

# Implementação de um sistema microcontrolado de monitoramento de consumo energético para pequenos consumidores

**OLIVEIRA**<sup>1</sup>, Anderson Dias de; **SILVEIRA JÚNIOR**<sup>2</sup>, José Joaquim da.

1 – Professor na Universidade do Vale do Sapucaí.

2 – Graduando em Engenharia de Controle e Automação na Universidade do Vale do Sapucaí.

andersondias.prof@gmail.com; juniorsilveira15@gmail.com

## RESUMO

Sistemas microcontrolados, especialmente quando incorporam a programação Arduino, são empregados no monitoramento de energia para pequenos consumidores com o objetivo principal de possibilitar o controle e a gestão eficientes do consumo elétrico. Esses sistemas utilizam microcontroladores para coletar, processar e analisar dados relacionados ao consumo de energia em tempo real. Isso permite a identificação de padrões de uso, facilita melhorias na eficiência energética e possibilita a detecção rápida de problemas. O presente artigo tem como propósito a implementação de um sistema microcontrolado, voltado para o monitoramento do consumo de energia em pequenos consumidores. A pesquisa seguiu uma metodologia estruturada, incluindo pesquisa bibliográfica, aquisição de *hardware*, montagem e calibração do circuito, coleta de dados e programação no ambiente Arduino. Por fim, a pesquisa demonstrou a escalabilidade do sistema e uma notável vantagem de custo, sendo apenas cerca de 11% do valor de sistemas similares no mercado. Além disso, destaca-se o uso de uma plataforma de interface amigável, baseada em um programa internacionalmente difundido, facilitando a aplicação e o manuseio pelos usuários.

**Palavras-chave:** Sistemas microcontrolados. Consumo energético. Energia elétrica. Arduino. Monitoramento.

## 1 INTRODUÇÃO

A eletricidade é usada pela humanidade desde a história antiga, iniciada de maneira intencional, quando Talles de Mileto percebeu que esfregar âmbar em pele de carneiro produzia energia estática. Durante os séculos XVIII e XIX, cientistas como Benjamin Franklin, Alessandro Volta e Michael Faraday contribuíram para expandir e desenvolver tecnologias para a utilização da eletricidade.

Conforme Santos (2018), atualmente a eletricidade é amplamente utilizada em diversas aplicações, tais como iluminação, aparelhos eletrônicos, eletrodomésticos, transporte, medicina, indústria, entre outras. Diante disso, torna-se incontestável a relevância da eletricidade em nossa sociedade contemporânea, sobretudo no que tange ao seu papel imprescindível no avanço tecnológico.

Segundo o Balanço Energético Nacional de 2022 (EPE, 2022) em 2021, a produção de energia elétrica no Brasil, proveniente de centrais de serviço público e autoprodutores,

alcançou a marca de 679,2 TWh, o que representa um aumento de 4% em relação a 2020. O país possui uma matriz elétrica predominantemente renovável, em que a fonte hídrica é responsável por mais da metade (53,4%) da oferta interna. Já em relação ao consumo final, houve um aumento de 5,7% sendo que os setores industrial e residencial se destacaram com participações de 37% e 26% respectivamente.

Diante disso, torna-se relevante ressaltar a importância de um sistema elétrico que seja eficiente em todas as etapas, desde a geração até o consumo, e que também seja capaz de fornecer aos consumidores informações adicionais para que possam tomar decisões mais conscientes (Silva et al., 2021).

Atualmente, grandes empresas podem contar com sistemas de gestão de energia elétrica inteligentes e eficientes, capazes de auxiliar na redução do consumo energético. Entretanto, no caso de pequenas aplicações, a gestão do consumo de energia elétrica ainda é limitada e os equipamentos disponíveis no mercado tendem a ter um alto custo financeiro.

Com o avanço da indústria 4.0, o gerenciamento energético está cada vez mais prático e acessível ao consumidor. O emprego de recursos de inteligência artificial, combinados com a Internet das coisas (*Internet of Things* (IoT)), podem permitir a previsão no consumo e custos de energia, além de auxiliar na detecção de desperdícios e na tomada de decisão mais eficiente dos processos produtivos.

De acordo com Gupta (2017), pode-se definir como Internet das Coisas, um conjunto de dispositivos embarcados, conectados à internet, que geram dados que posteriormente serão analisados, processados, armazenados e disponibilizados, permitindo a interação com o meio físico.

O objetivo do presente artigo é desenvolver um sistema de monitoramento de energia elétrica voltado para pequenos consumidores, como residências, pequenas empresas e estabelecimentos comerciais de pequeno porte. Diante do crescente desafio de controlar os gastos energéticos e da falta de gerenciamento eficiente, a busca por soluções inovadoras tornou-se imperativa.

A tecnologia proposta viabiliza a implementação de uma solução de gestão elétrica eficiente, altamente adaptável e de baixo custo que promove a otimização de processos e a redução de custos.

Portanto, o propósito deste trabalho é efetuar o monitoramento do consumo de energia elétrica de dispositivos individuais. Isso será realizado por meio da leitura de dados com o auxílio do sensor SCT-013, integrado à plataforma Arduino UNO. A ideia é apresentar essas

informações de maneira simples, expostas por meio de dispositivos computacionais, como computadores ou *notebooks* para promover a conscientização sobre o consumo energético.

## **2 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO**

A eletricidade chegou ao Brasil no final do século XIX, com a instalação de usinas hidrelétricas em São Paulo e no Rio de Janeiro. Em 1901, foi criada a primeira empresa de energia elétrica do país, a Light, que começou a fornecer eletricidade para a cidade do Rio de Janeiro. A partir daí, outras empresas foram surgindo em diversas partes do país.

Durantes as décadas seguintes, a eletricidade se expandiu rapidamente pelo Brasil, impulsionando o desenvolvimento industrial e urbano. Na década de 1960, foi criado o sistema interligado nacional, que permitiu a integração das diversas redes de energia elétrica do país.

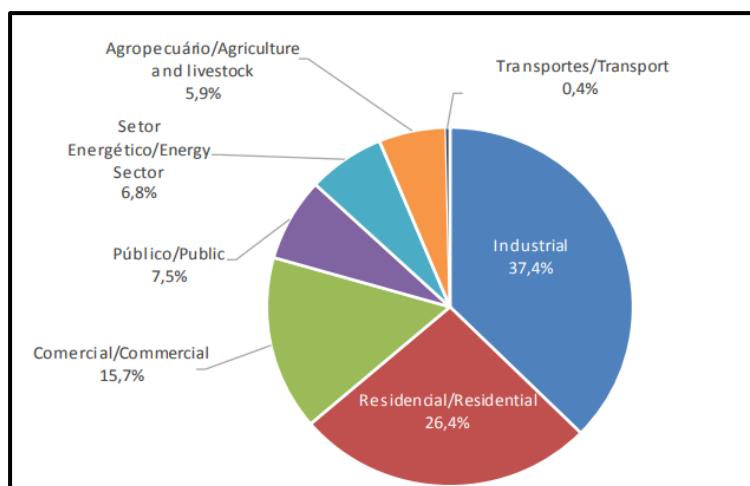
No final dos anos 1990, o setor elétrico passou por uma reforma para aumentar a competição e a eficiência. O governo federal criou a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que regula o setor e promove leilões para contratação de novas usinas. Desde então, o Brasil tem investido em fontes renováveis de energia, como a eólica e a solar, além de continuar a explorar a energia hidrelétrica.

De acordo com Borges (2021), o setor elétrico é desenvolvido a partir de políticas públicas que tem como objetivo demonstrar que os investimentos visam o crescimento econômico e a melhoria da qualidade de vida da população. O desenvolvimento socioeconômico está diretamente vinculado à evolução do setor elétrico, na medida em que a eletricidade é o insumo básico para o melhoramento de outros fatores essenciais como saúde, educação, alimentação, água e saneamento.

Conforme dados do Balanço Energético Nacional de 2022 (EPE, 2022), o consumo de energia elétrica em 2021 apresentou variações em relação ao ano anterior. Em termos absolutos, o setor industrial liderou o avanço, com um aumento de 15,0 TWh (+7,5%) em seu consumo, seguido pelo setor comercial com um crescimento de 4,8 TWh (+5,7%). O setor agropecuário também apresentou um crescimento significativo, com um aumento de 1,4 TWh (+4,2%), enquanto o setor residencial teve um aumento de 1,6 TWh (+1,1%).

A partir da análise da Figura 1 abaixo, é possível observar que os setores industrial, residencial e comercial foram responsáveis por aproximadamente 80% do consumo de energia elétrica disponibilizada em 2021, sendo somente o residencial e comercial responsáveis por 42,1%.

Figura 1 – Gráfico de participação setorial no consumo de eletricidade.



Fonte: Adaptado do Balanço Energético Nacional (2022)

## 2.1 Gerenciamento do consumo de energia elétrica

A demanda por energia elétrica em todo o mundo aumentou e tem sido amplamente discutido sobre a importância do uso consciente da eletricidade. Mesmo que o crescimento econômico no Brasil não tenha atingido as expectativas, o consumo de energia permanece alto.

Isso realça a importância do uso mais eficiente dos recursos naturais em todas as etapas da produção e utilização de eletricidade. Infelizmente, o modelo convencional de fornecimento de energia elétrica não é capaz de fornecer aos consumidores informações adequadas, dificultando tomadas de decisão mais eficientes.

O alto consumo de energia elétrica é uma preocupação comum tanto para as pessoas físicas, quanto para jurídicas. É frequente o desconhecimento sobre qual aparelho contribui significativamente para o aumento da conta de luz. A simples leitura da cobrança, não é suficiente para identificar qual equipamento está consumindo demais e qual o impacto desse consumo no valor final da fatura (Possato; Martins, 2022).

De acordo com Possato e Martins (2022), para solucionar essa questão, é necessário fazer uma medição individual de cada equipamento, permitindo a comparação com outros da mesma categoria e a possível substituição de algum aparelho que influencie diretamente no valor da conta.

No contexto atual, muitos dos pequenos consumidores de energia não têm o hábito de monitorar seu consumo em tempo real. O monitoramento permite a identificação de padrões de consumo, melhorias na eficiência energética e detecção rápida de problemas. Com as

tecnologias disponíveis no mercado, implementar sistemas de monitoramento em tempo real tornou-se mais acessível e vantajoso.

Conforme Przysiada et al. (2020), com um sistema de monitoramento de consumo de energia elétrica, um usuário pode fazer a gestão de seu consumo de maneira dinâmica, tendo mensagens de alertas para consumo excessivo de energia, definindo um perfil de usuário e até mesmo criando limitações para o gasto mensal.

É importante ressaltar que mesmo pequenas empresas e residências podem se beneficiar da implementação de sistema de gestão de energia elétrica, não só contribuindo para a sustentabilidade, mas também reduzindo custos a longo prazo. Para isso, é necessário um maior conhecimento e conscientização sobre a importância da eficiência energética e da utilização de tecnologias disponíveis no mercado.

## **2.2 Sistemas microcontrolados**

A automação utiliza-se de técnicas computadorizadas ou mecânicas para melhorar e otimizar os processos produtivos em diversos setores econômicos. Com o avanço da tecnologia, foram desenvolvidos diversos microcontroladores e produtos eletrônicos, permitindo a programação de sistemas com maior eficiência energética e comodidade para o usuário (Silva et al., 2022).

Sistemas microcontrolados referem-se a dispositivos eletrônicos que possuem um microcontrolador incorporado. Esses microcontroladores são responsáveis por controlar e executar tarefas específicas em um sistema, como sensores, atuadores e outros componentes eletrônicos. Eles são programáveis e podem ser usados em uma ampla variedade de aplicações, desde eletrodomésticos até sistemas industriais.

Os microcontroladores são circuitos integrados que contêm um processador, memórias e periféricos de entrada e saída. Eles têm a capacidade de executar várias funções, com o objetivo principal de controle, através de uma programação própria (Silva et al., 2022).

Segundo Silva et al. (2022), esses componentes são amplamente utilizados na automação de processos e atividades, tanto em ambientes residenciais quanto industriais. Praticamente todos os dispositivos eletrônicos, como micro-ondas, controles remotos, impressoras e celulares, possuem um microcontrolador incorporado em sua estrutura física.

Em suma, sistemas microcontrolados possuem baixo custo, são flexíveis, fáceis de usar, eficientes em termos de energia e escaláveis. Essas vantagens tornam esses sistemas atrativos para pequenos consumidores que desejam desenvolver projetos eletrônicos personalizados, dispositivos autônomos ou soluções IoT de forma mais acessível.

### 2.2.1 Software embarcado e monitoramento do consumo de energia elétrica

Um *software* embarcado é projetado especificamente para ser executado em um dispositivo embarcado, como microcontroladores, sistemas embarcados e dispositivos eletrônicos. Ele é armazenado diretamente no *hardware* do dispositivo e é responsável por controlar e gerenciar suas funcionalidades.

Sistemas embarcados são amplamente utilizados em várias atividades humanas devido ao seu baixo custo e facilidade de aplicação em comparação com outros sistemas. Eles podem ser encontrados em telefones celulares, sistemas de controle de automóveis e aviões, eletrodomésticos e na automação residencial (Dal Pont, 2020).

Conforme Dal Pont (2020), esses sistemas possuem capacidade de processamento de informações através de *software* interno e são compostos por uma unidade de processamento, que é um circuito integrado, fixado em um circuito impresso.

Um sistema embarcado consiste em uma unidade de processamento, que é um circuito integrado, fixado em uma placa de circuito impresso. Ele tem a capacidade de processar informações através de um *software* interno que está embutido na unidade de processamento (Máximo, 2022).

Na Figura 2 é possível verificar a lógica de um sistema embarcado contendo um microcontrolador/microprocessador.

Figura 2 - Lógica de um sistema embarcado microprocessado.



Fonte: Adaptado de Máximo (2022)

### 2.2.2 Arduino IDE (Integrated Development Environment)

O desenvolvimento de soluções eficientes de gerenciamento de energia pode ser facilitado por várias ferramentas que auxiliam no processo, incluindo o Arduino IDE, do

inglês “*Integrated Development Environment*”, ou “Ambiente de Desenvolvimento Integrado” em português.

De acordo com Almeida et al., (2021), o Arduino é uma plataforma composta por uma placa de *hardware* e um *software*, totalmente acessível e de código aberto (*Open-Source*), onde qualquer pessoa pode usá-la gratuitamente para desenvolver seu projeto. A plataforma foi projetada para fornecer uma introdução amigável e prática ao mundo da eletrônica e programação.

O *hardware* do Arduino da Figura 3 consiste em uma placa equipada com um microcontrolador e pinos de entrada/saída para conexão de componentes eletrônicos. O *software* é uma IDE executada no computador, onde os usuários podem escrever o código de programação que será executado pelo Arduino (Almeida et al., 2021).

Figura 3 – Placa arduino.



Fonte: Arduino.cc, 2019

Por ser uma plataforma acessível e de baixo custo, desenvolver um *software* utilizando a plataforma Arduino têm-se vantagens como acessibilidade, facilidade de uso, flexibilidade, compatibilidade e escalabilidade. Logo, o Arduino torna-se uma opção viável para pequenos consumidores que desejam monitorar e gerenciar seu consumo de energia elétrica de forma econômica e personalizada de acordo com o seu negócio.

No caso deste trabalho utilizar-se-á a plataforma Arduino UNO®, possuindo a mesma uma unidade microcontrolada ATMEL 8951C.

### 2.2.3 Monitoramento do consumo de energia elétrica

O *software* embarcado para gerenciamento de energia elétrica em pequenos consumidores é projetado para monitorar e controlar o consumo de energia elétrica em residências, escritórios ou pequenos estabelecimentos comerciais. Esse tipo de *software* é

implementado em dispositivos embarcados, que são integrados a medidores inteligentes de energia ou a sistemas de automação residencial.

O monitoramento do consumo de energia elétrica proporciona uma forma de utilizar dados de maneira inteligente para uma gestão mais eficiente. A possibilidade do acesso em tempo real aos dados de consumo dos dispositivos monitorizados através de um *layout* interativo, pode facilitar a interpretação dos dados e a tomada de decisões por parte do usuário (Máximo, 2022).

Segundo Máximo (2022), o monitoramento permite identificar desvios no consumo em relação às curvas típicas para diferentes períodos, bem como para realizar medições segmentadas por setores ou equipamentos. Isso permite a detecção mais específica de desperdício de energia. Além disso, proporciona o acompanhamento em tempo real do valor gasto diariamente, mensalmente ou anualmente, entre outros benefícios.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

A pesquisa adotou uma metodologia estruturada que englobou os seguintes estágios: pesquisa bibliográfica para embasar o projeto, aquisição de hardware e ferramentas de prototipagem, montagem e calibração do circuito de monitoramento, coleta de dados de consumo de energia, e a programação das funcionalidades requeridas no ambiente de desenvolvimento Arduino. Essas etapas constituíram a base fundamental para a execução e análise do trabalho de pesquisa, assegurando a robustez e rigor técnico das abordagens adotadas.

A plataforma de desenvolvimento Arduino se mostrou a escolha ideal para a concretização do protótipo. Isso se deve ao fato de que a plataforma Arduino já incorpora todos os componentes necessários em um único circuito impresso. Além disso, sua notável capacidade de interagir de maneira descomplicada com sensores digitais e analógicos desempenhou um papel decisivo na tomada de decisão.

O sensor selecionado para este estudo é o SCT-013 100A, notável por sua característica não intrusiva, o que elimina a necessidade de intervenções no circuito elétrico subjacente. Essa abordagem permite a medição da corrente elétrica de maneira eficaz e segura, sem a necessidade de modificar a infraestrutura elétrica existente.

O sensor da figura 4 em análise, apresenta uma especificação técnica com um pico primário de 100A e uma saída de pico secundário de 50mA, com um fator K igual a 2000. Nota-se que sua faixa de operação não é linear, com uma variação de 3%, e sua taxa de



variação abrange valores entre 10% e 120%, correspondendo a correntes entre 10A e 120A (Brito, 2016).

Figura 4 – Sensor de Corrente SCT-013.



Fonte: Yhdc 2019

Com o objetivo de habilitar as leituras do sensor, é imperativo estabelecer uma variação de tensão conhecida como "Resistor de Carga". Este procedimento implica na identificação da corrente máxima que o sensor pode aferir (100A). Posteriormente, é necessário converter essa corrente máxima RMS para a corrente de pico primário, que equivale a 141,4A. Com um valor de relação de transformação (K) fixado em 2000, a próxima etapa envolve o cálculo da corrente de pico secundário, que totaliza 0,0707A.

Para assegurar maior precisão na integração com o Arduino, a recomendação é a utilização de metade da tensão máxima suportada por esse dispositivo, que se situa em 2,5V. Isso resultará em um valor de resistência para o "Resistor de Carga" de 35,36Ω e um valor de calibração correspondente a 60,606, conforme é calculado na Equação 4.

A partilha da corrente representa um mecanismo de segurança essencial, cuja finalidade reside na prevenção da ultrapassagem da tensão máxima suportada pelo Arduino. Isso é de suma importância, pois ultrapassar essa tensão máxima poderia potencialmente causar danos ao microcontrolador. O ato de dividir a corrente desempenha um papel crucial na preservação da integridade do sistema, viabilizando, ao mesmo tempo, o encaminhamento do sinal para o conversor analógico-digital do Arduino.

A corrente máxima que o sensor é capaz de ler é limitada a 100 A. Em seguida, realiza-se a conversão dessa corrente máxima eficaz (RMS) para corrente de pico primário, conforme a Equação 1 a seguir:

$$I_{pico1} = I_{rms} \sqrt{2} \quad (1)$$

Considerando o valor fixo da relação de transformação K estabelecido em 2000, podemos calcular a corrente de pico secundário por meio da aplicação da Equação 2:

$$I_{pico2} = I_{pico1}/K \quad (2)$$

Para garantir uma precisão superior com o Arduino, deve-se utilizar metade da tensão máxima suportada por esse dispositivo, que é 2,5V. Dessa forma, o valor da resistência pode ser determinado conforme a Equação 3:

$$R_{Burden} = 2.5/I_{pico2} \quad (3)$$

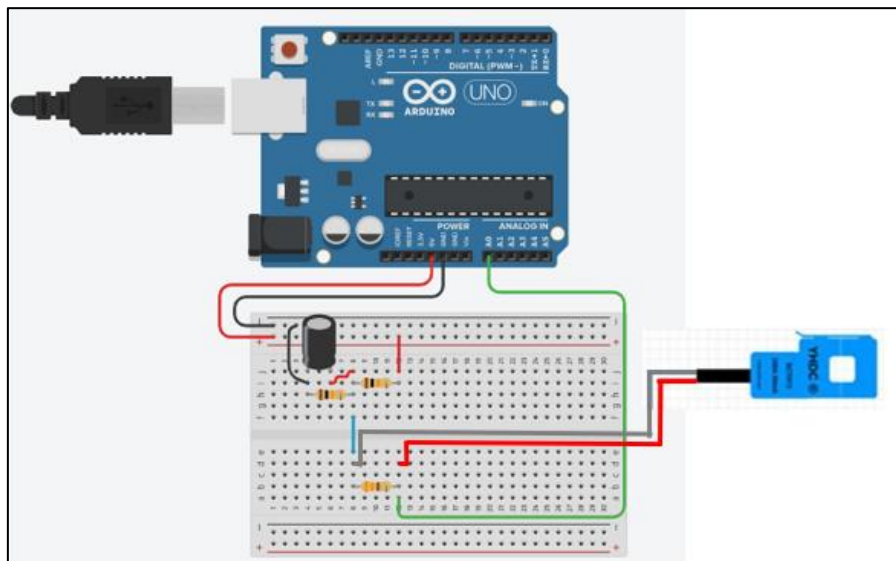
O valor de calibração correspondente:

$$V_{calibração} = 2000 / 33 = 60,606 \quad (4)$$

O sensor selecionado possui uma capacidade máxima de pico de 100A. Inicialmente, calculamos que o resistor ideal seria de 35,36Ω para a calibração. No entanto, durante nossos testes, optamos por usar um resistor de 330Ω. Isso resultou em um valor de calibração de 6,0606.

A escolha de um resistor maior se deve ao fato de que nossas aplicações não envolvem correntes próximas a 100A, o que contribui para uma precisão aprimorada nas leituras. Conforme a Figura 5 abaixo, os componentes adicionais utilizados no circuito incluem dois resistores de 10kΩ, um capacitor de 100uF e jumpers para as conexões necessárias.

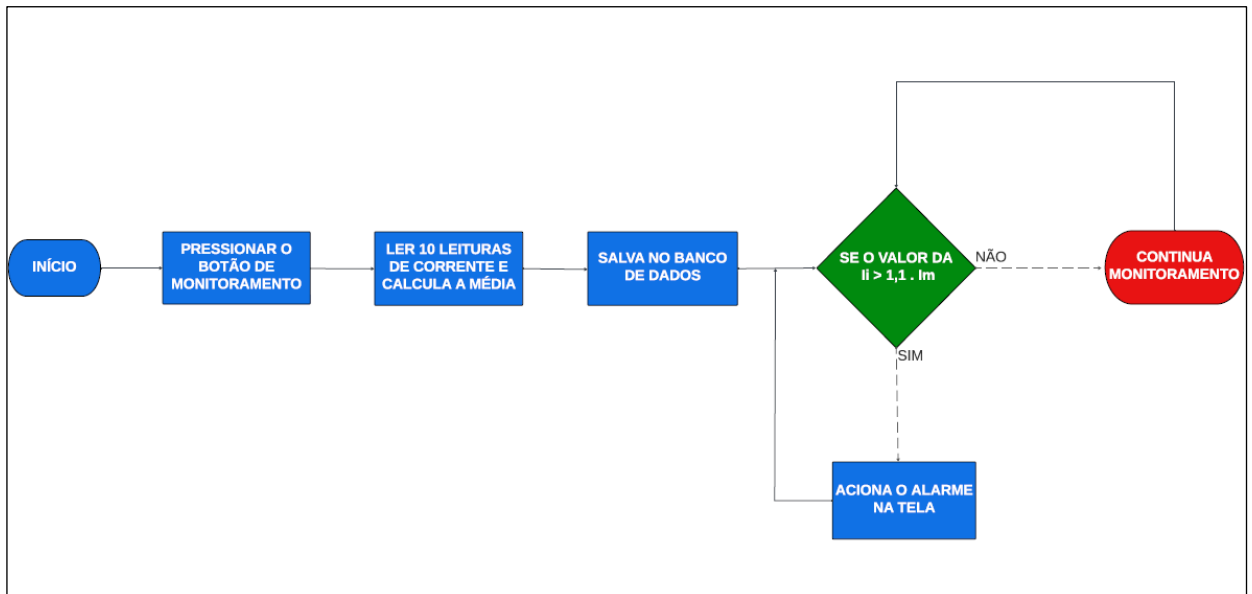
Figura 5 – Circuito elétrico.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta seção, será descrito o procedimento utilizado para a implementação do sistema de monitoramento de corrente elétrica controlado por Arduino, que inclui a temporização, a coleta de dados e a lógica de ativação do alarme e da alimentação do sistema controlado, conforme a Figura 6.

Figura 6 – Fluxograma do funcionamento do circuito elétrico.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O processo pode ser dividido em várias etapas distintas, conforme detalhado a seguir:

### 1. Instalação do Sensor de Corrente Indutivo

O sensor de corrente indutivo é estrategicamente instalado em uma das fases da rede elétrica, onde o equipamento alvo será conectado. Essa disposição permite uma leitura precisa da corrente elétrica circulante.

### 2. Funcionamento do Sensor de corrente Indutivo

O sensor de corrente indutivo, capta a intensidade do campo eletromagnético gerado pela corrente elétrica ao redor do condutor. O sinal resultante é transmitido ao microcontrolador para processamento subsequente.

### 3. Processamento no Microcontrolador

O microcontrolador desempenha uma função central no sistema, recebendo o sinal analógico em tensão vindo do sensor de corrente indutivo. Esse sinal é então encaminhado para o pino de entrada analógica do microcontrolador, A0. O microcontrolador possui um conversor analógico-digital (ADC) que converte o sinal analógico do sensor em um valor digital.

#### 4. Transferência de Dados para o Computador

O sinal processado é transferido via USB para o computador. A taxa de transferência é ajustada para uma leitura a cada 0,5 segundos. Esses dados são registrados no software Excel para posterior análise.

#### 5. Início do Monitoramento

Ao ligar o equipamento na rede elétrica, o usuário deve pressionar o botão de iniciar monitoramento. Este comando inicia o sistema, que conduzirá as seguintes operações sequencialmente.

#### 6. Coleta e Cálculo da Média da Corrente Elétrica

O sistema realizará 10 medições consecutivas da corrente elétrica instantânea, em intervalos de 0,5s. Posteriormente, calcula a média correspondente dessas 10 leituras. Esta média é então registrada no banco de dados associado ao sistema.

#### 7. Ativação de Alarme em Caso de Anomalia

Em seguida, o sistema verifica se a corrente elétrica aferida ultrapassa 10% em comparação com média inicialmente calculada. Se tal anomalia for detectada, o programa ativará um alarme na tela, alertando o usuário para a variação significativa na corrente elétrica.

Para este trabalho foi considerado um parâmetro de corrente anômalo em 10% acima da corrente nominal do equipamento. Este valor de corrente foi definido em laboratório através da medição da intensidade da corrente elétrica em carga adotada durante um período de 3:40h. As medições foram feitas a cada 5 minutos, totalizando 45 amostras.

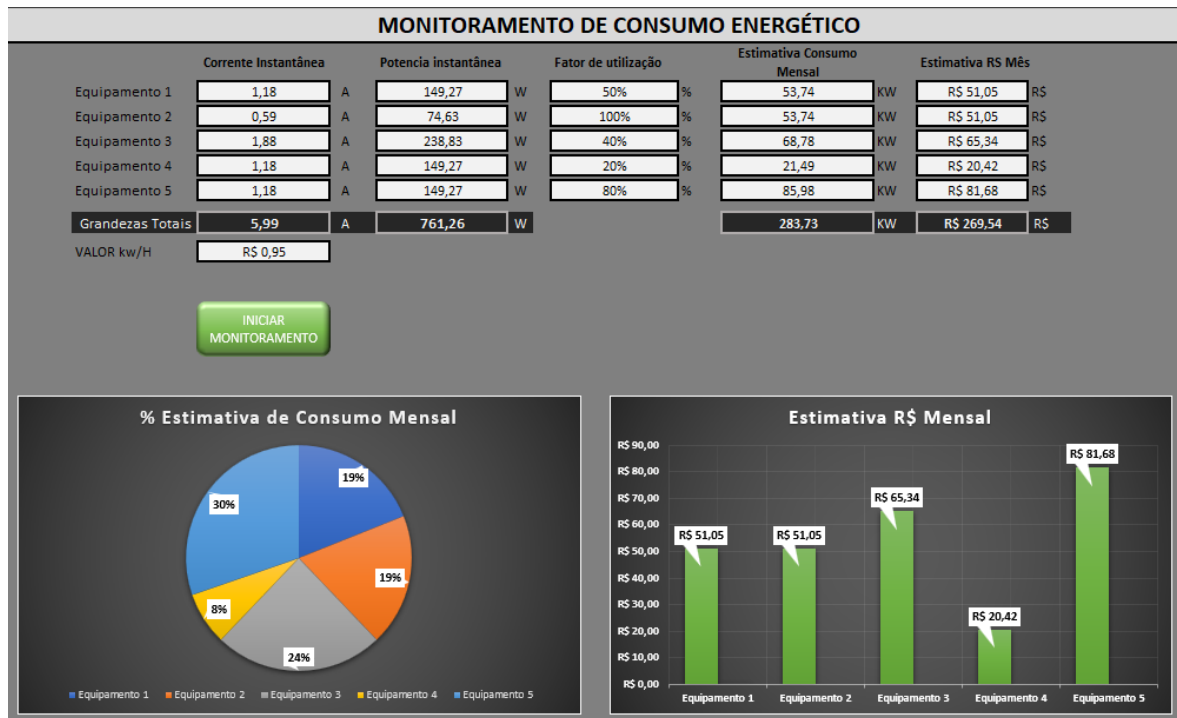
Foi identificado uma variação máxima de 7,5% no valor nominal da corrente durante o tempo de leitura, assim, definiu-se o valor em 10% de variação superior, considerando margem de variação máxima (7,5%) adicionada ao desvio padrão calculado em 2,5%.

#### 8. Continuidade do Monitoramento

Caso contrário, se a corrente elétrica instantânea estiver dentro dos parâmetros normais, o sistema prosseguirá normalmente com o monitoramento, conduzindo leituras instantâneas em intervalos regulares.

Com o objetivo de otimizar a supervisão do consumo energético monitorado, elaborou-se uma planilha no Microsoft Excel. Através do cálculo da média da corrente instantânea, a planilha possibilita a visualização da potência instantânea, a estimativa mensal de consumo considerando o fator de utilização específico de cada equipamento, além de proporcionar a análise do valor a ser pago mensalmente por cada dispositivo, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Planilha de monitoramento de consumo energético



Fonte: Elaborado pelo autor.

A determinação da potência instantânea ocorre por meio do produto entre a tensão (V) e a corrente (Im), conforme expresso na Equação 5 apresentada a seguir:

$$P = V * I \quad (5)$$

Após a coleta dos dados referentes à potência e corrente, destaca-se a oportunidade de analisar o valor de kWh/mês, obtido através da aplicação do cálculo de consumo exemplificado na Equação 6 a seguir:

$$Consumo = \frac{Potência * Horas * Dias}{1000} \quad (6)$$

Após realizar o cálculo do consumo em kWh/mês, torna-se pertinente examinar a estimativa de gasto mensal, conforme Equação 7, utilizando como referência o valor do kWh estabelecido pela empresa responsável pela distribuição.

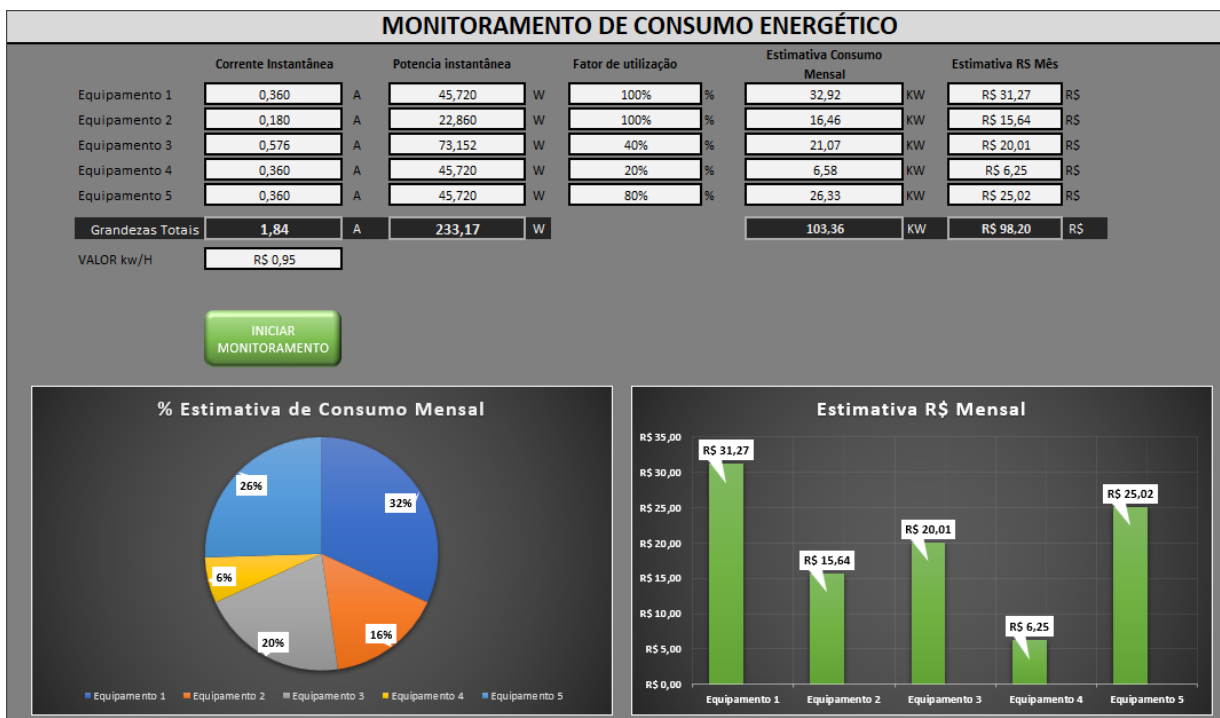
$$Custo R\$ = Tarifa * valor kWh \quad (7)$$

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para validar o protótipo e realizar a coleta de dados, utilizou-se o ventilador de mesa da marca Arno, cuja potência máxima foi de 87W. O sensor invasivo foi conectado em uma das fases do ventilador, permitindo a coleta de dados em tempo real e proporcionando uma análise mais aprofundada do desempenho do sistema.

Durante o processo de monitoramento, a coleta de dados foi iniciada com a velocidade 1, apresentando uma corrente elétrica instantânea de 0,360 A, resultando em uma potência instantânea de 45,720 W, com um fator de utilização de 100%. A estimativa mensal de consumo atinge 32,92 kW, representando um indicativo significativo da eficiência energética do equipamento em questão, no caso, o ventilador Arno (Equipamento 1). Com base nesses dados, a projeção de custo mensal é de R\$ 31,27, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Monitoramento de consumo energético



Fonte: Elaborado pelo autor.

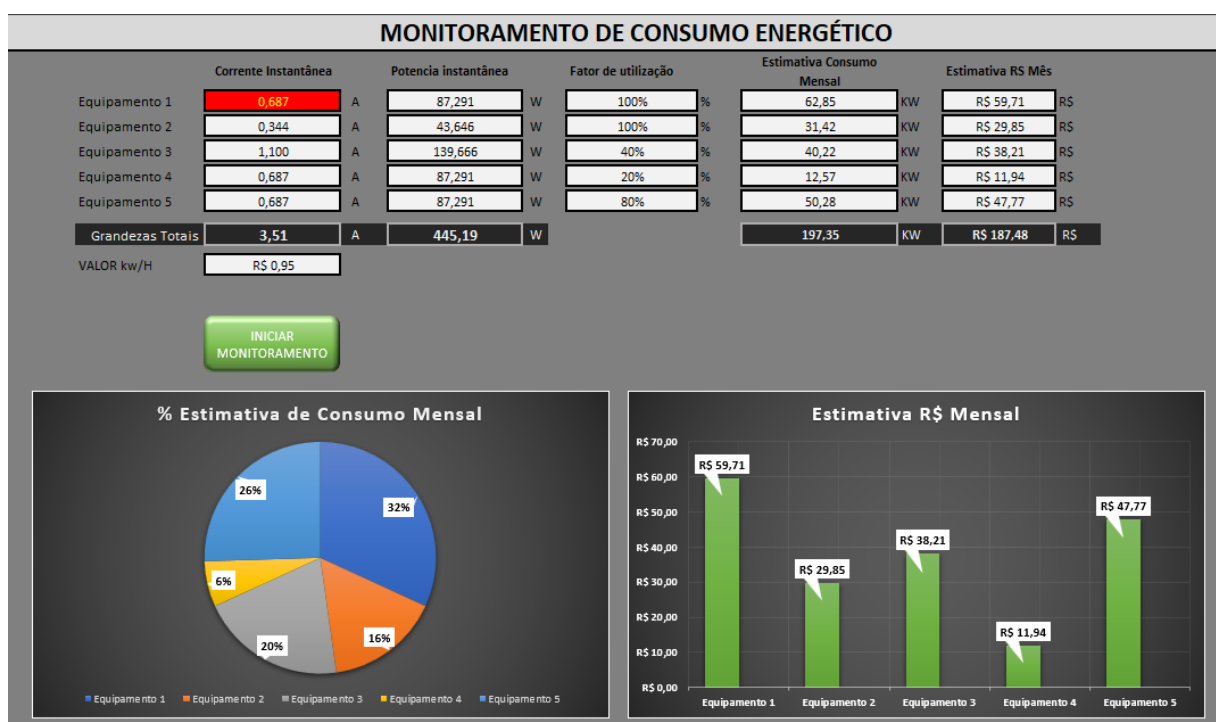
Com essa análise, é possível que o usuário tenha uma estimativa real do consumo ao longo de 30 dias, fornecendo informações valiosas para uma gestão eficaz e consciente do uso de energia.

Na Figura 9, a velocidade do ventilador foi alterada para o modo 2 (máxima), com o intuito de ultrapassar a margem de 10% em relação ao valor da corrente instantânea,

validando assim o funcionamento da programação. A corrente elétrica instantânea foi elevada para 0,687 A, com o objetivo específico de acionar o alarme na tela.

Este procedimento visa indicar que a corrente elétrica instantânea está além da margem nominal, sinalizando a existência de um problema no sistema elétrico do equipamento ou na rede elétrica. Essa abordagem prática revela a eficácia do sistema de monitoramento em identificar desvios operacionais, contribuindo para a detecção precoce de falhas e para a manutenção preventiva do equipamento.

Figura 9 – Monitoramento de consumo energético



Fonte: Elaborado pelo autor.

Vale ressaltar que é possível notar que na potência instantânea, conforme evidenciado na Figura 9, sofre alterações quando a velocidade do ventilador passa de 1 para 2 (máxima), assegurando, assim, a eficácia na precisão da leitura da corrente instantânea, sendo a potência alegada pelo fabricante do equipamento em 87W e a potência instantânea aferida em 87,291W.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos métodos e nos resultados apresentados anteriormente, nota-se que é viável implementar um sistema de baixo custo para monitoramento do consumo de energia elétrica em residências e pequenos comércios.

A proximidade entre os valores reais e medidos foram comprovadas, mostrando escalabilidade do sistema e notória vantagem com a relação ao custo, tendo em vista que este sistema custa aproximadamente 11% do valor total de um sistema similar de mercado. Vale ressaltar também, que a utilização de uma plataforma de interface amigável e que utiliza por base um programa difundido de base internacional, facilita aplicação e o manuseio do usuário.

Este projeto ainda tem a possibilidade de melhorias como a inserção do sistema em uma rede ethernet propiciando o acesso e controle de dados a distância.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Rildo Afonso et al. Sistema de monitoramento do consumo de energia elétrica utilizando a tecnologia Arduino *Monitoring system of electric energy consumption using arduino technology*. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 7, p. 72961-72984, 2021.

BORGES, Fabricio Quadros. Investimentos em energia elétrica e desenvolvimento: uma análise histórica entre 1995 e 2005 no Pará, Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 245-266, 2021.

BRITO, João Luis Grizinsky de. **Sistema para monitoramento de consumo de energia elétrica particular, em tempo real e não invasivo utilizando a tecnologia Arduino**. 2016. 104 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

DA SILVA, Jhonatan Henrique Rios. MINHONI, Danilo Carlos Rossetto. FLORIAN, Fabiana. PROPOSTA DE AUTOMAÇÃO EM UMA SELADORA DE COPOS UTILIZANDO MICROCONTROLADOR PIC16F628A. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 3, n. 12, p. e3122490-e3122490, 2022.

DAL PONT, Isabele Antunes. **Sistema Embarcados**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecatrônica) – Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC Campus Criciúma, Criciúma 2020.

EPE, 2022. **Balanco Energético Nacional (ano-base 2021)**. Disponível em: 16/05/2023 <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balancoenergetico-nacional-ben>.

GUPTA, H. V. D. A. G. S. K. ; B. R. *iFogSim: A toolkit for modeling and simulation of resource management techniques in the Internet of Things, Edge and Fog computing environments*. v. 47, n.9, p. 1–1296, 2017.



MÁXIMO, Hugo de Oliveira. **Desenvolvimento de um sistema para monitoramento e controle do consumo de energia elétrica em ambiente residencial**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel Engenharia de Controle e Automação) – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Amazonas Campus Manaus Distrito Industrial, Manaus, 2022.

POSSATO, Matheus Luiz. MARTINS, Paulo João. Monitoramento do consumo elétrico em equipamentos residenciais com a plataforma arduino. 2022.

PRZYSIADA, Felipe et al. Sistema Open-Source de Monitoramento do Consumo de Energia Elétrica. *Anais do Computer on the Beach*, v. 11, n. 1, p. 111-117, 2020.

SANTOS, B. P.. ALBERTO, A.. LIMA, T. D. F. M.. CHARRUA-SANTOS, F. M. B.. Indústria 4.0: Desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v.4, n.1, p.111-124, 2018.

SANTOS, Caio Silva. **Instalações elétricas: novas concepções**. 2018. Monografia de graduação em (Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Federal de Ouro Preto. 2018.

SILVA, Cleso Costa. FLAUZINO, José Eduardo. GOMES, Rafael Alexandre. SILVA, Richard Barbosa da. Uso da tecnologia Internet das coisas para gerenciamento do consumo de energia elétrica residencial. **Repositório universitário da Ânima (RUNA)**, Pouso Alegre, p. 1-22, 2021.