

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR RESIDENCIAL: DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Amanda Sahory Nunes Serafim
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)
amandasahory@gmail.com

Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)
fkv@ufersa.edu.br

Resumo — Este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de monitoramento de consumo de energia elétrica residencial com foco em eficiência energética. O sistema utiliza NodeMCU ESP32 para coletar os dados de consumo de energia elétrica em tempo real e enviar esses dados para uma planilha do Google Sheets. A planilha é configurada com a ajuda do Google Scripts, o que permite a coleta de dados automatizada. Em seguida, os dados são compilados e visualizados em gráficos e tabelas no Data Studio. O sistema proposto neste trabalho pode ser utilizado como uma ferramenta eficaz para o monitoramento e controle do consumo de energia elétrica em residências, possibilitando a identificação de padrões de consumo, pontos de desperdício e oportunidades de economia de energia. Com isso, é possível tomar medidas de eficiência energética que resultem em economia de energia e redução de custos para o usuário final. A solução proposta pôde ser desenvolvida com um baixo investimento financeiro e se mostra satisfatória para medição do consumo total de uma residência ou equipamentos acima de 30W de potência.

Palavras-chave — eficiência energética, consumo de energia elétrica, NODMCU ESP32, google scripts.

1. INTRODUÇÃO

A eficiência Energética pode ser definida como a relação entre a quantidade de energia utilizada para executar determinada tarefa ou processo e a quantidade de energia necessária para executar a mesma tarefa ou processo de forma mais eficiente [1]. Em outras palavras, a eficiência energética se relaciona diretamente com a redução do consumo de energia para um mesmo processo energético, proporcionando economia de recursos e redução de impactos ambientais.

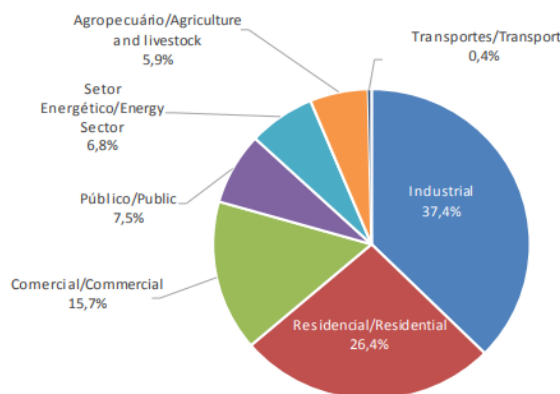
Com o crescimento exponencial da demanda energética nas últimas décadas, a importância da eficiência energética tem se tornado cada vez mais evidente. Estima-se que o setor residencial aumentará seu consumo de energia elétrica em torno de 35% até 2040, aliado à demanda mundial de energia elétrica que deve crescer em 15% em relação à demanda de 2019 [2]. Diante desse cenário, a busca por soluções que otimizem a utilização de energia elétrica tornou-se uma preocupação constante em diversos setores, tais como indústria, comércio e residências.

A adoção de medidas de eficiência energética pode ocorrer em qualquer parte do processo energético, desde a transformação da energia primária até seu consumo de uso final. Contudo, a adoção de medidas de eficiência energética requer mais do que soluções técnicas, envolvendo também mudanças de comportamento e gestão. Vale ressaltar que, quando comparada à aquisição de novas fontes de geração, a eficiência energética pode gerar economias de até 20% [3].

No Brasil, dados do Balanço Energético Nacional – BEN [4], mostram que o setor residencial cresceu 1,09% entre

2020 e 2021 e é responsável por 26,4% do consumo total de energia elétrica no país, ficando atrás somente do setor industrial como visto na Figura 1.

Figura 1 - Participação setorial no consumo de eletricidade



Fonte: [4]

No caso de residências, o consumo de energia elétrica está diretamente relacionado às atividades realizadas pelos moradores tais como, preparo de alimentos, iluminação, climatização de ambiente e algumas atividades de lazer como assistir televisão, por exemplo. Além disso, a escolha dos equipamentos utilizados para realizar essas atividades pode ter um grande impacto no consumo final de energia. Equipamentos mais antigos, em geral, tendem a consumir mais energia do que modelos mais recentes e eficientes. Assim sendo, a demanda é composta por diversos fatores sejam eles comportamentais, estilo de vida e hábitos socioculturais. [5]

As práticas individuais são essenciais para reduzir os comportamentos de desperdício. No entanto, essas mudanças dificilmente são induzidas por medidas políticas, exceto por incentivos à adoção de tecnologias eficientes e tarifas por tempo de uso, que se mostram moderadamente bem-sucedidas [6]. O monitoramento do consumo, forneceria nesse caso, aos usuários, informações para melhorar o desempenho de suas residências e identificar oportunidades de redução de custos, detectando ineficiências, comparando e planejando a carga e o uso de energia [5]. Um exemplo desse monitoramento, demonstrou que o Brasil possuía um alto consumo provocado pelo uso de chuveiros elétricos, o que poderia ser melhorado utilizando o sistema de aquecimento solar [7].

Porém para que sejam detectadas tais oportunidades é preciso que essa medição ocorra continuamente e os dados sejam de fácil acesso, além de que o equipamento de medição ser acessível financeiramente e de fácil instalação, de forma

a viabilizar seu uso por consumidores desse perfil. Para maximizar a eficiência é necessário ainda que esse sistema de monitoramento tenha baixo consumo, questões as quais os sistemas tradicionais dão menos atenção. [8]

Por todo exposto, o presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver e implementar um sistema de monitoramento de consumo de energia elétrica residencial, utilizando sensor de corrente, microcontrolador e tecnologias de comunicação sem fio. Serão abordados conceitos teóricos relacionados à medição de consumo elétrico, bem como detalhes sobre a escolha dos componentes e tecnologias utilizadas na construção do sistema. Ao final, espera-se e pretende-se fornecer uma contribuição para a disseminação do conhecimento e aplicação prática de sistemas de monitoramento de consumo de energia elétrica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Essa seção tem como objetivo mostrar as etapas do dispositivo de monitoramento desenvolvido, incluindo a arquitetura adotada, os componentes que integram o *hardware* escolhido, o gerenciador (*software*) do sistema, todas as tecnologias utilizadas no desenvolvimento incluindo os conceitos e definições de terminologias relevantes para o desenvolvimento do Projeto.

A. Design do Sistema

O monitoramento remoto é uma das principais aplicações da Internet das Coisas, ou IoT¹, e trata-se da interconexão de dispositivos físicos, que são capazes de se comunicar e trocar informações entre si, sem a necessidade de intervenção humana direta. Esses dispositivos são equipados com sensores e sistemas embarcados, que permitem coletar e transmitir dados em tempo real, o que permite monitorar, controlar e otimizar processos de maneira eficiente [9].

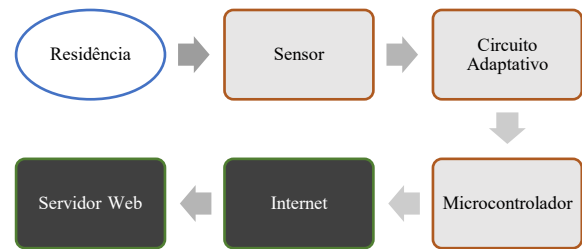
Um exemplo de monitoramento remoto usando IoT é o monitoramento de consumo de energia elétrica em residências. Sensores podem ser instalados nos pontos de consumo e conectados a uma plataforma de IoT, essas informações são analisadas e exibidas em gráficos e tabelas para que o usuário possa visualizar o consumo total, o horário de maior consumo além dos padrões de consumo ao longo do tempo [10], permitindo identificar picos de consumo e oportunidades de economia [11].

Para monitorar o consumo de energia elétrica da residência em análise deste trabalho, utilizou-se um protótipo que possui um sensor que captura os dados e os envia para um servidor atualizado automaticamente e periodicamente. O sistema de monitoramento ocorre em tempo real e é armazenado em “nuvem”. As informações armazenadas são disponibilizadas para visualização remota ou local via plataforma *web*.

Assim sendo, o sistema é constituído primordialmente por duas partes: *hardware* e *software* que estão representados na Figura 2 nas cores cinza claro e cinza escuro, respectivamente. O *hardware* é composto por um sensor, um circuito adaptativo e um microcontrolador com placa de rede, configurando um dispositivo de computação embarcada; já o

software é formado por um sistema de coleta, armazenamento e visualização dos dados.

Figura 2 – Diagrama de blocos dos componentes do sistema



Fonte: Autoria Própria, 2023

As especificações de cada componente são importantes para garantir o funcionamento de acordo com o esperado, e desse modo, a Tabela 1 mostra a descrição dos principais componentes do sistema e o valor monetário dos itens adquiridos. O motivo de escolha e o funcionamento desses componentes pode ser visto na seção B (*Aquisição dos dados*) deste trabalho.

Tabela 1 – Lista de materiais usados no hardware do protótipo

Componente	Preço ²
NodeMcu ESP-12E ESP8256	R\$30,17
Sensor AC SCT 013-000	R\$27,54
Outros componentes	R\$7,70
Total	R\$ 65,41

Fonte: Autoria Própria, 2022

Durante a pesquisa dos componentes também se pesquisou outras soluções para monitoramento validadas no mercado para fins residenciais, tais aparelhos custavam entre R\$ 470,00 e R\$1059,00 em pesquisa realizada entre junho de 2022 e janeiro de 2023.

B. Aquisição dos dados

A aquisição de dados físicos por sinais elétricos refere-se à captura de informações úteis a partir de sinais eletromagnéticos, que, por sua vez, são medidos e convertidos no formato digital para processamento. Os valores adquiridos pelos sensores são tratados e convertidos para grandezas que sejam do entendimento do microcontrolador. Como algumas leituras não são adequadas para entrada de um conversor Analógico/Digital (AD) pode-se ainda usar um circuito adaptativo, que tem a finalidade de alterar o sinal. Tais circuitos podem incluir amplificação, atenuação, filtragem e isolamento.

No monitoramento de consumo de energia elétrica, tem a potência como a grandeza de maior interesse, pois ela permite a mensuração da quantidade de energia consumida por um equipamento em um determinado período. O monitoramento do consumo de energia elétrica, utiliza a potência ativa consumida, conforme observado na Equação 1, sendo o consumo de energia [C], em kWh; a potência [P], em *watt*; e o tempo[t], em horas.

¹ Do inglês, *Internet of Things*

² Orçamento realizado no dia 27 de setembro de 2022 em sites de compras *online*.

$$C = \frac{P}{1000} * t \quad (1)$$

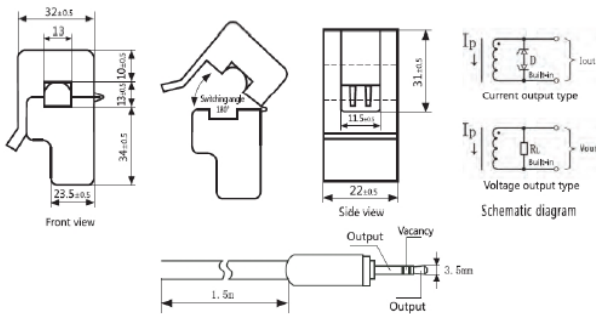
A medição de potência é feita por meio de dispositivos de monitoramento de energia, que podem ser instalados em circuitos elétricos específicos ou em aparelhos individuais. Esses dispositivos geralmente utilizam sensores de corrente e tensão para calcular a potência elétrica e o consumo de energia [12].

1) Sensor de corrente

Um medidor de corrente não invasivo é um dispositivo que mede a corrente elétrica sem entrar em contato direto com os condutores, também podem ser chamados de Transformadores de Corrente (TC). Estes são usados para medições de segurança e precisão, especialmente em aplicações críticas. Eles também podem detectar mudanças na corrente elétrica sem o risco de danos físicos ou choques elétricos. Seu princípio de funcionamento é baseado na relação de transformação usada em transformadores, que trata a respeito da tensão nas bobinas de um transformador, sendo diretamente proporcional ao número de espiras das bobinas.

Para a aquisição dos valores de corrente será usado um modelo de sensor não invasivo, SCT³-013-000 (vide Figura 3), seu funcionamento é análogo ao de um alicate amperímetro. Sua especificação técnica é de 100A no primário e de 50mA de saída no secundário. Sua faixa de operação é não linear em 3% e tem uma taxa de variação de seu valor nominal que vai de 10% a 120%, equivalente a 10A e chegando até 120A, considerada a melhor faixa para funcionamento.

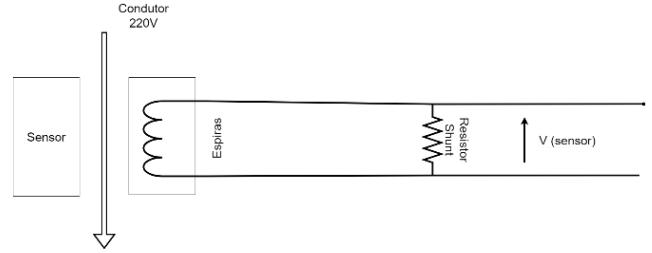
Figura 3 – Esquema do sensor de corrente



Fonte: [13].

Como sua saída está relacionada a corrente, foi preciso efetuar a conversão destes valores para tensão. A corrente que circula pelo condutor do dispositivo que se deseja medir, atua no enrolamento primário e internamente há um enrolamento secundário, e em sua saída é adicionado um resistor em paralelo chamado de *shunt* (vide Figura 4), que tem como função principal criar uma diferença de potencial no circuito.

Figura 4 - Saída do sensor de corrente



Fonte: Autoria Própria, 2023

O valor da resistência é dado pela queda de tensão no limite máximo de corrente, conforme o *datasheet* e utilizando a relação de transformação (Equação 2) em que N2, I1 e I2 representam o número de espiras do primário e as correntes que circulam no primário e no secundário do TC respectivamente, é possível encontrar o número de espiras do secundário [N2].

$$\frac{N1}{N2} = \frac{I2}{I1} \rightarrow N2 = \frac{N1 * I1}{I2} \rightarrow N2 = \frac{1 * 100A}{50mA} = 2000 \text{ espiras} \quad (2)$$

A corrente de saída do sensor é inversamente proporcional ao número de espiras. Logo, ao dividir-se o valor de corrente de pico medido pelo sensor [Im] é possível encontrar a corrente máxima de saída do sensor [Is], conforme a Equação 3.

$$Is = \frac{Im}{N2} = \frac{100 * \sqrt{2}}{2000} = 0,0707A \quad (3)$$

Para efetuar a leitura adequadamente da tensão através do resistor *shunt*, o pico de corrente deve ser igual a metade da tensão de entrada [V] que para os NodeMCu ESP8256 é de 3,3V. Nesse caso o resistor *shunt* [Rs] calculado conforme a Equação 4.

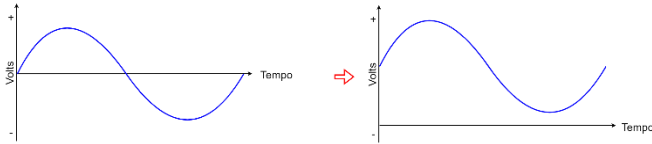
$$Rs = \frac{V/2}{Is} = \frac{3,3V/2}{0,0707A} = 23,22\Omega \quad (4)$$

Como o valor calculado para o resistor não é um valor comercial, utilizou-se um resistor de 22 Ω . Logo, optou-se por um resistor menor para que a tensão não fosse superior ao limite do conversor AD.

Tendo em vista que valores negativos não são lidos pelo microcontrolador e o sinal lido alterna entre positivo e negativo, o conversor AD não efetua corretamente as leituras nestes sinais. Sendo assim, optou-se pela elaboração de um circuito divisor de tensão com um capacitor na saída. Esse circuito funcionará como uma bateria de 1,7V adicionando essa tensão à fonte AC. Deslocando a forma de onda assim como na Figura 5, este valor de tensão acrescentado a forma de onda é chamado de *offset*.

³ SCT vem do inglês e significa “Split-core Current Transformer”. Em tradução literal chama-se “Transformador de Corrente de Núcleo Dividido”.

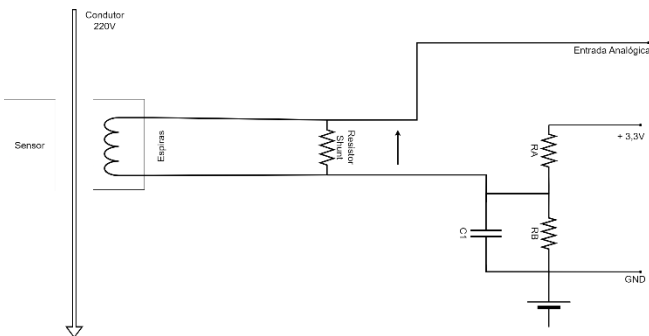
Figura 5 - Forma de onda da tensão no resistor de carga (a esquerda) e a mesma forma com o offset (a direita).



Fonte: Autoria Própria, 2023

Finalizando essa etapa, o circuito final pode ser visto na Figura 6, e os resistores escolhidos foram de $10K\Omega$, para manter o consumo de energia baixo. O valor de $10\mu F$ foi escolhido por possuir uma baixa reatância, fornecendo um caminho alternativo para a corrente.

Figura 6 - Circuito final



Fonte: Autoria Própria, 2023

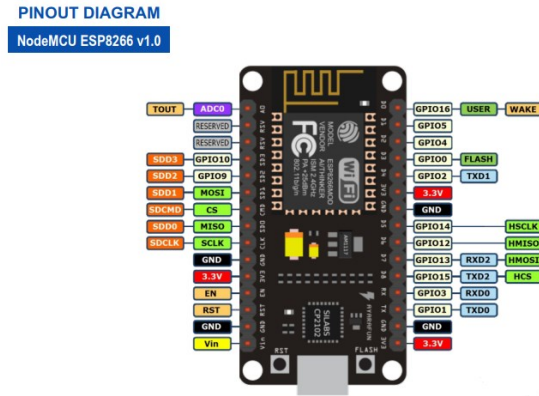
2) Microcontrolador

Os microcontroladores são dispositivos eletrônicos programáveis que contêm um ou mais processadores, memória interna, conectividade de entrada/saída e diversos periféricos. Eles são usados para controlar processos industriais, automação, equipamentos domésticos, telecomunicações e outros.

Neste trabalho foi utilizado o microcontrolador NodeMCU ESP32, desenvolvido pela empresa Einstronic. O NodeMCU ESP32 é um sistema de computação embarcado *open source* que fornece conectividade *Wi-Fi* e *Bluetooth Low Energy* (BLE). Permite também o desenvolvimento fácil de projetos *on-line* e *off-line*, com base em programação Lua ou com suporte ao *Arduino@ IDE*. Ele possui recursos embutidos, incluindo uma variedade de sensores internos, além de suportar GPIOs (tipo de pino digital programável) adicionais. Por suas características, o NodeMCU ESP32 é considerado ideal para projetos IoT e outras aplicações onde o tamanho e a autonomia são essenciais.

O microcontrolador NodeMCU ESP32 contém 30 pinos de entrada ou saída de uso geral, descritos na Figura 7. Além disso, utiliza o Protocolo de Controle de Transmissão, do inglês *Transmission Control Protocol* (TCP) e o Protocolo de Internet, do inglês *Internet Protocol* (IP), formando o protocolo TCP/IP e o *WiFi MAC* 802.11 b/g/n, que transmite sinais sem fio através de ondas eletromagnéticas.

Figura 7 - Pinagem NodeMCU ESP32



Fonte: [14]

C. Tratamento dos dados

Os dados coletados pela porta AD do microcontrolador passam por um processamento prévio antes de serem transmitidos ao servidor. Esse processamento inclui o tratamento dos dados para garantir sua precisão e a realização de cálculos relevantes, como os relacionados à corrente e potência, bem como variáveis de ajuste e outras informações pertinentes. Todos esses cálculos são executados por meio do código gravado no microcontrolador, que é responsável por processar os dados brutos da porta AD. Dessa forma, quando os dados são enviados ao servidor, eles já estão prontos para serem exibidos para o usuário final, sem a necessidade de qualquer tratamento adicional.

As leituras da corrente são coletadas pelo sensor de corrente e convertidas em um sinal elétrico proporcional. Esse sinal é então processado pelo circuito adaptativo para garantir a precisão da leitura. Em seguida, o sinal é enviado para a porta conversora AD do microcontrolador, onde é digitalizado. O microcontrolador realiza cálculos com base no valor digitalizado e envia o resultado para o destino desejado.

Durante todo o processo de programação do dispositivo, foi utilizado o *Arduino IDE*, uma aplicação multiplataforma, que inclui um editor de código, sendo capaz de compilar e carregar programas para a placa. Para os cálculos foi utilizado a biblioteca *Emonlib*⁴, que está diretamente relacionada com o consumo de energia elétrica.

A calibração da leitura é ajustada via *software*. Na teoria, essa constante de calibração pode ser encontrada dividindo o número de espiras [N2] pelo resistor *shunt* [Rs], conforme a Equação 5.

$$\text{Valor de Calibração} = \frac{2000}{22} = 90,9 \quad (5)$$

Como a Equação 5 desconsidera fatores como tipo do condutor e o comprimento do condutor entre o sensor e o microcontrolador, os valores referentes à variável de calibração foram arbitrados conforme testes realizados no local com o auxílio de um amperímetro devidamente aferido

⁴ Uma biblioteca de código aberto, podendo, portanto, ser usada e modificar os critérios do Projeto.

de forma que as leituras se mantivessem de acordo com as medições no ponto de aplicação.

No código fonte do Projeto, Apêndice A, há uma linha com valor 1480 dentro da função `emon1.calcIrms`. Este valor indica a quantidade de amostras utilizadas no código. Para que a medição tenha boa exatidão é necessário que o número de pontos seja o equivalente de amostras dentro de N ciclos completos da rede. Sabendo que um ciclo da rede de 60 Hz tem duração de 16,67ms foi possível calcular que são necessárias 99,84 amostras por ciclo. Sendo assim, quanto maior a quantidade de ciclos completos forem amostrados, mais estáveis serão as medições. Neste caso, foi definido que 20 ciclos completos, ou seja, aproximadamente 1997 amostras seriam suficientes.

O ESP32 possui 2 microprocessadores. O código tem duas partes distintas, sendo estas por tarefas. A tarefa que roda no Core 0, é a atividade de envio para o *Google Sheets* e leva cerca de 4 segundos. Já a atividade do Core 1, é a medição da corrente.

D. Envio dos dados

O *Google Scripts* é uma plataforma de computação em nuvem que permite a execução de *scripts* baseados em *JavaScript* para automatizar tarefas e adicionar recursos personalizados ao *Google Apps*. O serviço HTML do *Google Scripts* oferece suporte aos usuários no que diz respeito à criação de páginas *Web* dinâmicas, integração de APIs externas e gerenciamento de dados. Os *scripts* são executados em um ambiente virtual seguro, permitindo que os usuários desenvolvam soluções avançadas sem ter que lidar com questões relacionadas à segurança. A plataforma do *Google Scripts* também fornece ferramentas para criação de gráficos e interações entre usuários e dispositivos.

Sendo assim, para o envio dos dados foi usada a plataforma do *Google Scripts*, para criar um app da *Web* com o serviço HTML que juntamente ao *Google Sheets*, ferramenta gratuita para criação de planilhas que funciona integrada ao *drive* do Google, armazena os dados a serem obtidos. O *Google Sheets* funciona totalmente *online*, portanto, pode ser usado como banco de dados em “nuvem”. Sendo necessário somente ter uma conta Google / Gmail.

Para a implementação do código utilizou-se a função `doGet()` que informa ao script como exibir a página. A interface do sistema e o uso da função podem ser vistos na Figura 8. A função precisa retornar um objeto `HtmlOutput`, e a cada vez que rodar a URL, será inserida uma nova linha na planilha usada como banco de dados.

Na programação do NodeMCU foram usadas as bibliotecas *Wifi* e *HTTPClient*. A conexão *WiFi* permite que o NodeMCU ESP32 se conecte a uma rede local e faça o envio de dados para *web*. Já o *HTTP Client* fornece uma maneira fácil de realizar *upload* em banco de dados. Esta abordagem é ideal para projetos IoT, pois permite que o dispositivo receba informações de qualquer lugar do mundo.

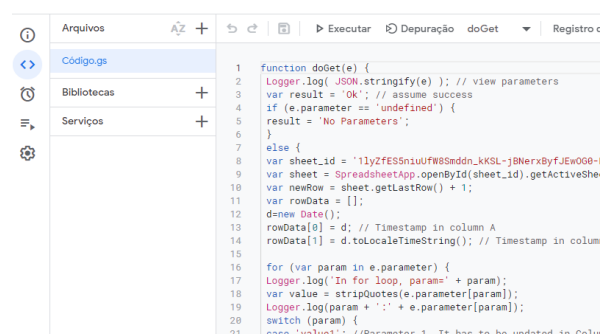
E. Visualização dos dados

A quantidade de dados gerados a partir do monitoramento pode tornar difícil analisar e obter informações. “Big data” se refere a um conjunto de dados dinâmicos gerados por sistemas complexos que possuem três

características principais: volume, velocidade e variedade. O objetivo da pesquisa em big data é extrair informações úteis a partir de grandes conjuntos de dados e aplicá-las para melhorar a tomada de decisões em diversos campos, como negócios, saúde, ciência e tecnologia [15]

O principal objetivo da visualização de dados desse Projeto é informar de maneira clara e objetiva ao consumidor (usuário), utilizando meios gráficos e numéricos, o consumo mensal de energia elétrica da sua residência para serem monitorados. Para isso, será usada o *Google Data Studio*, ferramenta *on-line* de visualização de dados que permite a criação de relatórios e painéis personalizados. É baseado em recursos intuitivos, como gráficos interativos e filtros, e permite a análise profunda dos dados a partir de banco de dados ou planilhas.

Figura 8 - Interface do Google Scripts com parte do código usado na implementação do Script

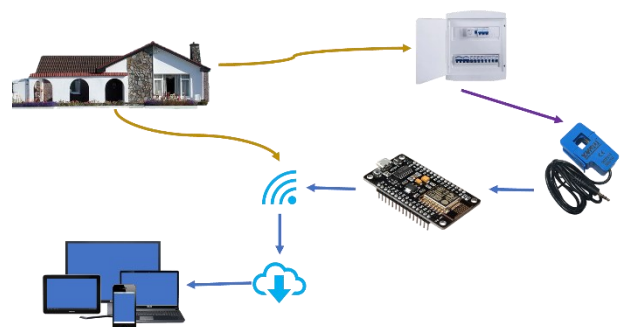


Fonte: Autoria Própria, 2023

F. Overview do Sistema

A Figura 9 apresenta o esquema utilizado para a coleta dos dados de consumo de energia elétrica, no caso, o *design* do sistema. O sensor de medição de energia foi instalado no quadro de distribuição da residência, próximo ao disjuntor geral, a fim de capturar os dados de consumo em tempo real. O período de coleta de dados foi de três dias.

Figura 9 -Design do Sistema



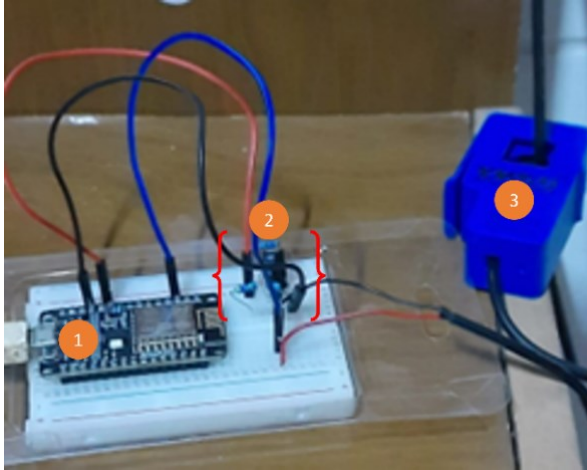
Fonte: Autoria Própria, 2023

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nos testes iniciais, para verificar se os resultados obtidos no Projeto proposto estavam em conformidade, foram realizadas medições com um ferro de passar elétrico e um ventilador, equipamentos de uso residencial, com o objetivo de realizar as comparações dos valores encontrados neste trabalho com valores obtidos por meio do equipamento de

medição e das especificações desses equipamentos. Os resultados se mostraram satisfatórios e com erro inferior a 1%, o protótipo usado nos testes pode ser visto na Figura 10, em que (1) é o microcontrolador NodeMCU ESP32, (2) é o circuito adaptativo já mostrado na Figura 6 e (3) o Sensor de corrente.

Figura 10 - Protótipo desenvolvido



Fonte: Autoria Própria, 2023

Devido aos ruídos digitais gerados pelo NodeMCU ESP32 ou algum ruído externo captado pela Protoboard ou até mesmo pela fiação e talvez pelo próprio conversor AD, é possível captar leituras quando não há corrente fluindo no sistema. Isso ocorre, pois, para calcular a corrente RMS cada amostra atual do sensor é multiplicada por si mesma. A média é calculada e a corrente RMS é a raiz quadrada desse número. O mesmo ocorre se a corrente for o menor imaginável, logo, para qualquer carga de potência até 30 W, a medição se torna imprecisa.

Ressalta-se que nas piores condições possíveis e antes da calibração, uma medição de corrente pode estar em erro em quase 10%, conforme os dados da Figura 12

Tabela 2 - Fontes de erro na medição

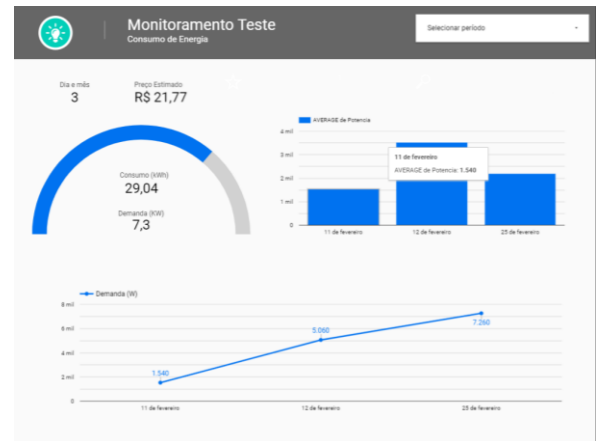
Local	Erro
Sensor de Corrente	$\pm 3\%$
Resistor <i>shunt</i>	$\pm 0,75\%$
Adaptador CA	$\pm 3\%$
Divisor de tensão	$\pm 1,8\%$
Referência analógica	$\pm 1,1\%$
Total	$\pm 9,65$

Fonte: Autoria Própria, 2023

A visualização dos dados coletados é uma das principais partes deste Projeto, pois tem a capacidade de deixar o usuário informado a respeito do consumo de energia elétrica diário da residência. O *layout* inicial usando a Data Studio, pode ser visto na Figura 11. Nessa página podem ser aplicados filtros, a fim de se ver os períodos de maior consumo de energia elétrica do local analisado. Também foram adicionados os dias de consumo, a estimativa do valor

monetário a ser pago e uma página para visualização dos dados diários.

Figura 11 - Página de visualização dos dados



Fonte: Autoria Própria, 2023

Ao analisar a Figura 11, é possível observar que o décimo segundo dia do mês analisado apresentou o maior consumo de energia elétrica dentre os três dias monitorados. Durante esse período, o consumo projetado totalizou R\$21,77. O gráfico de crescimento acumulado permite ao consumidor visualizar o consumo ao longo do tempo, enquanto o gráfico de barras facilita a identificação dos dias com maior ou menor consumo.

Durante o período de medição, o consumo da residência foi mantido acima de 30W durante todo o tempo, demonstrando uma estabilidade na leitura das informações, sem apresentar erros superiores a 1%. A partir da análise dos dados coletados, foi possível constatar que o Projeto proposto funcionou corretamente, realizando a leitura precisa das informações de corrente, o cálculo da potência e o envio dessas informações para a “nuvem”.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o desenvolvimento de todas as etapas do Projeto houve a preocupação em transmitir de forma didática, simples e direta a construção de um sistema que possibilite o monitoramento em tempo real do consumo de energia elétrica ao usuário. Esse dispositivo pôde ser desenvolvido com baixo investimento financeiro e possuir a mesma finalidade de outros sistemas semelhantes que são comercializados por preços bem mais elevados, conforme também já mostrado neste trabalho, que variaram entre R\$ 470,00 e R\$1059,00, enquanto o Projeto aqui desenvolvido teve um custo inferior a R\$ 70,00⁵.

Os resultados do monitoramento do consumo de energia elétrica da residência, mostraram que o protótipo realizou as medições de corrente e calculou a potência. Os valores de potência calculados foram armazenados em uma planilha na “nuvem” juntamente com a data e a hora em que foi realizada a leitura. Os dados armazenados foram tratados e disponibilizados em um painel, com isso se mostrou o gráfico de consumo por dia; o consumo total e o valor monetário em reais. Desta forma, foi possível monitorar o consumo de

⁵ Não foi considerado o custo com armazenamento na nuvem

energia elétrica da residência, possibilitando uma supervisão para se alcançar um controle dos gastos. Logo, o projeto informa o usuário sobre o consumo de energia elétrica consumida pela residência, podendo, claro, expandir para medição individual dos equipamentos e ou circuitos de acordo com as cargas.

Por outro lado, o sistema desenvolvido resolve somente parte do problema visto que mudanças no comportamento e hábitos também devem ser estimulados com educação e aconselhamento; paralelamente técnicas de monitoramento e controle também compensariam os comportamentos inconscientes dos ocupantes por meio de controles de agendamento, otimização do sistema e controle de detecção de ocupantes.

Para trabalhos futuros sugere-se implementar sensor de tensão para medir as variações da rede e o fator de potência; alterar a tarifa de consumo de energia de acordo com o estado de residência do usuário, incorporação de uma ou mais unidades autônomas de resolução, detecção e solução de problemas ao longo do sensoriamento e desenvolvimento de plataforma própria para apresentação dos dados e controle das automações.

REFERÊNCIAS

- [1] SOUSA, D. F. D. et al. Efficiency, quality, and environmental impacts: A comparative study of residential artificial lighting. **Energy Reports**, v. 5, p. 409-424, 1 Novembro 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484718303652?via%3Dihub>>.
- [2] EXXON MOBIL. **2022 Outlook for Energy**. ExxonMobil: Irving. Texas. 2021.
- [3] COSTA, J. D. S.; ANDRADE JUNIOR, L. M. D. Eficiência energética aplicada ao consumo de energia elétrica: um estudo de revisão bibliográfica. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e26210414085, Abril 2021. ISSN 2525-3409. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/14085/12664>>.
- [4] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). **Balanco Energético Nacional 2022: Ano base 2021**. EPE. Rio de Janeiro. 2022.
- [5] GONZÁLEZ-TORRES, et al. A review on buildings energy information: Trends, end-uses, fuels and drivers. **Energy Reports**, v. 8, p. 626–637, Novembro 2022.
- [6] ALTOÉ, L. et al. Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, p. 285–297, Abril 2017.
- [7] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**. EPE. Ministério de Minas e Energia. 2022.
- [8] WANG, Y. et al. **An energy-aware power monitor system aiming at energy-saving**. In Green and Sustainable Computing Conference (IGSC). Eighth International: IEE. 2017. p. 1-8.
- [9] KHAN, J. Y.; YUCE, M. R. **Internet of Things (Iot): Systems and Applications**. 1º. ed. New York: Jenny Stanford Publishing, 2019.
- [10] LIMA, M.; ALVES, ; JUCA, S. **Sistema IoT para Monitoramento de Temperatura e Umidade Ambientes e Acionamento Remoto de Cargas**. Anais da IV Escola Regional de Informática do Piauí. Porto Alegre: ERI-PI. 2018. p. 232 - 237.
- [11] EUCHNER,. The Internet of Things. **Research-Technology Management**, 3 Setembro 2018. p. 10 - 11.
- [12] SILVA, M. C. I. **Correção Do Fator De Potência De Cargas Industriais Com Dinâmica Rápida**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Eletrônica de Potência, 2009. Minas Gerais. 2009.
- [13] YHDC. **Split core current transformer**. Model: SCT-013. Warszawa.
- [14] EISTRONIC. **Introduction to NodeMCU ESP8266**. DEVKIT v1.0. Sabá. 2017.
- [15] CHEN, Y. et al. Big data analytics and big data science: a survey. **Journal of Management Analytics**, v. 3, n. 1, p. 1–42, Janeiro 2016.

APÊNDICE A – CÓDIGO MICROCONTROLADOR

```
#include <HTTPClient.h>
#include <WiFi.h>
#include "string.h"
#include "EmonLib.h"
EnergyMonitor emon1;

const char* ssid = "*****";
const char* password = "*****";

char *server = "script.google.com";

char *GScriptId = "*****";

const int httpsPort = 443;

TaskHandle_t Task1;
TaskHandle_t Task2;

WiFiClientSecure client;

void setup() {
    Serial.begin(9600);

    connect_wifi();

    xTaskCreatePinnedToCore(
        Task1code,
```

```

        "Task1",
        10000,
        NULL,
        1,
        &Task1,
        1);

[ xTaskCreatePinnedToCore(
    Task2code,
    "Task2",
    10000,
    NULL,
    1,
    &Task2,
    0);

}

void loop() {
    disableCore0WDT();
}

void Task1code( void *pvParameters ) {

    emon1.current(1, 111.1);
    for (;;) {

        double Irms = emon1.calcIrms(1480);
        double potencia = Irms * 220;

    }
}

void Task2code( void *pvParameters ){

    for(;;){

        enviarMedicao();

    }
}

void connect_wifi(void)
{

    Serial.print("Connecting to wifi: ");
    Serial.println(ssid);
    Serial.flush();

```

```

WiFi.begin(ssid, password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
{

    delay(500);
    Serial.print(WiFi.status());
    Serial.print(".");
}

Serial.println("");
Serial.println("WiFi connected");
Serial.println("IP address: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
}

void enviarMedicao()
{
    HTTPClient http;

    tempoEnvio = millis() - tempoEnvio;
    String url = String("https://script.google.com") +
"/macros/s/" + GScriptId + "/exec?" + "value1=" + Irms +
"&value2=" + potencia + "&value3=" + tempoEnvio;
    tempoEnvio = millis();

    Serial.print("Making a request");
    http.begin(url.c_str()); //Specify the URL and certificate

    http.setFollowRedirects(HTTPC_STRICT_FOLLOW_REDIRECTS);
    int httpCode = http.GET();
    String payload;
    if (httpCode > 0) { //Check for the returning code
        payload = http.getString();

        Serial.println(httpCode);
        Serial.println(payload);
        // testdrawstyles(payload);
        //if (httpCode == 200 or httpCode == 201)
        tempPing.Saida(0);
    }
    else {
        Serial.println("Error on HTTP request");
    }
    http.end();

}

```