chamadas de *emon*. Essas funções já possuem parametrizações próprias, ou seja, caso o sensor seja referente à tensão elétrica, será necessário incluir o complemento *voltage*, já para a corrente o complemento é *current*, onde devem ser especificados a porta do respectivo sensor, o valor de calibração e o valor da mudança de fase (exclusivo para a medida de tensão).

Assim, cálculo do valor do consumo energético, por ser uma grandeza de energia elétrica, segue a Equação 1 (CONHEÇA. . . , 2024):

$$E(t) = V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot t \quad (1)$$

onde a energia consumida é dada por $E(t)$, enquanto que a tensão e corrente eficazes são dados pelos termos V_{rms} e I_{rms} , respectivamente, já o tempo da leitura é t .

O consumo instantâneo é uma medida que deve ser calculada a cada instante, entretanto, como forma de fazer uma primeira filtragem de dados, foi definido um tempo de leitura de 1 segundo. Em termos práticos, durante esse período, o código realiza a leitura dos dados de tensão e corrente, processa eles a partir da biblioteca 'Emonlib' e retorna os valores eficazes de

tensão e corrente, calculando, por fim, o valor da energia consumida durante a leitura.

Como uma forma de facilitar ainda mais a leitura dos dados, a corrente é medida em miliampere (mA), já a tensão é mensurada em volts (V), enquanto que cada consumo instantâneo possui o watt-segundo (Ws) como unidade de medida. Para realizar essa conversão, é feito uso da Equação 2 a seguir:

$$C_{inst}(Ws) = \frac{V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot (1Segundo)}{1000} \quad (2)$$

onde o consumo instantâneo é dado por C_{inst} , enquanto que as outras variáveis permanecem como as grandezas especificadas na Equação 1. O valor 1000 no denominador da equação é utilizado para transformar a corrente para ampere (A).

Como a leitura das grandezas elétricas é feita a cada segundo, mas os dados são enviados ao banco de dados somente após 15 segundos, é feita a média dos valores registrados nesse período, seguindo a lógica da Equação 3:

$$C_{med}(Ws) = \frac{\sum_{i=1}^{15} C_{inst}}{15} \quad (3)$$

onde o consumo médio do intervalo é dado por C_{med} , enquanto que o consumo instantâneo de cada segundo é dado por C_{inst} .

Também é calculado o consumo total da residência pelo próprio microcontrolador. Isso é feito para manter a unidade de medida dessa grandeza com a menor perda de informações possível. Foi utilizada então a Equação 4 a seguir:

$$C_{tot}(kW h) = \frac{(15Segundos) \cdot C_{med}(Ws)}{3600000} + C_{ant}(kW h) \quad (4)$$

onde o consumo total acumulado é dado por C_{tot} , a leitura média do consumo é dada por C_{med} e o valor acumulado anterior é dado por C_{ant} ¹. O denominador 3600000 é dado pela multiplicação de 3600 (constante de transformação de segundo para hora) por 1000 (constante de transformação de W para kW).

A compensação do intervalo de 15 segundos entre as leituras é levado em consideração apenas no cálculo do Consumo Total, isto acontece para aumentar a precisão do registro

¹ Valor calculado do consumo total acumulado na interação anterior.

dos Consumos Instantâneos, já que se isso fosse feito nas Equações 2 e 3, os valores mostrados seriam equivalentes ao consumo acumulado durante o tempo de leitura.

Em suma, diferente dos Consumos Instantâneos, o Consumo Total é acumulativo, fazendo a conversão da soma das grandezas calculadas na Equação 2 (já que possuem a mesma unidade de medida) e soma com o último valor registrado.

Após a leitura e processamento dos dados, os valores das grandezas são enviados ao WeMos D1 a partir da comunicação serial. Esse tipo de comunicação é padrão nos microcontroladores das famílias Arduino e ESP, possuindo uma biblioteca integrada nas placas, não sendo necessário instalar uma biblioteca externa.

4.2.2 Programação no WeMos D1

Inicialmente é necessário fazer a pré-configuração do microcontrolador para acessar a internet local a partir da conexão Wifi e configurar o acesso ao banco de dados que será usado. Para tal, fez-se uso da biblioteca ESP8266WiFi (ESP8266WIFI, 2015) que ela oferece as funcionalidades para que dispositivos baseados no ESP8266 se conectem a redes Wifi.

De forma semelhante foi feita a configuração do banco de dados a partir da biblioteca ESP8266HTTPClient (ESP8266HTTPCLIENT, 2015). Essa biblioteca oferece funcionalidades para realizar solicitações HTTP em projetos baseados no ESP8266.

Para realizar a transferência para o banco de dados, foi necessário primeiro realizar a leitura dos dados enviados pelo Arduino Mega 2560 através da porta serial. Como forma de facilitar mais ainda o código, foi adicionada uma quebra de linha que acontece entre cada envio de dados, além disso, esses dados são lidos em código ASCII², o que facilita a transmissão deles para o banco de dados.

Após a leitura dos dados processados e configuração da rede, é feito então o envio para o Supabase. Vale frisar que os dados são enviados em forma de linha, ou seja, a cada leitura, eles são enviados juntos, mas organizados em suas respectivas colunas no Supabase.

4.2.3 Programação no Streamlit

Diferente da programação dos microcontroladores que interagem diretamente com o hardware do equipamento, o Streamlit atua exclusivamente com o software, mais especificamente

² Formato de texto.

com o que se tornará a plataforma gráfica do medidor, onde a programação foi inteiramente feita em Python.

Para criar a plataforma gráfica, inicialmente foi necessário realizar a conexão com o banco de dados, que foi feita de forma semelhante como explicado no subtópico 4.2.2, mas utilizando a função *create_client* da biblioteca *supabase_py* (SUPABASE, 2021). Com essa biblioteca, é possível acessar os recursos e funcionalidades oferecidos pelo Supabase diretamente por aplicativos Python, simplificando o desenvolvimento de aplicativos e serviços que utilizam o Supabase como *backend*. Em outras palavras, o Supabase é muito utilizado para desenvolver a estrutura oculta de aplicativos e serviços que, apesar de não aparecer para o usuário, é essencial para o funcionamento dos softwares.

Para que fosse possível trabalhar melhor não somente com o banco de dados, mas com os dados em si, fez-se uso da biblioteca Pandas (MCKINNEY, 2008) que permite a manipulação e análise de dados com eficiência. A interface gráfica foi criada a partir da plataforma Streamlit e, para acessá-la, fez-se uso da biblioteca de mesmo nome, Streamlit (STREAMLIT. . . , 2020).

Em sua página inicial, a plataforma apresenta os gráficos do consumo individual de cada circuito separadamente, sendo a quantidade de gráficos dependente da quantidade de circuitos da residência. Para que fosse possível a criação desses gráficos, fez-se uso da biblioteca Plotly.express (PLOTLY. . . , 2021), sendo esta uma ferramenta de visualização de dados de alto nível, construída sobre a biblioteca Plotly (COLLABORATIVE. . . , 2015).

Na Figura 10, é apresentada a plataforma gráfica, mostrando tanto os gráficos de consumo, quanto a barra lateral de interação com o usuário ³.

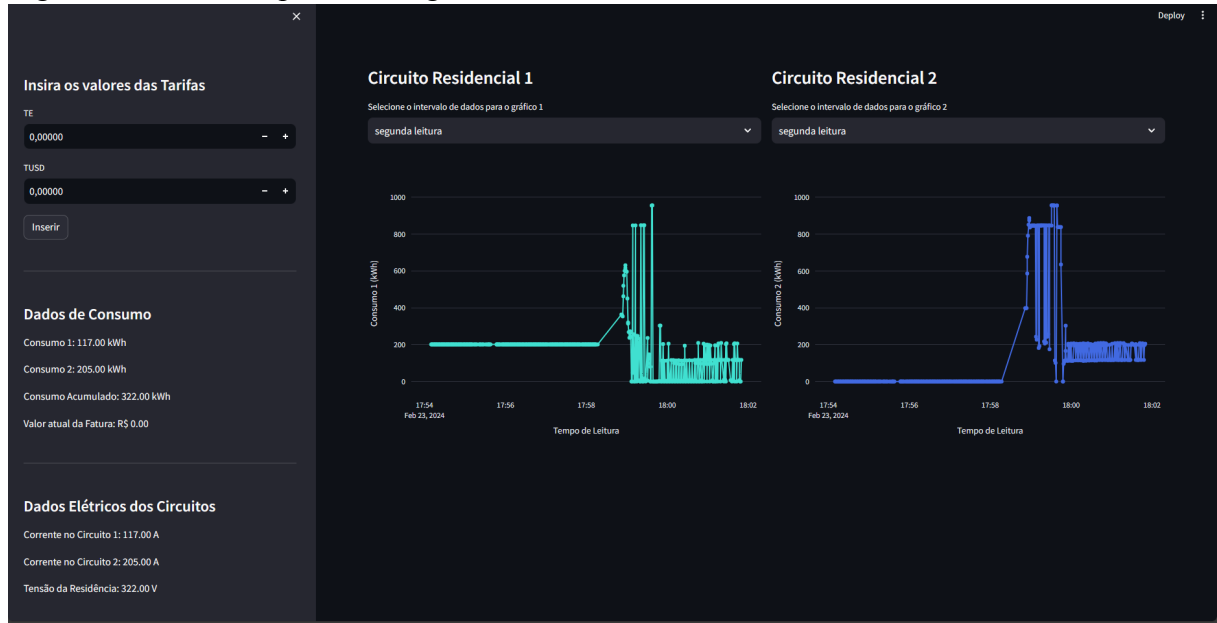
A plataforma mostra o valor atual da fatura, os valores instantâneos dos dados de tensão e corrente de cada um dos circuitos, além do respectivo consumo instantâneo. Como forma de dar uma versatilidade maior ao usuário, os valores das taxas da Tarifa de Energia (TE) e da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) podem ser inseridos na própria plataforma. As demais taxas como a bandeira tarifária e a iluminação pública foram desconsideradas neste trabalho.

Enquanto que a TUSD é o valor cobrado pela infraestrutura responsável pela distribuição da energia à residência (incluindo postes, fios, transformadores, subestações, etc), a TE é

³ Durante a criação da plataforma, foram realizados alguns testes utilizando potenciômetros, portanto, os valores e gráficos apresentados neste subtópico não representam valores reais de tensão e corrente, mas sim valores simbólicos utilizados para o ajuste da transmissão dos dados.

diretamente ligada ao produto consumido, ou seja, a energia elétrica (ENTENDENDO. . . , 2023).

Figura 10 – Teste da plataforma gráfica



Fonte: Elaborado pelo autor.

A taxa TE é subdividida em 4 partes: (i) TE Energia (parcela referente aos custos de compra da energia) ; (ii) TE Transporte (parcela referente ao uso básico da rede pela usina de distribuição); (iii) TE Perdas (parcela referente ao percentual de energia dissipada durante o transporte e distribuição) e; (iv) TE Encargos (parcela referente aos encargos setoriais que não foram criados pela ANEEL) (AUDIÊNCIAS. . . , 2024).

Já a taxa TUSD é subdividida em 3 partes: (i) TUSD Transporte (parcela referente ao transporte de energia incluindo tanto a transmissão quanto à distribuição); (ii) TUSD Perdas (parcela referente à parcela de energia dissipada durante o transporte e distribuição) e; (iii) TUSD Encargos (parcela referente aos encargos criados pela ANEEL) (AUDIÊNCIAS. . . , 2024).

Por incluir essa versatilidade, o cálculo da fatura é realizado através da própria plataforma gráfica, seguindo a Equação 5 a seguir (O. . . , 2024):

$$Fatura(R\$) = C_{tot} \cdot (TE + TUSD) \quad (5)$$

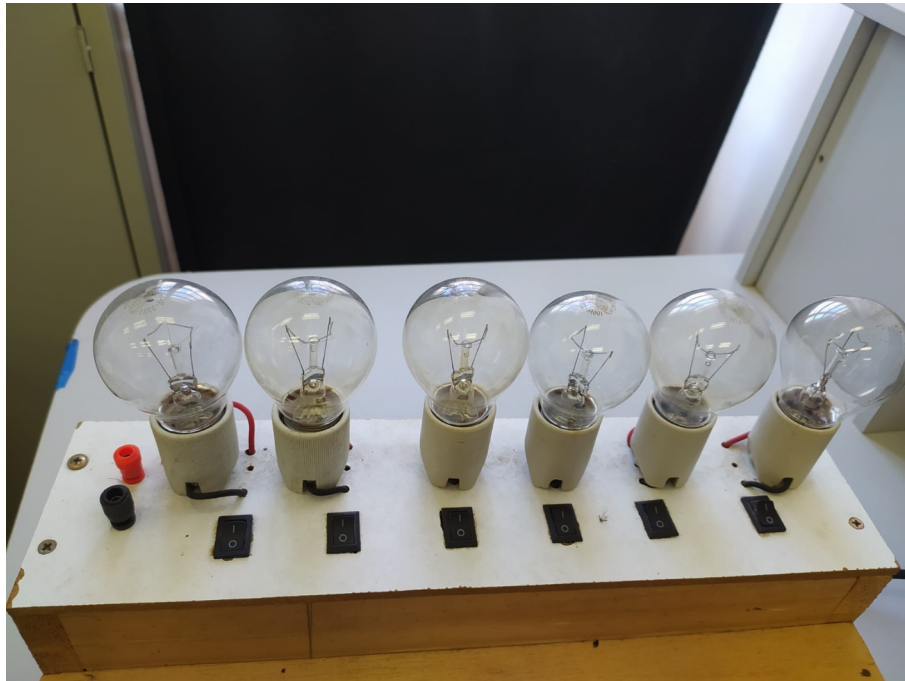
onde o valor atual da conta de luz é dado por $Fatura$, enquanto que das taxas são dadas por TE e $TUSD$, já o consumo total acumulado é dado por C_{tot} .

O Consumo Total está em kWh, uma medida de energia, enquanto que os valores das taxas são dadas por R\$/kWh, resultando no valor em R\$ da fatura de energia.

4.3 Calibragem e testes

Os testes de calibragem foram realizados nos laboratórios da UFC campus Mucambo, alternando principalmente entre os laboratórios de Eletrotécnica e Eletrônica Analógica. Para realizar a calibração, foi necessário alguma carga de teste que pudesse ser variada conscientemente, isto é, algo que pudesse aumentar ou diminuir o consumo elétrico. Para tal fez-se uso de lâmpadas incandescentes ligadas em paralelo, por conta que cada uma poderia ser ligada ou desligada independentemente. A seguir é possível visualizar a fileira de lâmpadas utilizada para os testes na Figura 11.

Figura 11 – Fileira de lâmpadas

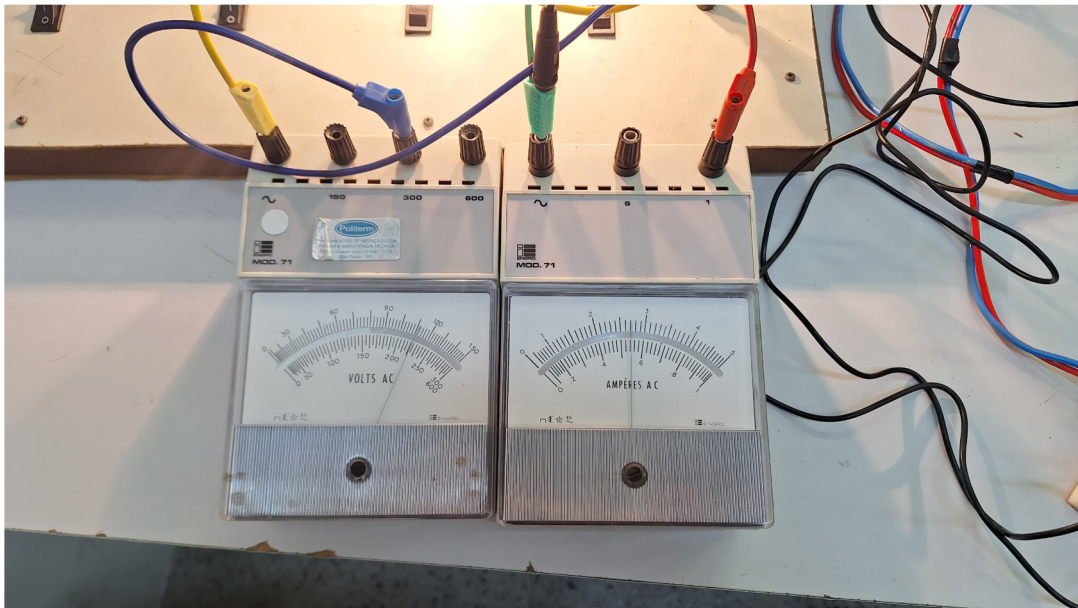


Fonte: Elaborado pelo autor.

Como instrumentos de calibragem, foram utilizados os amperímetros e voltmímetro analógicos, por serem os equipamentos disponíveis que possuíam o maior grau de precisão. Toda a calibragem dos sensores foi realizada experimentalmente, onde as cargas foram sendo alteradas constantemente e o código do Arduino Mega 2560 atualizado para ajustar os valores lidos pelos sensores com os valores registrados pelos instrumentos de calibragem até atingirem uma precisão aceitável. Na Figura 12, é possível visualizar um dos testes de calibragem, mais especificamente o teste de calibragem ajustado para mensurar correntes de até 1 A.

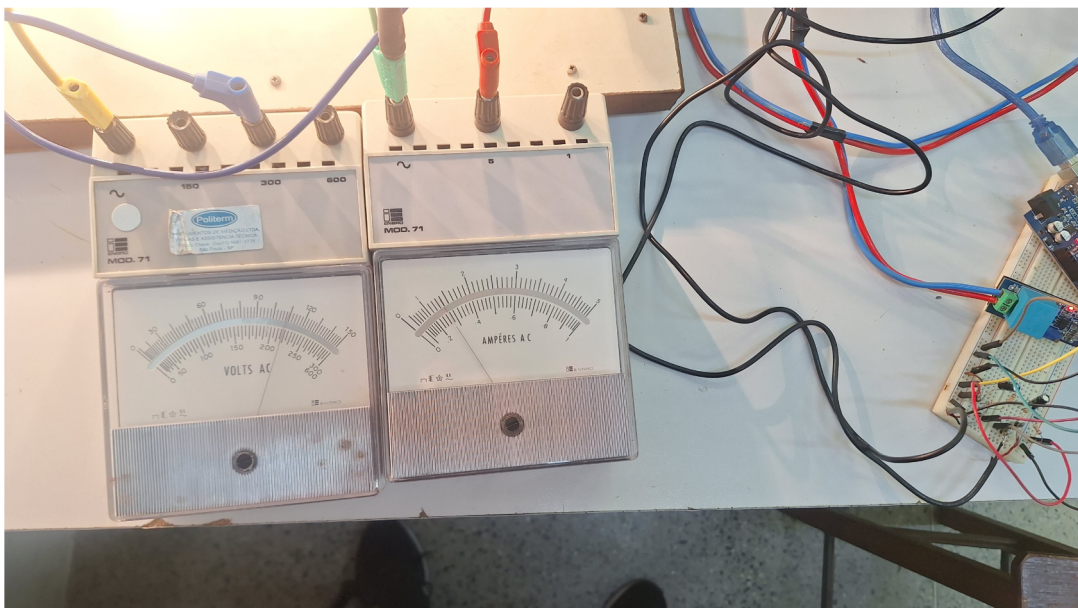
Para facilitar ainda mais a calibragem e otimizar a precisão dos equipamentos, foi utilizado um amperímetro analógico que pode ser ajustado para registrar valores menores e mais

Figura 12 – Medição com baixa corrente



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13 – Medição com alta corrente



Fonte: Elaborado pelo autor.

precisos de corrente elétrica (até 1 A) ou então registrar valores maiores, porém em compensação menos precisos (até 5 A). A segunda leitura pode ser visualizada na Figura 13, onde o borne do amperímetro foi alterado para mensurar correntes até 5 A.

Enquanto na Figura 12, duas lâmpadas foram acesas, registrando uma corrente 0,54 A, na Figura 13, cinco lâmpadas foram acesas, registrando uma corrente de 1,4 A. Em ambas situações a leituras do voltímetro permaneceu inalterada, assim como era esperado, já que as lâmpadas estão ligadas entre si de forma paralela, sendo a única grandeza que sofre alteração é a

corrente.

Os sensores foram conectados ao circuito semelhante aos instrumentos de medição usuais, isto é, assim como um voltímetro, o sensor de tensão foi conectado em paralelo ao circuito, enquanto que o sensor de corrente foi conectado envolvendo um dos cabos de alimentação da fileira de lâmpadas, tal como é feito com um alicate amperímetro.

Na Tabela 1, estão dispostos os valores registrados por cada um dos aparelhos de medição, comparando as grandezas mensuradas pelos sensores do aparelho, assim como pelos instrumentos de calibragem.

Tabela 1 – Comparativo das grandezas registradas

Grandeza	Aparelho de Medição	Número de Lâmpadas					
		Sem Carga	1 Lâmpada	2 Lâmpadas	3 Lâmpadas	4 Lâmpadas	5 Lâmpadas
Tensão (V)	ZMP101B	226	226	226	225	226	225
	Voltímetro	230	230	230	230	230	230
Corrente (A)	SCT-013-20	0	0,28	0,54	0,83	1,10	1,35
	Amperímetro	0	0,28	0,54	0,86	1,10	1,40

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando a Tabela 1, o sensor de tensão atingiu uma precisão percentual maior, já que a maior variação foi de 5 V (cerca de 2,17% do valor) enquanto que o sensor de corrente atingiu uma precisão absoluta melhor, já que a maior variação foi de 0,05 A (cerca de 3,57% do valor). Como ambos os sensores atingiram uma precisão com uma variação inferior a 5%, a calibragem foi assumida como aceitável para serem iniciados os testes práticos.

5 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO E COMPARATIVO

Neste capítulo será feita uma avaliação do desempenho do protótipo, mostrando a plataforma gráfica e suas funcionalidades, assim como um levantamento do valor final do medidor, fazendo um comparativo com aqueles que estão à venda no mercado.

O equipamento foi instalado na residência do autor, onde ficou em funcionamento durante uma semana. Foi feita a leitura de dois circuitos residenciais distintos, já que é assim que é feita a separação da instalação elétrica local. Para comprovar a veracidade dos valores registrados, foi feita a leitura diária do medidor residencial durante todo o período de testes, comparando portanto os dados.

5.1 Plataforma gráfica

A plataforma gráfica é de extrema importância para o projeto como um todo, já que é a partir dela que os dados serão lidos e analisados, portanto foi dedicado um tempo e esforço para deixá-la totalmente usual.

Entre as funcionalidades, foram criados dois gráficos que registram o consumo individual de cada circuito da residência. Além disso, para permitir uma análise mais detalhada do consumo, foi adicionada uma função nos gráficos que possibilita acompanhar o consumo energético em intervalos de tempo variáveis, permitindo a análise individual de cada dia. Assim como os valores instantâneos de tensão, corrente e consumo em cada circuito, assim como o consumo acumulado total e o valor atual da fatura.

Por conta que os valores das taxas (TE e TUSD) são muito voláteis e também para proporcionar uma versatilidade maior à plataforma, o usuário poderá inserir esses valores manualmente, sendo recomendado que sejam utilizados os valores referentes à fatura mais recente da residência. Além disso é possível fazer algumas simulações a respeito desses dados, por conta que, se baseando nas informações divulgadas pela ANEEL, o usuário poderia mudar os valores e obter uma precisão maior do valor final da fatura.

Assim como apresentado na Figura 14, a plataforma possui uma aba lateral retátil, onde são apresentados os valores numéricos das grandezas a serem analisadas, enquanto que os gráficos ficam em destaque na página inicial. A função de filtragem dos valores dos gráficos foi configurada para mostrar os valores diários possibilitando uma análise melhor a respeito do período de teste. A seguir é possível visualizar a aparência da plataforma gráfica na Figura 14:

Figura 14 – Leitura realizada em um dia



Fonte: Elaborado pelo autor.

O acesso à plataforma é feito via navegador WEB, onde pode ser acessado tanto por dispositivos móveis (celulares), como por computadores. A configuração da plataforma, assim como o seu *deploy*¹ é feito a partir da AWS, onde é criada uma máquina virtual que continua executando o código mesmo se a máquina original estiver desligada.

5.2 Versão final do equipamento

A caixa externa do equipamento foi feita por meio de uma impressão 3D, ocultando todos os circuitos internos, protegendo os componentes internos do equipamento e permitindo um manuseio mais adequado.

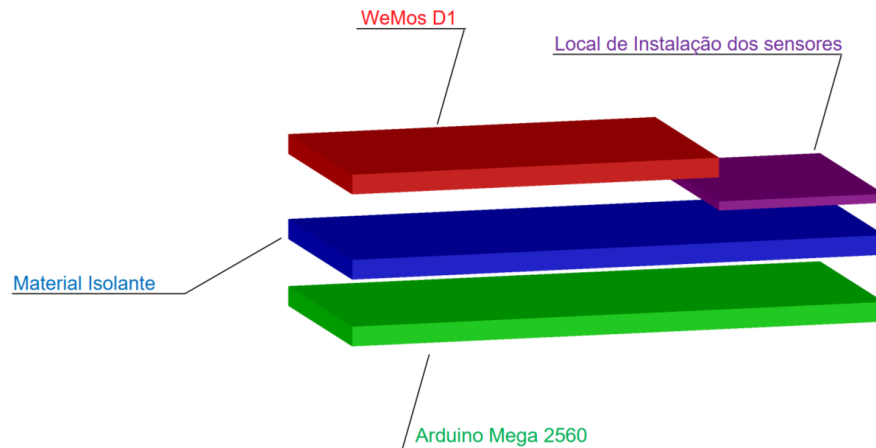
Na frente do equipamento estão presentes os bornes de alimentação dos microcontroladores, enquanto que a parte lateral permite a saída dos sensores elétricos. Como forma de deixar o medidor o menos invasivo possível em relação ao sistema elétrico local, foi optado por acoplar um plugue de tomada macho ao sensor de tensão, mesmo isso limitando o medidor, já que seria necessário algum ponto de tomada próximo além do que será utilizado para alimentar o equipamento.

Para deixar o equipamento compacto, os circuitos foram dispostos um abaixo do outro, de forma que a base de ambos estivesse separada por um material isolante, enquanto que os sensores foram dispostos no meio que excede o WeMos D1, mas que não excede o Arduino

¹ Ato de disponibilizar a plataforma gráfica na internet.

Mega, ou seja, todo o circuito interno seria limitado pela extensão do Arduino Mega. A Figura 15 a seguir representa a montagem interna do protótipo:

Figura 15 – Montagem interna do medidor

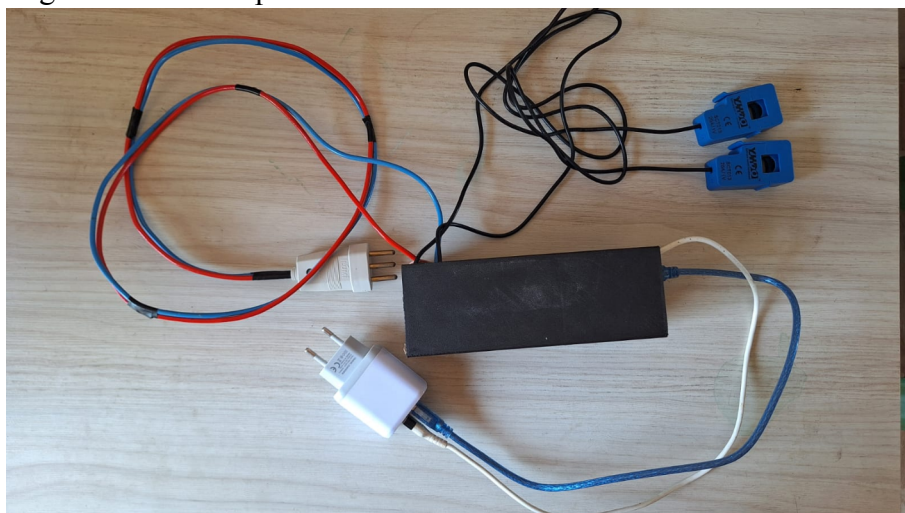


Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como mostra a Figura 15, o bloco verde representa o Arduino Mega, o bloco azul representa a base feita de material isolante para que não haja conexões indesejadas entre os componentes, o bloco vermelho representa do WeMos D1 e, por fim, o bloco roxo representa a área onde os sensores serão fisicamente instalados.

Após isso, todo o circuito foi disposto dentro de uma caixa externa isolante feita por meio de uma impressão 3D, de modo que nenhum dos componentes ficassem apoiados na base inferior ou superior da caixa externa. A Figura 16 a seguir apresenta o protótipo devidamente montado e pronto para uso.

Figura 16 – Protótipo devidamente montado



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 16 apresenta o protótipo devidamente montado e pronto para o uso. A parte frontal da caixa externa é por onde saem dois cabos, eles tem a função de alimentar os microcontroladores, enquanto que, na face lateral saem mais 4 cabos, os dois cabos pretos são os referentes aos sensores de corrente, já os outros são conectados ao sensor de tensão.

5.3 Comparativo com as alternativas presentes no mercado

Foi feito um levantamento do valor dos componentes separadamente, para que fosse possível analisar o menor preço possível de cada um deles. Nesse comparativo foi desconsiderado o frete de entrega, já que esse valor é muito volátil e depende muito da localização do comprador.

O levantamento dos valores foi realizado no mês de junho do ano de 2024, portanto, no momento em que o leitor está tendo acesso à esse trabalho, os valores dos produtos podem ter sofrido alterações. Além disso, foi considerado o menor valor do produto que possuía pelo menos uma avaliação, já que produtos sem avaliação não possuem muito respaldo nas compras.

O levantamento dos valores dos componentes pode ser visualizado na Tabela 2. Vale frisar que, para melhorar o comparativo dos valores, serão utilizados os valores pesquisados na referente data e não o valor real que foi gasto².

Tabela 2 – Levantamento dos valores dos componentes

Componente	Lojas			
	Shopee	Mercado Livre	AliExpress	Amazon
Arduino Mega 2560	US\$ 11,63	US\$ 20,42	US\$ 8,96	US\$ 20,15
WeMos D1	US\$ 3,12	US\$ 7,90	US\$ 1,84	US\$ 10,03
ZMPT101B	US\$ 2,10	US\$ 4,77	US\$ 0,92	US\$ 7,82
SCT-013-20	US\$ 7,27	US\$ 9,31	US\$ 1,37	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando a Tabela 2, os menores preços se encontram no site AliExpress, onde seria gasto um total de US\$ 14,46 para comprar os componentes principais do equipamento final. Frisando que esse valor seria referente apenas aos materiais, considerando como um produto comercial, o protótipo teria mais custos inclusos.

Foi feito também um levantamento dos valores e tipos de medidores inteligentes presentes no mercado. Levou-se em consideração apenas aqueles que apresentavam alguma espécie de comunicação remota com aparelhos móveis de modo a garantir o acompanhamento do consumo energético, o motivo dessa filtragem foi para que os equipamentos pesquisados mais

² Valores dados em dólar utilizando a taxa de câmbio Wise (2024) no dia 27/09/2024.

se assemelhassem ao protótipo desenvolvido neste trabalho. A seguir, na Tabela 3, é apresentado o levantamento realizado³, levando em consideração o modelo, valor⁴ e loja onde o produto foi anunciado, vale frisar que o custo do transporte não foi considerado na pesquisa:

Tabela 3 – Levantamento dos valores dos medidores disponíveis no mercado

Modelo	Loja	Valor
Namolit B0CRDYDXTY	Amazon	US\$ 34,41
KKMOON D52-2066	Ali Express	US\$ 18,09
CIADAZ ZLNPBRC78E24493-2TP	Amazon	US\$ 40,32
Tomzn DDS238-2 W	Mercado Livre	US\$ 73,42
Safiratec TY63A	Amazon	US\$ 49,67
meterk tongou Intelligent Energy Meter	Ali Express	US\$ 24,10

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentre os equipamentos pesquisados nas diferentes lojas online, foi encontrado um certo padrão, enquanto que os medidores na faixa de preço até US\$ 17,00 garantissem o seu devido funcionamento, eles não possuem a comunicação com a rede wifi, muito menos um aplicativo com o histórico de consumo para o acompanhamento, essa funcionalidade só viria com a faixa de preços mais elevada.

5.4 Equipamento instalado

O equipamento foi instalado próximo ao Quadro de Distribuição (QD) da residência do autor. Enquanto o sensor de tensão foi conectado à uma tomada próxima, junto à alimentação do medidor, foi feita uma adaptação no QD para que fosse possível a instalação dos sensores de corrente sem comprometer a tampa de proteção dos disjuntores. Na Figura 17 é representada a instalação do protótipo na residência do autor.

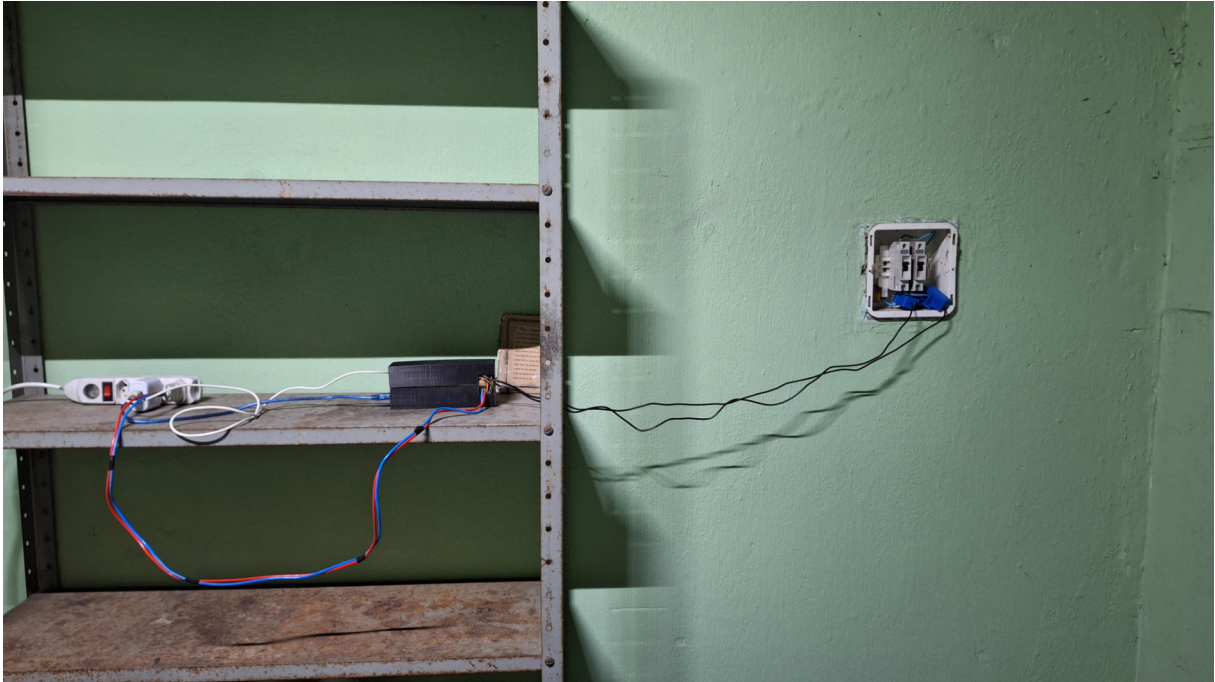
Para melhorar a leitura e acompanhamento dos dados, os gráficos da plataforma foram configurados para que fosse possível acompanhar o consumo individual de cada dia. Além disso, como forma de comprovar as leituras, foram registrados os valores diários de consumo mensurados pelo medidor residencial durante todo o período de teste.

Simultaneamente, os valores foram registrados pelo equipamento e salvos no banco de dados, onde podem ser acessados através da plataforma gráfica, onde podem ser visualizados na Figura 18 e os valores das taxas foram atualizados para condizerem com a fatura mais atual.

³ Pesquisa realizada em junho de 2024.

⁴ Valores dados em dólar utilizando a taxa de câmbio Wise (2024) no dia 27/09/2024.

Figura 17 – Protótipo em funcionamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Pela Figura 18, é visto que, durante o período de funcionamento, o equipamento registrou um total de 25,72 kWh de energia consumida, gerando um valor de R\$ 23,84⁵. Na Tabela 4 é feito o comparativo dos valores registrados pelo protótipo e pelo medidor residencial.

Figura 18 – Leitura realizada de todo o período



Fonte: Elaborado pelo autor.

⁵ Valores da TE e TUSD no mês de agosto de 2024 retirados da conta de energia da residência do autor foram, respectivamente, 0,35017 R\$/kWh e 057669 R\$/kWh.

Tabela 4 – Comparativo dos valores registrados

Dia da Semana	Registros diários (kWh)		Erro calculado	
	Medidor Residencial	Protótipo	Absoluto	Percentual
Dia 1	4	3,87	0,13	3%
Dia 2	4	3,33	0,67	17%
Dia 3	3	3,40	0,40	13%
Dia 4	4	3,87	0,13	3%
Dia 5	3	3,44	0,44	15%
Dia 6	4	4,17	0,14	4%
Dia 7	4	3,64	0,36	9%
Total semanal	26	25,72	0,28	1%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar de algumas leituras diárias apresentarem erros relativamente elevados, os dados registrados por ambos os equipamentos foram bastante próximos ao final do período de teste, com um erro percentual de apenas 1%. Isso ocorreu principalmente devido à diferença no método de registro de cada equipamento. Enquanto o medidor residencial é analógico e registra apenas valores inteiros, o protótipo desenvolvido é digital e registra até duas casas decimais, aumentando a precisão. Portanto, quanto maior o período de teste, melhor será a comparação de valores entre os aparelhos, visto que as casas decimais se tornam menos relevantes. Em resumo, o protótipo desenvolvido é capaz de registrar e simular valores utilizados pela concessionária para a cobrança do consumo energético da residência.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho apresentou um projeto de um medidor inteligente residencial para o monitoramento do consumo energético em residências. O protótipo integra diferentes componentes de hardware e software, resultando em um equipamento funcional e de baixo custo. Este projeto está alinhado com a necessidade de um controle mais eficiente do consumo de energia conforme às tendências atuais de sustentabilidade e eficiência energética.

O medidor mostrou-se preciso no monitoramento do consumo energético de uma residência, possibilitando que o consumidor analise o consumo a partir de uma interface web. A implementação de testes de calibragem e a avaliação de desempenho do equipamento confirmaram sua viabilidade e relevância no contexto atual, onde a eficiência energética é uma preocupação crescente. A plataforma web interativa desenvolvida para o acompanhamento do consumo energético se mostrou uma ferramenta valiosa, proporcionando aos usuários uma interface amigável e acessível para a visualização de dados em tempo real.

Ao disponibilizar informações detalhadas sobre o consumo, o medidor inteligente pode incentivar práticas mais sustentáveis e a adoção de hábitos que visem a redução do desperdício energético. Essa abordagem não apenas beneficia o consumidor individual, mas também contribui para a diminuição da demanda geral por energia, impactando positivamente o meio ambiente.

De todo modo, o equipamento se mostrou de fácil instalação, visto que não foi necessário abrir a rede residencial local para registrar os valores elétricos, mesmo tendo a necessidade de haver algum ponto de tomada próximo ao lugar de instalação do aparelho.

Este trabalho apresenta um produto inovador e também abre espaço para discussões mais amplas sobre o papel da tecnologia na gestão de recursos energéticos. A construção do medidor inteligente residencial representa um passo importante na busca por soluções que promovam a eficiência energética e a sustentabilidade, e espera-se que inspire novas iniciativas e pesquisas na área.

6.1 Sugestões de trabalhos futuros

Este tópico é destinado à apresentar algumas sugestões de trabalhos futuros que podem ser feitos tomando de base o presente documento:

- Criar um aplicativo para celular para funcionar como plataforma gráfica, tornando a

plataforma gráfica ainda mais versátil e de fácil acesso;

- Utilizar outro(s) microcontrolador(es) no hardware do equipamento, alterando o valor e as dimensões do equipamento final;
- Fazer um estudo a respeito dos impactos que os medidores inteligentes podem trazer na vida do consumidor residencial, por ser possível estimar com melhor precisão o consumo energético, é também possível determinar a demanda da residência;
- Utilizar outros componentes para substituir os sensores atuais , utilizando um transformador de potencial como sensor de tensão ou então optando por instalar um sensor de corrente com uma capacidade maior;
- Adaptar o medidor para realizar outros tipos de leituras, possibilitando a determinação do fator de potência e também o registro de algumas falhas no circuito elétrico;
- Adaptar o medidor para se comportar como um medidor bidirecional presente em sistemas fotovoltaicos, indentificando as diferenças entre a energia injetada na rede da concessionária e a energia consumida pela residência;
- Incluir componentes de controle, como relés, para ser possível abrir e fechar circuitos de forma remota, funcionando como uma proteção extra no sistema;
- Incluir sistemas de proteção no software do equipamento para proteger os dados pessoais do usuário;
- Adaptar o projeto para calcular a fatura de uma forma mais precisa considerando todos os impostos aplicados.

REFERÊNCIAS

- AMAZON Web Services (AWS). 2024. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/>>. Acessado em: 30 de abr. 2024.
- ARDUINO IDE. 2024. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>>. Acessado em: 30 de abr. 2024.
- ARDUINO Mega 2560 - Rev3. 2020. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>>. Acesso em 27 de fev. de 2024.
- AUDIÊNCIAS Públicas Antigas. 2024. Disponível em: <https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/audiencias-publicas-antigas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_idDocumento=31756&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=/html/pp/visualizar.jsp>. Acesso em: 27 set. 2024.
- BREDA, J. F. D.; MEDEIROS, J. M.; ARAUJO, J. V. G. Desenvolvimento de um medidor de consumo de energia elétrica em tempo real por meio de medidor não invasivo de corrente utilizando a plataforma arduino. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Janaúba, Minas Gerais, 2019.
- BRITO, J. L. G. **Sistema para monitoramento de consumo de energia elétrica particular, em tempo real e não invasivo utilizando a tecnologia Arduino**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, 2016.
- COLLABORATIVE data science. Montreal, QC: Plotly Technologies Inc., 2015. Disponível em: <<https://plot.ly>>. Acesso: 30 de abr. 2024.
- CONHEÇA as 4 grandezas elétricas básicas. 2024. Disponível em: <[https://embrasul.com.br/conheca-as-4-grandezas-eletricas-basicas/#:~:text=Grandezas%20el%C3%A9tricas%20e%20f%C3%B3rmulas&text=F%C3%B3rmula%20da%20Tens%C3%A3o%20El%C3%A9trica%3A,pot%C3%Aância%20dividida%20pela%20corrente\)%3B](https://embrasul.com.br/conheca-as-4-grandezas-eletricas-basicas/#:~:text=Grandezas%20el%C3%A9tricas%20e%20f%C3%B3rmulas&text=F%C3%B3rmula%20da%20Tens%C3%A3o%20El%C3%A9trica%3A,pot%C3%Aância%20dividida%20pela%20corrente)%3B)>. Acessado em: 27 de set. de 2024.
- CONTA de luz deve subir em média 5,6% em 2024, projeta Aneel. 2024. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/noticias/estadao-conteudo/2024/01/23/conta-de-luz-deve-subir-em-media-56-em-2024-projeta-aneel.htm>>. Acesso em 20 de fev. de 2024.
- DO You Know the History of the Development of Watt-Hour Meter? 2020. Disponível em: <<https://pt.reallinmeter.com/news/do-you-know-the-history-of-the-development-of-30781567.html>>. Acesso: 31 de mar. de 2024.
- EMONLIB. 2010. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/emonlib/>>. Acesso: 30 de abr. 2024.
- ENTENDENDO sua conta de luz: diferença entre TE e TUSD. 2023. Disponível em: <<https://criteriaenergia.com.br/te-tusd-conta-de-luz/#:~:text=O%20termo%20%E2%80%9CCTE%E2%80%9D%20refere%2D,resid%C3%Aância%20por%20meio%20dos%20postes.>>. Acesso em: 12 mai. 2024.

ESP8266HTTPCLIENT. 2015. Disponível em: <<https://github.com/esp8266/Arduino/blob/master/libraries/ESP8266HTTPClient/src/ESP8266HTTPClient.h>>. Acesso: 30 de abr. 2024.

ESP8266WIFI. 2015. Disponível em: <<https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/esp8266wifi/readme.html>>. Acesso: 30 de abr. 2024.

FRIGO, O. A. M. **Projeto de um Medidor Inteligente para Monitoramento do Consumo de Energia**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, Minas Gerais, 2019.

LIMA, A. C. e. a. Resencontrol: Um sistema de monitoramento de consumo de energia elétrica residencial em tempo real. Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, 2020.

MCKINNEY, W. **pandas**. 2008. Disponível em: <<https://pandas.pydata.org/>>. Acesso: 30 de abr. 2024.

MEDIDOR de Energia Elétrica. 2022. Disponível em: <<https://blog.novaeletronica.com.br/medidor-de-energia-eletrica/>>. Acesso: 31 de mar. de 2024.

MEDIDORES Inteligentes. 2021. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/atendimento/medidores-inteligentes/>>. Acessado em: 29 de abr. 2024.

MOTTER, G. G.; FRANÇA, M. B. M. Proposta de medidor inteligente para consumo e qualidade de energia. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, 2020.

NUNES, A. C. **Desenvolvimento de um Controlador de Demanda de Energia Elétrica Residencial**. Monografia – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Monografia submetida ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos. Professor Orientador: Charles Borges de Lima, Dr. Eng.

O que é tarifa de energia e como ela é calculada na conta de luz. 2024. Disponível em: <<https://cpflsolucoes.com.br/o-que-e-tarifa-de-energia-e-como-ela-e-calculada-na-conta-de-luz/>>. Acesso em: 27 set. 2024.

PINTO FILHO, T. L. M. **Medidor Eletrônico de Energia Elétrica Bidirecional Não-Invasivo**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2019.

PLOTLY Express. [S. l.]: Plotly Technologies Inc., 2021. Disponível em: <<https://plotly.com/python/plotly-express/>>. Acesso: 30 de abr. 2024.

POSTGRESQL: The World's Most Advanced Open Source Relational Database. 2024. Disponível em: <<https://www.postgresql.org/>>. Acesso: 27 de set. 2024.

SCHULER, R. **Sistema de Monitoramento de Consumo de Energia Elétrica para Circuitos Monofásicos de Baixa Tensão**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Vale do Taquari, Lajeado, Rio Grande do Sul, 2020.

SENSOR Corrente Não Invasivo 20A AC - SCT-013-020. 2022. Disponível em: <<https://curtocircuito.com.br/sensor-corrente-nao-invasivo-20a-ac-sct-013-020.html>>. Acesso: 02 de mar. de 2024.

SENSOR de Tensão AC Zmpt101b / Voltímetro Arduino. 2019. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-tensao-arduino/sensor-de-tensao-ac-zmpt101b-voltimetro-arduino-5658.html>>. Acesso: 02 de mar. de 2024.

SILVA, R. G. **UM ESTUDO SOBRE MEDIDORES INTELIGENTES DE ENERGIA**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, 2021.

SOTO, C.; ARYE, M.; ORTIZ, D. **Real-Time Analytics in Postgres**. 2024. Disponível em: <<https://www.timescale.com/learn/real-time-analytics-in-postgres>>. Acessado em: 27 set. 2024.

STREAMLIT. 2024. Disponível em: <<https://www.streamlit.io/>>. Acessado em: 30 de abr. 2024.

STREAMLIT — A fast, easy way to create data apps. [S. l.]: GitHub, 2020. Disponível em: <<https://github.com/streamlit/streamlit>>. Acesso: 30 de abr. 2024.

SUPABASE. **supabase_py**. 2021. Disponível em: <<https://github.com/supabase-community/supabase-py>>. Acesso: 30 de abr. 2024.

SUPABASE. 2024. Disponível em: <<https://www.supabase.io/>>. Acessado em: 30 de abr. 2024.

WEMOS D1 ESP8266 - Wi-Fi UNO R3. 2022. Disponível em: <<https://curtocircuito.com.br/sensor-corrente-nao-invasivo-20a-ac-sct-013-020.html>>. Acesso: 02 de mar. de 2024.

WISE. **Taxa de câmbio de Wise**. 2024. Disponível em: <<https://wise.com/br/compare/wise-exchange-rate>>. Acessado em: 27 set. 2024.

APÊNDICE A – CÓDIGO DA PLATAFORMA GRÁFICA

Código-fonte 1 – Código da Plataforma Gráfica

```

1 from supabase_py import create_client
2 import pandas as pd
3 import streamlit as st
4 import plotly.express as px
5
6 API_URL = 'URL_DO_BANCO_DE_DADOS '
7 API_KEY = 'CHAVE_DE_ACESSO '
8 supabase = create_client ( API_URL , API_KEY )
9
10 # Configurar a página do Streamlit
11 st.set_page_config ( page_title = " Medidor Residencial " , layout
    = ' wide ' )
12
13 # Barra lateral para inserção de dados
14 st.sidebar.title ( ' Insira os valores das Tarifas ' )
15 te = st.sidebar.number_input ( " Taxa TE " , step = 0.00001 ,
    format = " %.5 f " )
16 tusd = st.sidebar.number_input ( " Taxa TUSD " , step = 0.00001 ,
    format = " %.5 f " )
17
18 # Linha de separação entre as seções
19 st.sidebar.markdown ( " --- " )
20
21 # Função para carregar dados usando paginação
22 def load_data () :
23     offset = 0
24     limit = 1000
25     data = []
26

```

```

27 while True :
28     response = supabase . table ( ' TABELA_UTILIZADA ' ) .
        select ( '*' ) . range ( offset , offset + limit - 1 ) .
        execute ()
29     batch = response . get ( ' data ' )
30
31     if not batch :
32         break
33
34     data . extend ( batch )
35     offset += limit
36
37     return data
38
39 # Carregar os dados do Supabase com paginação
40 data = load_data ()
41
42 if data :
43     df = pd . DataFrame ( data )
44
45     # Formatar coluna ' created_at '
46     df [ ' created_at ' ] = pd . to_datetime ( df [ ' created_at ' ])
47
48     # Extrair data e hora
49     df [ ' date ' ] = df [ ' created_at ']. dt . date
50     df [ ' time ' ] = df [ ' created_at ']. dt . time
51     df [ ' tempo_de_leitura ' ] = df [ ' created_at ']. dt . strftime ( '
        %Y-%m-%dH:%M:%S ' )
52
53     # Itimos valores
54     last_value_vrms = df [ ' vrms ']. iloc [ -1]
55     last_value_irms_1 = df [ ' irms_1 ']. iloc [ -1]

```

```

56 last_value_irms_2      = df [ ' irms_2 '].iloc [ -1]
57 last_value_consumo_1   = df [ ' consumo_1 '].iloc [ -1]
58 last_value_consumo_2   = df [ ' consumo_2 '].iloc [ -1]
59 last_value_total_consumo      = df [ ' consumo_total '].iloc [ -1]
60
61 # Calcular o valor da fatura
62 fatura = total_consumo * ( te + tUSD )
63
64 # Mostrar ltimos valores na barra lateral
65 st . sidebar . title ( " Dados de Consumo " )
66 st . sidebar . write ( f " Consumo instantneo: {
        last_value_consumo_1 :.2 f } Ws " )
67 st . sidebar . write ( f " Consumo instantneo: {
        last_value_consumo_2 :.2 f } Ws " )
68 st . sidebar . write ( f " Consumo total acumulado : {
        total_consumo :.2 f } kWh " )
69 st . sidebar . write ( f " Valor atual da fatura : R$ { fatura :.2
        f } " )
70
71 # Linha de separação
72 st . sidebar . markdown ( " ---" )
73
74 st . sidebar . title ( " Dados Eltricos dos Circuitos " )
75 st . sidebar . write ( f " Tensão : { last_value_vrms :.2 f } V" )
76 st . sidebar . write ( f " Corrente no circuito 1: {
        last_value_irms_1 :.2 f } mA " )
77 st . sidebar . write ( f " Corrente no circuito 2: {
        last_value_irms_2 :.2 f } mA " )
78
79
80 # Dividir a página em duas colunas para os gráficos
81 col1 , col2 = st . columns (2)

```

```

82
83 # G r f i c o  para  consumo_1
84 with col1 :
85     st . markdown ( ' ##Consumo 1 ' )
86     qtde_dias_1  = st . selectbox ( " Selecione  o intervalo
      de dados para o g r f i c o  de Consumo 1 " , [
87         " Dia  1 " , " Dia  2 " , " Dia  3 " , " Dia  4 " , " Dia  5 " , "
          Dia  6 " , " Dia  7 " , " Todos "
88     ] )
89     if  qtde_dias_1  == " Todos " :
90         dados_grafico_1  = df
91     elif  qtde_dias_1  == " Dia  1 " :
92         dados_grafico_1  = df . iloc [0:5516]
93     elif  qtde_dias_1  == " Dia  2 " :
94         dados_grafico_1  = df . iloc [5516:11032]
95     elif  qtde_dias_1  == " Dia  3 " :
96         dados_grafico_1  = df . iloc [11032:16548]
97     elif  qtde_dias_1  == " Dia  4 " :
98         dados_grafico_1  = df . iloc [16548:22064]
99     elif  qtde_dias_1  == " Dia  5 " :
100        dados_grafico_1  = df . iloc [22064:27580]
101    elif  qtde_dias_1  == " Dia  6 " :
102        dados_grafico_1  = df . iloc [27580:33096]
103    elif  qtde_dias_1  == " Dia  7 " :
104        dados_grafico_1  = df . iloc [33096:38612]
105    fig_consumo_1  = px . line ( dados_grafico_1 ,  x = "
        tempo_de_leitura " ,  y = " consumo_1 " , title = ' ' ,
        markers = True )
106    fig_consumo_1 . update_layout ( yaxis_title = " Consumo    1
        ( kWh ) " )
107    fig_consumo_1 . update_traces ( line = dict ( color = "
        turquoise " ) )

```

```

108         st . plotly_chart ( fig_consumo_1 ,      use_container_width =
           True )

109
110     # G r f i c o  para  consumo_2
111     with col2 :
112         st . markdown ( ' ###Consumo 2 ' )
113         qtde_dias_2  = st . selectbox ( " Selecione  o intervalo
           de dados para o g r f i c o de Consumo 2 " , [
114             " Dia  1 " , " Dia  2 " , " Dia  3 " , " Dia  4 " , " Dia  5 " , "
           Dia  6 " , " Dia  7 " , " Todos "
115         ])
116         if  qtde_dias_2  == " Todos " :
117             dados_grafico_2  = df
118         elif  qtde_dias_2  == " Dia  1 " :
119             dados_grafico_2  = df . iloc [0:5516]
120         elif  qtde_dias_2  == " Dia  2 " :
121             dados_grafico_2  = df . iloc [5516:11032]
122         elif  qtde_dias_2  == " Dia  3 " :
123             dados_grafico_2  = df . iloc [11032:16548]
124         elif  qtde_dias_2  == " Dia  4 " :
125             dados_grafico_2  = df . iloc [16548:22064]
126         elif  qtde_dias_2  == " Dia  5 " :
127             dados_grafico_2  = df . iloc [22064:27580]
128         elif  qtde_dias_2  == " Dia  6 " :
129             dados_grafico_2  = df . iloc [27580:33096]
130         elif  qtde_dias_2  == " Dia  7 " :
131             dados_grafico_2  = df . iloc [33096:38612]
132         fig_consumo_2  = px . line ( dados_grafico_2 ,      x = "
           tempo_de_leitura " ,      y = " consumo_2 " , title = ' ' ,
           markers = True )
133         fig_consumo_2 . update_layout ( yaxis_title = " Consumo      2
           ( kWh ) " )

```

```
134         fig_consumo_2 . update_traces ( line = dict ( color = "  
            royalblue " ) )  
135         st . plotly_chart ( fig_consumo_2 ,      use_container_width =  
            True )  
136  
137     else :  
138         st . error ( " Erro  ao obter  dados do Supabase " )
```

APÊNDICE B – CÓDIGO PARA A COMUNICAÇÃO COM O BANCO DE DADOS

Código-fonte 2 – Código para a Comunicação com o Banco de Dados

```

1  # include < ESP8266WiFi .h >
2  # include < WiFiClientSecure .h >
3  # include < ESP8266HTTPClient .h >
4
5  // Conectando com a rede Wifi local
6  const char* ssid      = " NOME_DA_REDE ";
7  const char* password  = " SENHA_DA_REDE ";
8
9  // Conectando com o Supabase
10 String  API_URL  = " URL_DO_BANCO_DE_DADOS ";
11 String  API_KEY  = " CHAVE_DE_ACESSO ";
12 String  TableName = " TABELA_UTILIZADA ";
13 const int  httpsPort  = 443;
14
15 // Definindo as variaveis
16 String  Vrms = " ", consumo_1 = " ", consumo_2 = " ", lrms_1 =
    " ", lrms_2 = " ", consumo_total = " ";
17 int  tempo_leitura  = 15000;
18
19 HTTPClient  https ;
20 WiFiClientSecure  client ;
21
22 void  setup () {
23     // builtin led is used to indicate when a message is
        being sent
24     pinMode ( LED_BUILTIN , OUTPUT ) ;
25     digitalWrite ( LED_BUILTIN , HIGH ); // the builtin LED is
        wired backwards HIGH turns it off
26

```

```

27 // HTTPS is used without checking credentials
28 client . setInsecure () ;
29
30 // Connect to the WIFI
31 Serial . begin (9600) ;
32
33 Serial . print ( " Connecting    to " ) ;
34 Serial . println ( ssid ) ;
35 WiFi . begin ( ssid , password ) ;
36 while ( WiFi . status () != WL_CONNECTED {
37     delay (500) ;
38     Serial . print ( " . " ) ;
39 }
40
41 // Print local IP address
42 Serial . println ( " " ) ;
43 Serial . println ( " WiFi    connected . " ) ;
44 Serial . println ( " IP      address : " ) ;
45 Serial . println ( WiFi . localIP () ) ;
46 }
47
48 void loop () {
49
50     // O código principal entrará em ação assim que a conexão
        com a internet for realizada
51     if ( WiFi . status () == WL_CONNECTED {
52         digitalWrite ( LED_BUILTIN , LOW ) ;// LOW turns ON
53
54         // Recebendo os dados do Arduino
55         while ( Serial . available () ) {
56             String data = Serial . readStringUntil ( '\n' ) ;
57             if ( data . startsWith ( " Vrms : " ) ) Vrms = data . substring

```

```

        (5) ;
58     else if ( data . startsWith ( " Irms_1 : " ) ) Irms_1 = data .
        substring (7) ;
59     else if ( data . startsWith ( " Irms_2 : " ) ) Irms_2 = data .
        substring (7) ;
60     else if ( data . startsWith ( " Consumo_1 : " ) ) consumo_1 =
        data . substring (10) ;
61     else if ( data . startsWith ( " Consumo_2 : " ) ) consumo_2 =
        data . substring (10) ;
62     else if ( data . startsWith ( " Consumo_Total : " ) )
        consumo_total = data . substring (14) ;
63 }
64
65 // Verificando se todas as variáveis foram preenchidas
66 if (! Vrms . isEmpty () && ! Irms_1 . isEmpty () && ! Irms_2 .
    isEmpty () && ! consumo_1 . isEmpty () && ! consumo_2 .
    isEmpty () ) {
67     // Enviando os dados para o Supabase
68     if ( https . begin ( client , API_URL + " / rest / v1 / " + TableName ) )
        {
69         https . addHeader ( " Content - Type " , " application / json " )
            ;
70         https . addHeader ( " Prefer " , " return = representation " ) ;
71         https . addHeader ( " apikey " , API_KEY ) ;
72         https . addHeader ( " Authorization " , " Bearer " +
            API_KEY ) ;
73         int httpCode = https . POST ( " {" vrms \": " + Vrms + "
            ,\" irms_1 \": " + Irms_1 + " ,\" irms_2 \": " + Irms_2 +
            " ,\" consumo_1 \": " + consumo_1 + " ,\" consumo_2 \": "
            + consumo_2 + " ,\" consumo_total \": " +
            consumo_total + " } " ) ; // Send the request
74         String payload = https . getString () ;

```

```
75         Serial . println ( httpCode ) ;           // Print   HTTP return
           code
76         Serial . println ( payload ) ;           // Print   request
           response payload
77         https . end ( ) ;
78     }
79     else {
80         Serial . println ( " Error      in  HTTP client  setup " ) ;
81     }
82 } else {
83     Serial . println ( " Existem    variaveis    vazias ! " ) ;
84 }
85 digitalWrite ( LED_BUILTIN ,    HIGH ) ; //   HIGH turns   off
86 } else {
87     Serial . println ( " Erro      na conexao Wifi " ) ;
88 }
89
90 //   Pausando o codigo   por 15 segundos
91 delay ( tempo_leitura ) ;
92 }
```

APÊNDICE C – CÓDIGO PARA MEDIÇÃO DE GRANDEZAS ELÉTRICAS

Código-fonte 3 – Código para Medição de Grandezas Elétricas

```

1 // Incluindo a biblioteca
2 #include "EmonLib . h "
3
4 // Definindo as funcoes de calculo das grandezas eletricas
5 EnergyMonitor emon1 ;
6 EnergyMonitor emon2 ;
7 EnergyMonitor emon3 ;
8
9 // Definindo das variaveis de calibragem
10 #define VOLT_CAL 590
11 #define CURRENT_CAL1 18.5
12 #define CURRENT_CAL2 18.5
13
14 // Definindo as variaveis
15 float Vrms = 0 , consumo_1 = 0, consumo_acm_1 = 0 , consumo_2
    = 0 , consumo_acm_2 = 0;
16 double Irms_1 = 0 , Irms_2 = 0 , consumo_total = 0;
17 int K = 15/3600000;
18
19 // Definindo as portas dos sensores
20 const int ST = A0 , SC1 = A1 , SC2 = A2 ;
21
22 void setup () {
23     Serial . begin (9600) ;
24     emon1 . voltage ( ST ,VOLT_CAL , 1.7) ;
25     emon2 . current ( SC1 ,CURRENT_CAL1 ) ;
26     emon3 . current ( SC2 ,CURRENT_CAL2 ) ;
27 }
28

```

```

29 void loop () {
30     // Calculando as Grandezas Eletricas
31     emon1 . calcVI (17 , 2000) ;
32     Vrms = emon1 . Vrms ;           // Tensao da Residencia
        em V
33     Irms_1  = 0.589* emon2 . calcIrms (1480) *1000;    // Corrente
        no Circuito 1 em mA
34     Irms_2  = 0.453* emon3 . calcIrms (1480) *1000;    // Corrente
        no Circuito 2 em mA
35
36     // Calculando os Consumos Instantaneos
37     consumo_acm_1 = 0;
38     consumo_acm_2 = 0;
39     for ( int  cont  = 0; cont <15; cont ++ ) {
40         consumo_acm_1 = abs ( Vrms * Irms_1 ) /1000+ consumo_acm_1 ;
            // Consumo Instantaneo do
            Circuito 1 em Ws
41         consumo_acm_2 = abs ( Vrms * Irms_2 ) /1000+ consumo_acm_2 ;
            // Consumo Instantaneo do
            Circuito 2 em Ws
42         delay (1000) ; // Pausa o codigo por 1 segundo
43     }
44     consumo_1 = consumo_acm_1 /15;           //
        Consumo Instantaneo m d i o do Circuito 1 em Ws
45     consumo_2 = consumo_acm_2 /15;           //
        Consumo Instantaneo m d i o do Circuito 2 em Ws
46     consumo_total  = K *( consumo_1 + consumo_2 ) + consumo_total
        ; // Consumo Acumulado em kWh
47
48     if ( Vrms != 0 && Irms_1  != 0 && Irms_2  != 0 && consumo_1
        != 0 && consumo_2 != 0 ) {
49         // Enviando os dados pro D1

```

```
50 Serial . print ( " Vrms : " ) ;   Serial . println ( Vrms ) ;
51 Serial . print ( " Irms_1 : " ) ;   Serial . println ( Irms_1 ) ;
52 Serial . print ( " Irms_2 : " ) ;   Serial . println ( Irms_2 ) ;
53 Serial . print ( " Consumo_1 : " ) ;   Serial . println ( consumo_1 ) ;
54 Serial . print ( " Consumo_2 : " ) ;   Serial . println ( consumo_2 ) ;
55 Serial . print ( " Consumo_Total : " ) ;   Serial . println (
    consumo_total ) ;
56 } else {
57     Serial . println ( " Erro :   V a r i v e i s vazias " ) ;
58 }
59 }
```


ANEXO A – DATASHEET LINHA SCT-013

0.333V Split core current transformer



model SCT013

Characteristics

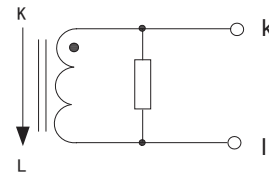
Split core 0.333V output Built-in with sampling resistance
leading wire 1 metre, standard $\Phi 3.5$ three core plug output,
Patent no. ZL 2015 3 0060067.X



Technical index

Suspended mounting, output with cable
Operation temperature -25+70
Storage temperature -30+90
work voltage $\leq 660V$
Work frequency 50Hz-1KHz
Dielectric strength 3.5KV 50Hz 1min

Wiring schematic



Voltage output type Built-in with sampling resistance
Voltage output type not allowed secondary short circuit.
When the plug without audio frequency,
the white line is the end of the same name

Technical Parameters table

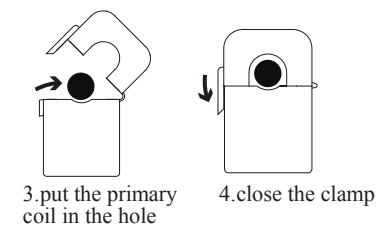
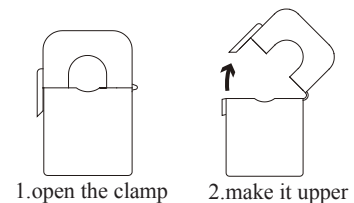
Rated Input(Effective value)	20	30	50	80	100	A
measurement range	20%	~120%				A
Rated output	0.333					V
Accuracy	1					%
Linearity	1					%
frequency	50	~1K				Hz
weight	50					g

Order Format

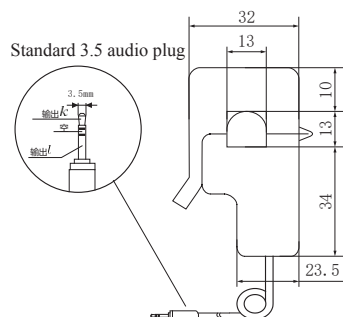
SCT013 /xxA / 0.333V/1%

Noted The rated current $\leq 100A$ are the standard product

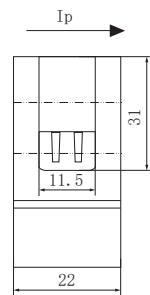
Primary coil through hole method



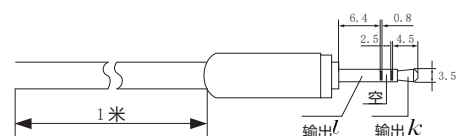
Outline size (in:mm)



Front view



Side view



Standard three core plug schematic diagram

ANEXO B – DATASHEET ADS1115



ADS1113
ADS1114
ADS1115

www.ti.com

SBAS444B –MAY 2009–REVISED OCTOBER 2009

Ultra-Small, Low-Power, 16-Bit Analog-to-Digital Converter with Internal Reference

Check for Samples: [ADS1113](#) [ADS1114](#) [ADS1115](#)

FEATURES

- **ULTRA-SMALL QFN PACKAGE:**
2mm × 1.5mm × 0.4mm
- **WIDE SUPPLY RANGE:** 2.0V to 5.5V
- **LOW CURRENT CONSUMPTION:**
Continuous Mode: Only 150µA
Single-Shot Mode: Auto Shut-Down
- **PROGRAMMABLE DATA RATE:**
8SPS to 860SPS
- **INTERNAL LOW-DRIFT
VOLTAGE REFERENCE**
- **INTERNAL OSCILLATOR**
- **INTERNAL PGA**
- **I²C™ INTERFACE:** Pin-Selectable Addresses
- **FOUR SINGLE-ENDED OR TWO
DIFFERENTIAL INPUTS (ADS1115)**
- **PROGRAMMABLE COMPARATOR**
(ADS1114 and ADS1115)

APPLICATIONS

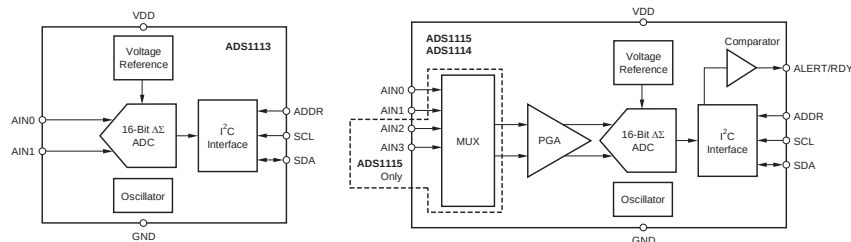
- **PORTABLE INSTRUMENTATION**
- **CONSUMER GOODS**
- **BATTERY MONITORING**
- **TEMPERATURE MEASUREMENT**
- **FACTORY AUTOMATION AND PROCESS
CONTROLS**

DESCRIPTION

The ADS1113, ADS1114, and ADS1115 are precision analog-to-digital converters (ADCs) with 16 bits of resolution offered in an ultra-small, leadless QFN-10 package or an MSOP-10 package. The ADS1113/4/5 are designed with precision, power, and ease of implementation in mind. The ADS1113/4/5 feature an onboard reference and oscillator. Data are transferred via an I²C-compatible serial interface; four I²C slave addresses can be selected. The ADS1113/4/5 operate from a single power supply ranging from 2.0V to 5.5V.

The ADS1113/4/5 can perform conversions at rates up to 860 samples per second (SPS). An onboard PGA is available on the ADS1114 and ADS1115 that offers input ranges from the supply to as low as ±256mV, allowing both large and small signals to be measured with high resolution. The ADS1115 also features an input multiplexer (MUX) that provides two differential or four single-ended inputs.

The ADS1113/4/5 operate either in continuous conversion mode or a single-shot mode that automatically powers down after a conversion and greatly reduces current consumption during idle periods. The ADS1113/4/5 are specified from –40°C to +125°C.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

I²C is a trademark of NXP Semiconductors.

All other trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

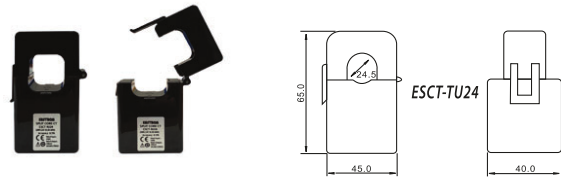
Copyright © 2009, Texas Instruments Incorporated

ANEXO C – DATASHEET LINHA ESCT-TU

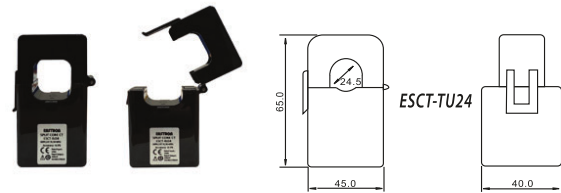

ESCT Split Core
 Current transformers

ESCT-TU 16

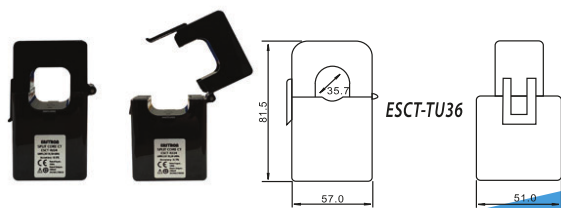
Product Codes	Primary Current	Accuracy Class	Aperture (WXH)
ESCT-TU16-5/100mV	5A	0.5	16mm ø
ESCT-TU16-10/100mV	10A	0.5	16mm ø
ESCT-TU16-50/100mV	50A	0.5	16mm ø
ESCT-TU16-100/100mV	100A	0.5	16mm ø
ESCT-TU16-150/100mV	150A	0.5	16mm ø


ESCT-TU 24

Product Codes	Primary Current	Accuracy Class	Aperture (WXH)
ESCT-TU24-10/100mV	10A	0.5	24mm ø
ESCT-TU24-50/100mV	50A	0.5	24mm ø
ESCT-TU24-100/100mV	100A	0.5	24mm ø
ESCT-TU24-250/100mV	250A	0.5	24mm ø
ESCT-TU24-300/100mV	300A	0.5	24mm ø


ESCT-TU 36

Product Codes	Primary Current	Accuracy Class	Aperture (WXH)
ESCT-TU36-20/100mV	20A	0.5	36mm ø
ESCT-TU36-100/100mV	100A	0.5	36mm ø
ESCT-TU36-250/100mV	250A	0.5	36mm ø
ESCT-TU36-400/100mV	400A	0.5	36mm ø
ESCT-TU36-600/100mV	600A	0.5	36mm ø



For more information on these products, please contact our sales team on 0203 758 3494 or email sales@eastroneurope.com
www.eastroneurope.com

ANEXO D – DATASHEET CONVERTOR A/D MCP3909



MCP3909

Energy Metering IC with SPI Interface and Active Power Pulse Output

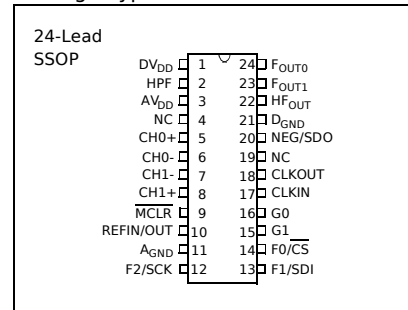
Features

- Supports IEC 62053 International Energy Metering Specification
- Digital Waveform Data Access Through SPI Interface
 - 16-bit Dual ADC Output Data Words
 - 20-bit Multiplier Output Data Word
- Dual Functionality Pins Support Serial Interface Access and Simultaneous Active Power Pulse Output
- Two 16-bit Second Order Delta-sigma Analog-to-Digital Converters (ADCs) with Multi-bit DAC
 - 81 dB SINAD (typical) on Both Channels
- 0.1% Typical Active Energy Measurement Error Over 1000:1 Dynamic Range
- PGA for Small Signal Input Supports Low Value Shunt Current Sensor
- Ultra-low Drift On-chip Reference, 15 ppm/°C (typical)
- Direct Drive for Electromagnetic Mechanical Counter and Two-phase Stepper Motors
- Low I_D of 4 mA (maximum)
- Tamper Output Pin for Negative Power Indication
- Temperature Ranges:
 - Industrial: -40°C to +85°C
 - Extended: -40°C to +125°C

Description

The MCP3909 device is an energy-metering IC designed to support the IEC 62053 international metering standard specification. It supplies a frequency output proportional to the average active real power, with simultaneous serial access to ADC channels and multiplier output data. This output waveform data is available at up to 14 kHz with 16-bit ADC output and 20-bit multiplier output words. The 16-bit, delta-sigma ADCs allow for a wide range of I_{MAX} currents and/or small shunt (<200 μ Ohms) meter designs. A no-load threshold block prevents any current creep measurements for the active power pulse outputs. The integrated on-chip voltage reference has an ultra-low temperature drift of 15 ppm per degree C. This accurate energy metering IC with high field reliability is available in the industry standard 24-lead SSOP pinout.

Package Type



ANEXO E – DATASHEET LINHA STM32F407



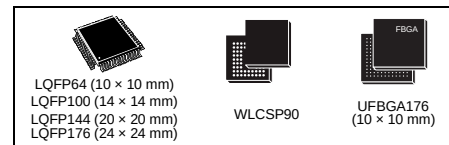
STM32F405xx STM32F407xx

ARM Cortex-M4 32b MCU+FPU, 210DMIPS, up to 1MB Flash/192+4KB RAM,
USB OTG HS/FS, Ethernet, 17 TIMs, 3 ADCs, 15 comm. interfaces & camera

Features

- Core: ARM 32-bit Cortex™-M4 CPU with FPU, Adaptive real-time accelerator (ART Accelerator™) allowing 0-wait state execution from Flash memory, frequency up to 168 MHz, memory protection unit, 210 DMIPS/1.25 DMIPS/MHz (Dhystone 2.1), and DSP instructions
- Memories
 - Up to 1 Mbyte of Flash memory
 - Up to 192+4 Kbytes of SRAM including 64-Kbyte of CCM (core coupled memory) data RAM
 - Flexible static memory controller supporting Compact Flash, SRAM, PSRAM, NOR and NAND memories
- LCD parallel interface, 8080/6800 modes
- Clock, reset and supply management
 - 1.8 V to 3.6 V application supply and I/Os
 - POR, PDR, PVD and BOR
 - 4-to-26 MHz crystal oscillator
 - Internal 16 MHz factory-trimmed RC (1% accuracy)
 - 32 kHz oscillator for RTC with calibration
 - Internal 32 kHz RC with calibration
- Low power
 - Sleep, Stop and Standby modes
 - V_{BAT} supply for RTC, 20×32 bit backup registers + optional 4 KB backup SRAM
- 3×12-bit, 2.4 MSPS A/D converters: up to 24 channels and 7.2 MSPS in triple interleaved mode
- 2×12-bit D/A converters
- General-purpose DMA: 16-stream DMA controller with FIFOs and burst support
- Up to 17 timers: up to twelve 16-bit and two 32-bit timers up to 168 MHz, each with up to 4 IC/OC/PWM or pulse counter and quadrature (incremental) encoder input
- Debug mode
 - Serial wire debug (SWD) & JTAG interfaces
 - Cortex-M4 Embedded Trace Macrocell™

1. The WLCSP90 package will soon be available.



- Up to 140 I/O ports with interrupt capability
 - Up to 136 fast I/Os up to 84 MHz
 - Up to 138 5 V-tolerant I/Os
- Up to 15 communication interfaces
 - Up to 3 × I²C interfaces (SMBus/PMBus)
 - Up to 4 USARTs/2 UARTs (10.5 Mbit/s, ISO 7816 interface, LIN, IrDA, modem control)
 - Up to 3 SPIs (37.5 Mbits/s), 2 with muxed full-duplex I²S to achieve audio class accuracy via internal audio PLL or external clock
 - 2 × CAN interfaces (2.0B Active)
 - SDIO interface
- Advanced connectivity
 - USB 2.0 full-speed device/host/OTG controller with on-chip PHY
 - USB 2.0 high-speed/full-speed device/host/OTG controller with dedicated DMA, on-chip full-speed PHY and ULPI
 - 10/100 Ethernet MAC with dedicated DMA: supports IEEE 1588v2 hardware, MII/RMII
- 8- to 14-bit parallel camera interface up to 54 Mbytes/s
- True random number generator
- CRC calculation unit
- 96-bit unique ID
- RTC: subsecond accuracy, hardware calendar

Table 1. Device summary

Reference	Part number
STM32F405xx	STM32F405RG, STM32F405VG, STM32F405ZG
STM32F407xx	STM32F407VG, STM32F407IG, STM32F407ZG, STM32F407VE, STM32F407ZE, STM32F407IE

ANEXO F – DATASHEET ATM90E36A



Atmel M90E36A

**Enhanced Poly-Phase High-Performance Wide-Span
Energy Metering IC**

DATASHEET

FEATURES

Metering Features

- Metering features fully in compliance with the requirements of IEC62052-11, IEC62053-22 and IEC62053-23, ANSI C12.1 and ANSI C12.20; applicable in class 0.2S, 0.5S or class 1 poly-phase watt-hour meter or class 2 poly-phase var-hour meter.
- Accuracy of $\pm 0.1\%$ for active energy and $\pm 0.2\%$ for reactive energy over the dynamic range of 6000:1.
- Temperature coefficient is 6 ppm/ °C (typical) for on-chip reference voltage.
- Single-point calibration on each phase over the whole dynamic range for active energy; no calibration needed for reactive/apparent energy.
- ± 1 °C (typical) temperature sensor accuracy.
- Electrical parameters measurement: less than $\pm 0.5\%$ fiducial error for V_{rms} , I_{rms} , mean active/ reactive/ apparent power, frequency, power factor and phase angle.
- Active (forward/reverse), reactive (forward/reverse), apparent energy with independent energy registers. Active/ reactive/ apparent energy can be output by pulse or read through energy registers to adapt to different applications.
- Programmable startup and no-load power threshold, special designed of startup and no-load circuits to eliminate crosstalk among phases achieving better accuracy especially at low power conditions.
- Dedicated ADC and different gains for phase A/B/C and Neutral line current sampling circuits. Current sampled over current transformer (CT) or Rogowski coil (di/dt coil); phase A/B/C voltage sampled over resistor divider network or potential transformer (PT).
- Programmable power modes: Normal mode (N mode), Idle mode (I mode), Detection mode (D mode) and Partial Measurement mode (M mode).
- Fundamental (CF3, 0.2%) and harmonic (CF4, 1%) active energy with dedicated energy and power registers.
- Total Harmonic Distortion (THD) and Discrete Fourier Transform (DFT) functions for 2 ~ 32 order harmonic component. THD and DFT results available in SPI accessible registers. Both voltage and current of all phases processed within the same time period.
- Event detection: sag, phase loss, reverse voltage/ current phase sequence, reverse flow, calculated neutral line current I_{NC} , overcurrent sampled neutral line current I_{NS} , overcurrent and THD+N over-threshold.

Other Features

- 3.3V single power supply. Operating voltage range: 2.8V~3.6V. Metering accuracy guaranteed within 3.0V~3.6V.
- Four-wire SPI interface with Direct Memory Access (DMA) mode to stream out 7-channel ADC raw data.
- Parameter diagnosis function and programmable interrupt output of the IRQ inter-

ANEXO G – DATASHEET ZMCT116A

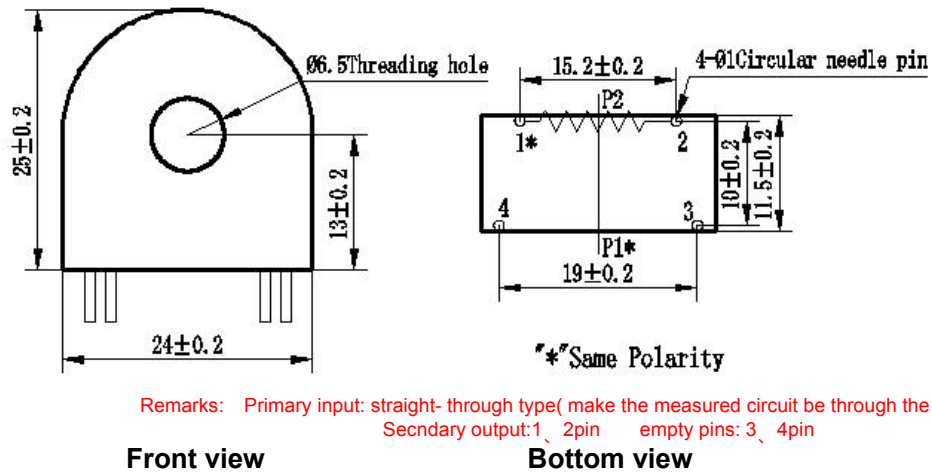
Qingxian Zeming Langxi Electronic

www.micro-transformer.com

ZMCT116A Current Transformer

Small size , high accuracy , good consistency , for current and power measurement

Structural parameters :



The main technical parameters :

Model	ZMCT116A
input current	0~70A (100Ω)
Rated output current	2mA at 5A
turns ratio	2500:1
phase angle error	$\leq 20'$ (input 1A , sampling resistor 100Ω)
current range	0~70A (sampling resistor 100Ω)
linearity	0.1% (5%dot~120%dot)
Permissible error	$-0.2\% \leq f \leq +0.2\%$ (input 1A , sampling resistor 100Ω)
isolation voltage	4500V
application	current and power measurement
Encapsulation	Epoxy
installation	PCB mounting (Pin Length>3mm)
operating temperature	-40℃~+85℃

Tel: 86-25-52601870

Fax: 86-25-52633420

E-mail: zm@zeming-e.com

ANEXO H – DATASHEET ZMPT101B

Qingxian Zeming Langxi Electronic

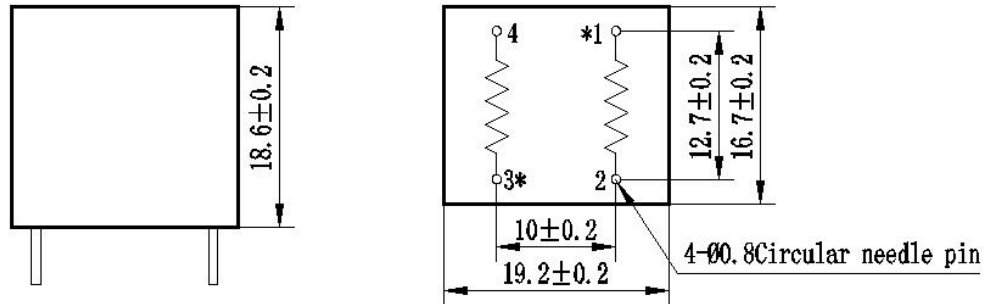
www.micro-transformer.com

ZMPT101B

Current-type Voltage Transformer

Small size , high accuracy, good consistency, for voltage and power measurement

Structural parameters :



Remarks: primary input: 1、2 pins secondary output: 3、4pins

Or

primary input:: 3、4 pins secondary output::1、2pins

"*" Same polarity

Front view

Bottom view

The main technical parameters :

Model	ZMPT101B
Rated input current	2mA
Rated output current	2mA
turns ratio	1000:1000
phase angle error	$\leq 20'$ (input 2mA , sampling resistor 100 Ω)
operating range	0~1000V 0~10mA (sampling resistor 100Ω)
linearity	$\leq 0.2\%$ (20%~120%)
Permissible error	$-0.3\% \leq f \leq +0.2\%$ (input 2mA , sampling resistor 100 Ω)
isolation voltage	4000V
application	voltage and power measurement
Encapsulation	Epoxy
installation	PCB mounting (Pin Length>3mm)
Operating temperature	-40℃~+60℃
Case Material	ABS (Note: ABS CASE is NOT available for wave-soldering)

Tel: 86-25-52601870

E-mail: zm@zeming-e.com

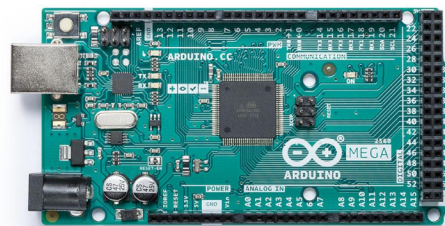
ANEXO I – DATASHEET ARDUINO MEGA 2560



Arduino® Mega 2560 Rev3

Product Reference Manual

SKU: A000067



Description

Arduino® Mega 2560 Rev3 is an exemplary development board dedicated for building extensive applications as compared to other maker boards by Arduino. The board accommodates the ATmega2560 microcontroller, which operates at a frequency of 16 MHz. The board contains 54 digital input/output pins, 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button.

Target Areas

3D Printing, Robotics, Maker

ANEXO J – DATASHEET WEMOS D1



Handson Technology

Datasheet

WeMos D1 ESP8266 WiFi Board

The WeMos D1 is a ESP8266 WiFi based board that uses the Arduino layout with operating voltage of 3.3V. Note that this is NOT an Arduino board, it only uses the Arduino Uno layout for the board design! In summary, the board is controlled by the ESP8266 chip (a 32-Bit processor) and has a larger flash memory compared to an Arduino Uno. It consists of 11 digital I/O pins and 1 analogue (input) pin. The board can be connected using a Micro-B type USB cable. (Aka “Android Cable”).

SKU: [MDU1112](#)**Brief Data:**

- Microcontroller: ESP-8266EX.
- Operating Voltage: 3.3Vdc.
- Digital I/O Pins: 11.
- Analog Input Pins: 1.
- Clock Speed: 80MHz/160MHz.
- Flash: 4M bytes.
- Board Dimension: 68.6mm x 53.4mm.
- Weight: 25g.