

16º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2025

MEDIDOR PORTÁTIL PARA ESTUDOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

ERICK M. PAES¹, RODRIGO F. G. SAU²

¹ Cursando Técnico em Eletroeletrônica Integrado ao Ensino Médio, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Campus Sorocaba, erick.paes@aluno.ifsp.edu.br

² Docente do IFSP, Campus Sorocaba, rodrigo.sau@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.02.01-8 – Medidas Elétricas

RESUMO: Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de medidor portátil de corrente elétrica, não invasivo e de baixo custo, voltado ao monitoramento do consumo energético de um circuito. O dispositivo foi projetado para ser facilmente instalado em quadros elétricos, sem a necessidade de alterações físicas, utilizando um sensor do tipo transformador de corrente bipartido. A proposta central consiste em viabilizar medições ao longo de uma semana, com leituras registradas a cada quinze segundos, permitindo traçar a curva de demanda diária e, a partir disso, identificar possíveis desperdícios ou equipamentos ineficientes. O sistema é baseado no microcontrolador ESP32, sendo os dados de medição armazenados com carimbo de data e hora em sua memória *flash*. Além disso, por não haver conexão elétrica com o circuito medido, o dispositivo conta com uma bateria que fornece a autonomia suficiente para todo o período de medição. A solução proposta será aplicada em ambientes de um campus do IFSP e pode ser replicada em outras edificações, contribuindo para ações de eficiência energética.

PALAVRAS-CHAVE: Medidor Portátil; Eficiência Energética; Monitoramento Elétrico; ESP32.

PORTABLE METER FOR ENERGY EFFICIENCY STUDY

ABSTRACT: This work presents the development of a prototype of a portable, non-invasive, and low-cost electric current meter designed for monitoring the energy consumption of an electrical circuit. The device was designed to be easily installed in electrical switchboards without the need for physical modifications, using a split-core current transformer sensor. The main objective is to enable measurements over the course of one week, with readings recorded every fifteen seconds, allowing the daily demand curve to be plotted and, from that, identifying potential waste or inefficient equipment. The system is based on the ESP32 microcontroller, with measurement data stored in its flash memory, timestamped with date and time. Moreover, as there is no electrical connection with the monitored circuit, the device is powered by a battery that provides sufficient autonomy for the entire measurement period. The proposed solution will be applied in facilities at an IFSP campus and can be replicated in other buildings, contributing to energy efficiency initiatives.

KEYWORDS: Portable Meter; Energy Efficiency; Electric Monitoring; ESP32.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a busca por tecnologias que promovam a eficiência energética tem se intensificado, impulsionando o desenvolvimento de dispositivos para o monitoramento do consumo de energia de forma precisa e acessível. Paralelamente, o avanço da tecnologia de microcontroladores e sua consequente redução de custo viabilizaram a criação de protótipos de baixo custo com funcionalidades avançadas. Como exemplos, destaca-se o desenvolvimento de um dispositivo de monitoramento de consumo de energia elétrica utilizando plataformas de IoT, como o ESP8266 e o aplicativo Blynk (Silva,

2023), bem como a implementação de um sistema de controle de demanda energética por meio de infraestrutura IoT, com foco na atuação automatizada e remota de cargas (Felipe, 2023).

Normalmente, dispositivos de medição de energia são projetados para instalação fixa e permanente em quadros elétricos, incorporando, muitas vezes, *hardware* sofisticado e indicação local das medições. Em contraste, este artigo apresenta o desenvolvimento de uma solução mais prática e acessível, consistindo em um aparelho portátil e não invasivo, que pode ser instalado sem a necessidade de conexões elétricas diretas à rede, utilizando como sensor um transformador de corrente (TC) bipartido. A programação do controlador foi inteiramente desenvolvida na plataforma Arduino, uma IDE de código aberto amplamente utilizada em projetos com microcontroladores Arduino e compatíveis, como os da família ESP. Essa IDE fornece um ambiente integrado com editor de código, sistema de compilação e upload, além de bibliotecas que facilitam a programação e o controle dos dispositivos (Santos et al., 2020).

O protótipo realiza a medição de corrente por meio de um transformador de corrente (TC) bipartido, modelo SCT-013, apresentado na Figura 1. De acordo com Nazário (2022), esse sensor de corrente apresenta a vantagem de ser não invasivo, possibilitando medições sem a necessidade de ligação direta aos condutores, ou seja, basta encaixar o TC, que é bipartido, em um dos condutores do circuito, permitindo a medição de corrente por meio do campo magnético gerado. Essa característica garante segurança e simplicidade na instalação em projetos industriais, comerciais e residenciais.

FIGURA 1 – Sensor de corrente não invasivo.



Fonte: Crescer Engenharia (Nazário, 2022).

As aplicações práticas deste projeto incluem o monitoramento do consumo energético em salas de aula, laboratórios e outros ambientes do campus, fornecendo dados confiáveis que podem orientar decisões de manutenção, substituição de equipamentos ineficientes e melhorias na infraestrutura elétrica. O medidor também pode ser replicado em outras instituições de ensino ou edifícios comerciais, atuando como uma ferramenta de baixo custo para diagnóstico energético. Além de viabilizar a economia de energia, o dispositivo contribui para o desenvolvimento de soluções tecnológicas sustentáveis voltadas à gestão inteligente dos recursos elétricos.

DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

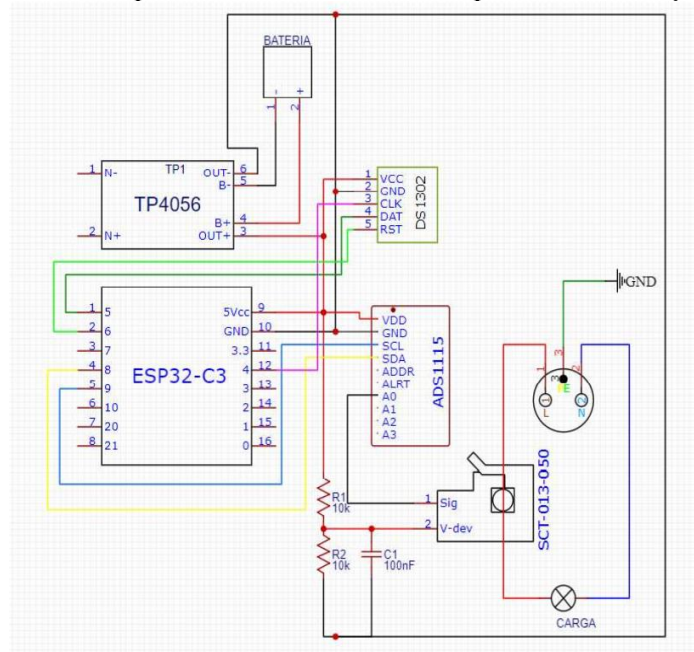
Nesta seção, serão apresentados os detalhes do projeto do dispositivo, desde os requisitos que nortearam a escolha de seus componentes, passando por sua calibração, teste de autonomia (bateria) e, por fim, a forma como os dados medidos são tratados.

Requisitos do Projeto

Este projeto tem por objetivo o desenvolvimento de um protótipo de medidor de corrente elétrica portátil, visando fornecer uma solução prática e acessível para a coleta e o registro contínuo de dados de corrente, sem a necessidade de modificações na fiação elétrica. Para atender a essa necessidade, foram escolhidos o microcontrolador ESP32, o sensor de corrente SCT-013-050 e, como fonte de alimentação, uma bateria 18650. O armazenamento das medições é feito no próprio microcontrolador ESP32, que possui memória do tipo *flash* de 4 MB. A Figura 2 apresenta o esquema do dispositivo.

Apesar de o ESP32 possuir entradas analógicas, durante o desenvolvimento verificou-se instabilidade nas medições e, por isso, foi incluído um conversor AD externo. Em relação aos demais componentes do circuito, na sequência serão apresentados mais detalhes.

FIGURA 2 – Esquema eletroeletrônico do dispositivo de medição de corrente.



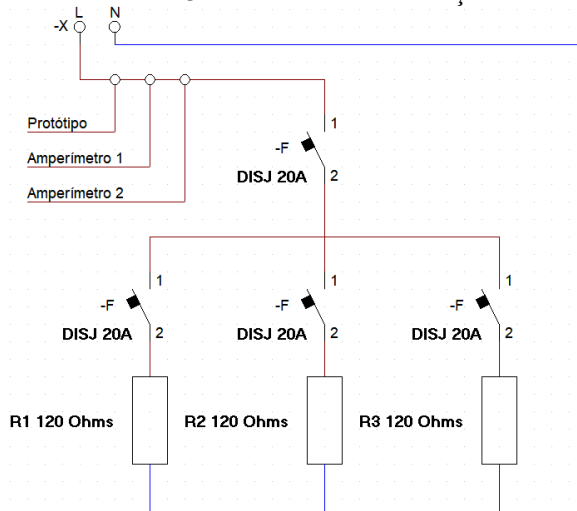
Fonte: Elaborada pelo Autor.

Calibração

Após os testes iniciais, foram identificados alguns problemas relacionados à precisão do sensor de corrente, como alta variação nos valores medidos, sendo que o sistema indicava aproximadamente 0,8 A mesmo na ausência de carga conectada ao circuito. Para resolver essas inconsistências, foi realizada uma etapa de calibração prática e programável do sistema.

No laboratório do campus, foi montada uma bancada composta por disjuntores, resistores de 120 Ω e dois amperímetros *True RMS*, modelo Minipa ET-3712, conforme ilustrado na Figura 3. Essa estrutura permitiu comparar os valores reais de corrente com as leituras fornecidas pelo sensor SCT-013. Sendo assim, foi realizada a calibração via software da biblioteca do sensor de corrente, que exige a definição de uma constante de calibração para converter adequadamente o sinal analógico em valor de corrente. Com base nas leituras fornecidas pelos amperímetros de referência, foi determinada uma média dos valores reais medidos com diferentes cargas. Essa média foi utilizada para ajustar o parâmetro de calibração no código, o que aumentou significativamente a confiabilidade das medições obtidas pelo sistema.

FIGURA 3 – Circuito de Calibração.



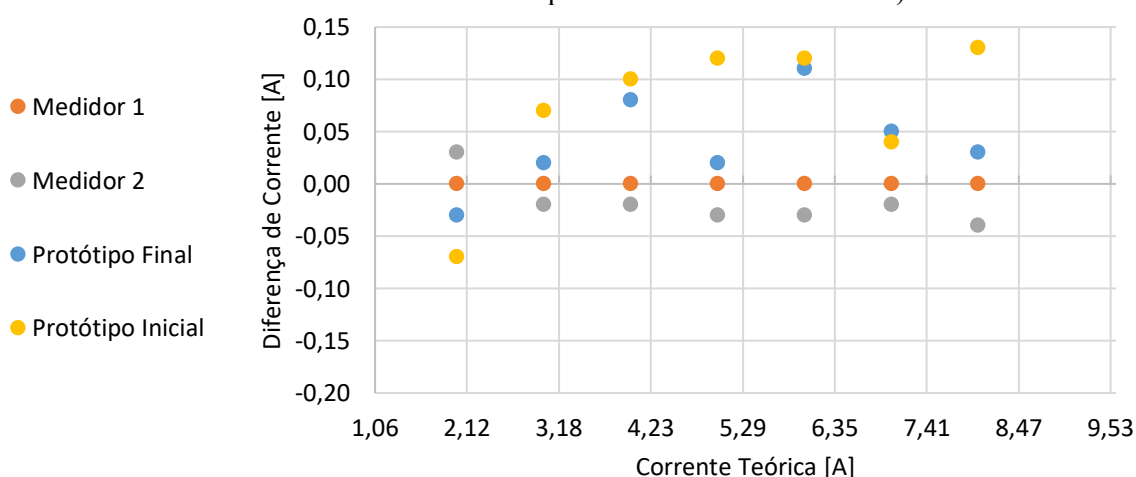
Fonte: Elaborada pelo Autor.

Quanto à obtenção de maior estabilidade nas leituras, foi integrado ao circuito o conversor analógico-digital externo ADS1115, que possui resolução de 16 bits e um amplificador de ganho programável (PGA). Essa adição permitiu uma leitura mais estável e precisa, mesmo sob variações térmicas. Segundo Ewald (2021), o ADS1115 é ideal para aplicações que exigem alta resolução em sinais analógicos de baixa amplitude.

A adição do conversor analógico-digital ADS1115 reduziu, neste teste, o erro médio em aproximadamente 45%, como mostra a Figura 4, demonstrando uma melhora na precisão das medições, além de solucionar o principal problema identificado no conversor AD do ESP32: sua instabilidade. Durante os testes, usando o conversor do microcontrolador, verificou-se que o erro de medição era maior em dias mais quentes. Como exemplo desse problema, no teste sem carga (corrente nula), em ambientes mais frios a medição ficou em torno de 0,13 A, enquanto em dias mais quentes, acima de 23 °C, o sistema media aproximadamente 0,80 A.

Principalmente devido à maior estabilidade do conversor AD externo, foi descartado o uso do conversor interno do ESP32. Os medidores de referência também acompanharam de forma consistente a corrente teórica, servindo como base confiável para as comparações realizadas.

FIGURA 4 – Diferença dos protótipos em relação a corrente teórica (o protótipo inicial usa o converso AD do ESP32 enquanto o final usa o ADS1115).



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Mesmo após adicionar o conversor ADS, foi aplicada uma compensação chamada valor de *offset*, que consiste em subtrair um valor fixo das leituras para alinhar a medição com a realidade física esperada. No caso deste projeto, foi identificado que um *offset* de 0,1 A era suficiente para corrigir o desvio constante observado em medições com corrente nula, garantindo maior precisão nas leituras.

Bateria

Visando atingir uma autonomia de bateria de ao menos 7 dias, além de tornar o sistema mais compacto, foi usado o ESP32-C3 Super Mini, tendo em vista seu baixo consumo. Quando associado a uma bateria do tipo 18650, de 3,7 V e 3.000 mAh, o sistema tem autonomia aproximada de 240 horas. Como destacado por Roberts (2024), o ESP32-C3 é uma versão compacta e eficiente da família ESP32, projetada para balancear desempenho, segurança e economia de energia, especialmente em aplicações IoT alimentadas por bateria. Vale ressaltar que o carregamento da bateria foi realizado por meio de um módulo TP4056, o qual possui entrada USB-C.

Dados Medidos

Segundo O'Brien (2025), a arquitetura de memória do ESP32 divide o espaço *flash* em partições específicas, incluindo *bootloader*, *firmware*, *NVS (Non-Volatile Storage)* e sistema de arquivos, permitindo que parte da memória seja dedicada exclusivamente ao armazenamento de dados do usuário. Além disso, o suporte aos sistemas SPIFFS ou LittleFS proporciona leitura e escrita em arquivos com boa eficiência, tornando o ESP32 especialmente adequado para aplicações de registro contínuo e autônomo, como neste projeto.

Neste projeto, as medições são realizadas a cada quinze segundos, sendo que cada linha de medição ocupa 45 bytes na memória. Tendo como objetivo o armazenamento de uma semana, são necessários aproximadamente 2 MB, sendo, dessa forma, suficientes os 4 MB internos do ESP32.

Outro aspecto importante é que o medidor possui apenas sensor de corrente e, por isso, a potência não pode ser medida diretamente. No entanto, a tensão costuma ser aproximadamente constante nas redes elétricas e, assim sendo, a potência pode ser estimada usando a tensão nominal da rede, desde que o fator de potência não seja muito baixo, conforme a Equação 1.

$$P = V \cdot I \quad (1)$$

Em que,

P é a potência estimada, em watts (W);

V é a tensão nominal da instalação, em volts (V);

I é a corrente medida, em ampères (A).

Nos testes iniciais, foram utilizadas como cargas um ventilador de 126 W e um *laptop* de 30 W, conectados à mesma tomada. Usando a tensão nominal da rede, essa abordagem permite avaliar o comportamento do sensor e sua proporcionalidade em relação à potência esperada, apesar de não fornecer valores exatos.

O sistema registra os dados em arquivos CSV contendo data, hora e corrente. O controle de tempo é realizado pelo módulo RTC DS1302, que mantém a hora mesmo em caso de desligamentos. Após a medição de um circuito por determinado período, o dispositivo é conectado ao computador, e os dados são extraídos da memória do ESP32 por meio do monitor serial, no seguinte formato:

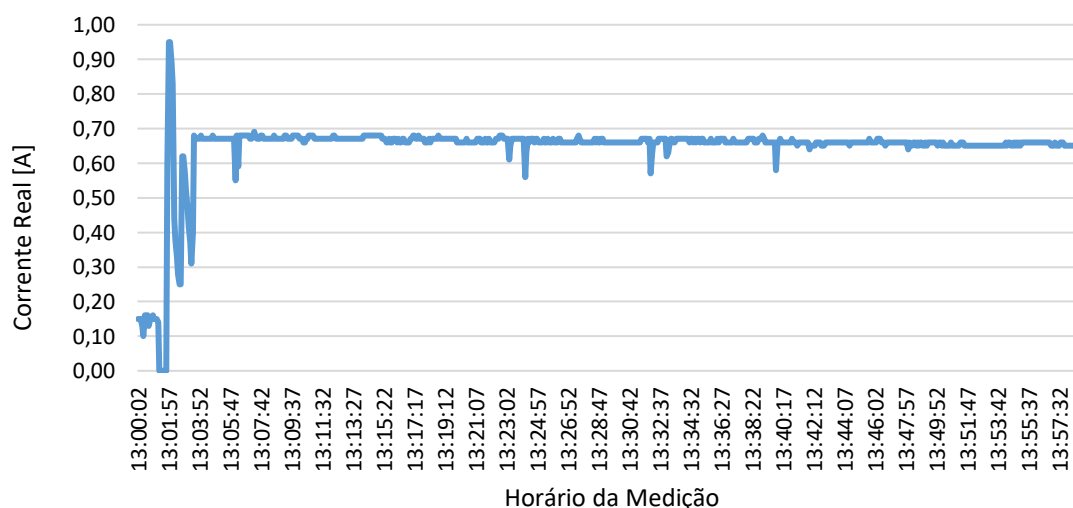
Data	Hora	Corrente (A)
26/07/2025	12:52:42	Corrente: 0.15 A

Os dados são então organizados em uma tabela com o cálculo da potência estimada, permitindo analisar o consumo dos equipamentos ao longo do tempo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o protótipo concluído, foram realizados testes voltados para situações do dia a dia, como, por exemplo, medir a intensidade de corrente de um equipamento durante um determinado período. Focando nesse cenário, a Figura 5 mostra a medição de uma hora de uma televisão QLED de 55 polegadas. Foi constatado um consumo de 80 Wh, sendo possível observar que, em alguns momentos em que o display apaga todos os LEDs para a transição de cena, a corrente elétrica diminui notavelmente, como esperado.

FIGURA 5: Demanda de corrente de uma televisão durante uma hora.



Fonte: Elaborada pelo Autor.

CONCLUSÕES

Ao desenvolver o medidor portátil, foi percebido que ele é uma solução viável, segura e de baixo custo para realizar o monitoramento do consumo energético em residências e edifícios. Com o uso de sensores de corrente bipartidos, além do microcontrolador ESP32, foi possível elaborar uma solução sólida e eficaz para uma medição precisa e estável, mesmo com variações térmicas. Ademais, ao integrá-lo com o módulo RTC e aproveitar a memória *flash* de 4MB do ESP32, é possível organizar de maneira eficiente os dados registrados, atendendo a todos os requisitos de medição de um determinado período.

Em conjunto com a facilidade de medição proporcionada pelo protótipo, visto que basta posicionar o TC no condutor, é possível afirmar que o dispositivo desenvolvido também se configura como uma solução flexível, que pode ser instalada em praticamente qualquer quadro elétrico.

Como próximos passos, o protótipo será instalado em um circuito do campus para fins de análise. Também está sendo estudada a implementação da exibição dos dados por meio de gráficos em tempo real, por meio de um aplicativo móvel que utilize Bluetooth ou Wi-Fi, recursos disponíveis no microcontrolador ESP32.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

R.F.G.S. contribuiu apresentando as referências bibliográficas a serem estudadas além da elaboração do circuito de calibração. E.M.P desenvolveu o protótipo final e realizou todos os testes para a elaboração da tabela de resultados. Os dois autores contribuíram para a revisão do trabalho e aprovaram a versão apresentada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de São Paulo e o PACTec (Programa de Apoio à Ciência e Tecnologia) pelo apoio e suporte financeiro para o desenvolvimento deste projeto.

REFERÊNCIAS

EWALD, W. *ADS1115 – A/D converter with amplifier*. Wolles Elektronikiste, 6 jan. 2021. Atualizado em 29 out. 2024. Disponível em: <https://wolles-elektronikkiste.de/en/ads1115-a-d-converter-with-amplifier>.

FELIPE, Filip Junio. *Controle de demanda de energia elétrica sobre uma infraestrutura de IoT*. In: **Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP (CONICT)**, 2023. Disponível em: <https://ocs.ifsp.edu.br/conict/xiconict/paper/view/7378/2309>. Acesso em: 31 jul. 2025.

NAZÁRIO, Cristiano Zanini. *Sensor de corrente alternada SCT-013: Calibração*. Crescer Engenharia, 23 maio 2022. Disponível em: <https://www.crescerengenharia.com/post/sensor-de-corrente-sct-013>. Acesso em: 29 jul. 2025.

O'BRIEN, S. *Understanding ESP32 Memory*. Scott O'Brien, 27 fev. 2025. Disponível em: <https://scottobe.com/esp32-memory>. Acesso em: 10 jun. 2025.

ROBERTS, R. *ESP32 C3*. Rob's Blog, 5 maio 2024. Disponível em: <https://robs-blog.net/2024/05/05/esp32-c3>. Acesso em: 10 jun. 2025.

SANTOS, Julio C. C. dos; ROBERTO, Mateus F.; CARNIATO, Alexandre A.; CARNIATO, Leonardo A. *Desenvolvimento de um medidor de energia elétrica de baixo custo baseado nos conceitos de IoT para eficiência do uso de energia no campus*. In: **X Congresso de Inovação Ciência e Tecnologia do IFSP (CONICT)**. 2020. Disponível em: <https://ocs.ifsp.edu.br/conict/xiconict/paper/view/6760>. Acesso em: 30 jul. 2025.

SILVA, Lucas Andrei Moraes da. *Instrumentação do consumo de energia elétrica sobre uma infraestrutura de IoT*. In: **Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP (CONICT)**, 2023. Disponível em: <https://ocs.ifsp.edu.br/conict/xiconict/paper/view/6987/1802>. Acesso em: 31 jul. 2025.