

## MEDIDOR DE VAZÃO, TEMPERATURA E POTÊNCIA DE BAIXO CUSTO PARA AQUECEDOR DE ÁGUA

### LOW-COST FLOW, TEMPERATURE, AND POWER METER FOR WATER HEATERS

Enzo Salema Ferreira<sup>1</sup>  
Jorge Galvão de Barros<sup>2</sup>  
Juan Carlos Cantarino Trindade da Silva<sup>3</sup>  
Thiago Gomes Ferreira Paes<sup>4</sup>  
Alex Franco Ferreira<sup>5</sup>

**RESUMO:** A eficiência energética em sistemas de aquecimento de água é um tema relevante frente ao aumento do consumo elétrico e à necessidade de uso racional dos recursos. Neste trabalho, foi desenvolvido um protótipo de baixo custo para monitoramento em tempo real de vazão, temperatura, tensão e corrente elétrica em um aquecedor de água, permitindo o cálculo da potência consumida. O sistema utiliza sensores específicos (YF-S201, MAX6675 com termopar tipo K, SCT-013-100 e ZMPT101B) integrados a um microcontrolador Arduino Uno R3 com módulo Wi-Fi, possibilitando futuras expansões para monitoramento remoto. Foram realizados ensaios experimentais em condições reais de operação, comparando-se as leituras do protótipo com instrumentos de referência. Os resultados indicaram boa correlação entre as medições, demonstrando a confiabilidade da solução proposta. O protótipo mostrou-se adequado para aplicações residenciais e acadêmicas, contribuindo para o acompanhamento do consumo energético, para a avaliação do desempenho térmico de aquecedores de água e para a conscientização quanto ao uso eficiente de água e energia.

**Palavras-chave:** Eficiência energética. Aquecedor de água. Medição de vazão. Arduino Uno R3. monitoramento de potência elétrica.

**ABSTRACT:** Energy efficiency in water heating systems is a relevant issue due to the increasing electricity demand and the need for the rational use of resources. In this work, a low-cost prototype was developed for real-time monitoring of flow rate, temperature, voltage and electric current in a water heater, enabling the calculation of the power consumption. The system employs specific sensors (YF-S201, MAX6675 with type-K thermocouple, SCT-013-100 and ZMPT101B) integrated with an Arduino Uno R3 microcontroller with Wi-Fi module, allowing future expansions for remote monitoring. Experimental tests were carried out under real operating conditions, comparing the readings obtained by the prototype with reference instruments. The results showed good agreement between the measurements, demonstrating the reliability of the proposed solution. The prototype proved to be suitable for residential and academic applications, supporting the monitoring of energy consumption, the evaluation of the thermal performance of water heaters and the promotion of awareness regarding efficient use of water and energy.

**Keywords:** Energy efficiency. Water heater. Flow measurement. Arduino Uno R3. Power monitoring.

<sup>1</sup>Discente do Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Vassouras.

<sup>2</sup>Discente do Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Vassouras.

<sup>3</sup>Discente do Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Vassouras.

<sup>4</sup>Discente do Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de Vassouras.

<sup>5</sup>Orientador; Professor. Universidade de Vassouras.

## INTRODUÇÃO

A eficiência energética é um dos pilares fundamentais para o desenvolvimento sustentável, especialmente em países com grande demanda energética como o Brasil. Desde a década de 1970, impulsionado pela crise do petróleo, o país passou a adotar medidas voltadas para o uso racional da energia, com destaque para a criação de programas governamentais como

Programa Conserve (1981), o Programa Brasileiro de Etiquetagem (1984),

Procel (1985) e o Conpet (1991). Essas iniciativas visaram promover a conscientização do consumidor, incentivar a indústria a adotar tecnologias mais eficientes e estabelecer padrões mínimos de desempenho energético para equipamentos e edificações (MME,2019).

A promulgação da Lei nº 10.295/2001, conhecida como Lei da Eficiência Energética, representou um marco regulatório ao instituir o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética, responsável por definir critérios técnicos para diversos setores. Mais recentemente, o Brasil reforçou seu compromisso com a eficiência energética ao incluir metas de redução de consumo no Plano Nacional de Eficiência Energética e nas contribuições nacionais determinadas (NDCs) no âmbito do Acordo de Paris, visando a redução de emissões de gases de efeito estufa (MME,2019).

Neste contexto, o presente trabalho propôs o desenvolvimento de um protótipo de monitoramento para aquecedor de água, capaz de medir em tempo real os principais parâmetros físicos e elétricos do sistema: temperatura, vazão, corrente e tensão elétrica. A partir dessas medições, o sistema calcula a potência consumida e exibe os dados em um display LCD, promovendo maior transparência no uso da energia e contribuindo para práticas mais conscientes e eficientes. O protótipo utilizou de sensores específicos e um microcontrolador Arduino Uno R3 com módulo Wi-Fi, permitindo futuras integrações com sistemas de monitoramento remoto. A proposta se alinhou aos esforços nacionais de eficiência energética, oferecendo assim, uma solução acessível e educativa para o controle do consumo em dispositivos térmicos residenciais.

Este projeto teve como objetivo o desenvolvimento de um protótipo funcional capaz de realizar a medição de temperatura, tensão elétrica, corrente elétrica e vazão de água em um dispositivo aquecedor. Além disso, o sistema foi capaz de calcular a potência elétrica consumida pelo aquecedor com base nas medições de tensão e corrente, e exibir todas essas informações em tempo real por meio de um *display* LCD. Essa solução pode ser aplicada em sistemas de

monitoramento de consumo energético e eficiência térmica, contribuindo para o uso consciente de recursos e para a manutenção preventiva de equipamentos.

Como objetivos específicos, este trabalho cumpriu a missão de:

Projetar um circuito de aquisição de dados capaz de integrar sensores de vazão, temperatura e potência elétrica em um único sistema de medição;

Implementar a interface entre os sensores selecionados (YF-S201, MAX6675 com termopar tipo K, SCT-013-100 e ZMPT101B) e uma plataforma de processamento embarcada, como o *Arduino Uno R3* ou o *ESP32*;

Desenvolver algoritmos de leitura, tratamento e exibição dos dados obtidos, garantindo precisão e estabilidade das medições;

Validar o sistema desenvolvido por meio de ensaios experimentais em condições reais de operação de aquecedores de água;

Comparar os resultados obtidos com instrumentos de referência, avaliando a confiabilidade do protótipo;

Investigar a viabilidade de aplicação do sistema em ambientes residenciais e acadêmicos, considerando aspectos de custo, acessibilidade e sustentabilidade;

Contribuir para o avanço de estudos relacionados à eficiência energética e ao monitoramento inteligente de cargas elétricas de grande consumo. A construção do protótipo será realizada em etapas bem definidas, conforme descrito: 6787

### **Seleção dos componentes necessários**

Para atingir os objetivos propostos, foram utilizados os seguintes componentes:

**Sensor de vazão:** O sensor de vazão YF-S201 apresentado na Figura 1 é um dispositivo de baixo custo amplamente utilizado em sistemas de monitoramento de água. Ele mede a vazão por meio de um rotor interno acoplado a um sensor de efeito Hall, o qual gera pulsos elétricos proporcionais ao fluxo da água. De acordo com seu datasheet, o modelo opera tipicamente entre 1 e 30 L/min, utilizando conexão hidráulica padrão de 1/2". (ELETROGATE,2022)

O funcionamento baseia-se na contagem dos pulsos produzidos durante a passagem de água. Esses pulsos são interpretados pelo microcontrolador, que converte a quantidade registrada em litros por minuto, considerando o fator de calibração informado pelo fabricante (aproximadamente 450 pulsos por litro). (ELETROGATE,2022)

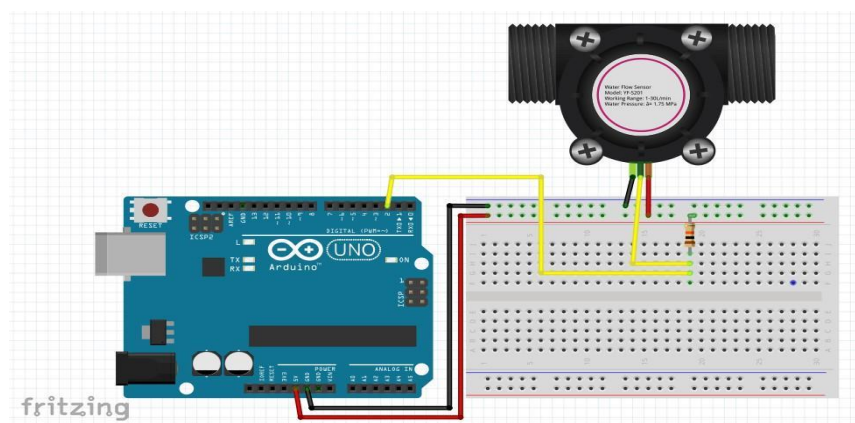
A pinagem do YF-S201 é composta por três condutores: (ELETROGATE,2022)

Vermelho – alimentação (5 V ou 12 V, conforme fabricante);  
Preto – terra (GND);  
Amarelo – saída de sinal (pulsos).

A ligação pode ser realizada diretamente ao Arduino por protoboard ou utilizando módulos intermediários, como o Grove Base Shield. A programação envolve a leitura dos pulsos por uma entrada digital, a contagem desses pulsos dentro de um intervalo definido e a conversão para valores de vazão, que podem ser exibidos em LCD ou monitor serial. (ELETROGATE,2022)

O YF-S201, apresentado na Figura 1, é uma solução prática e eficiente para projetos de automação residencial, irrigação e sistemas didáticos, destacando-se pela facilidade de integração e boa relação custo-benefício. (ELETROGATE,2022)

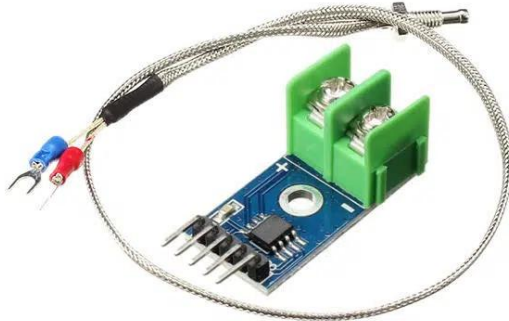
**Figura 1:** Sensor de vazão YF-S201



**Fonte:** Eletrogate (2022)

Sensor de temperatura: O módulo MAX6675, conforme Figura 2, é um conversor utilizado para leitura de temperatura por meio de um termopar tipo K. Ele amplifica e trata o pequeno sinal gerado pelo termopar, realiza a compensação de junta fria e fornece ao microcontrolador uma leitura digital já corrigida, via comunicação SPI. O conjunto opera em faixas elevadas de temperatura (0 °C a 1024 °C), possui boa precisão e é amplamente utilizado em projetos de automação, sistemas térmicos e experimentos acadêmicos. Devido à sua interface simples e baixo custo, integra-se facilmente ao Arduino. (MAKER HERO,2025)

**Figura 2:** módulo MAX6675



**Fonte:** Maker Hero (2025)

Sensor de corrente: O sensor de corrente SCT013-100, apresentado na Figura 3, é um TC (Transformador de Corrente de núcleo dividido), também conhecido como transformador de corrente não invasivo. Ele foi projetado para leitura de correntes de até 100 A, atendendo aos requisitos de diversos projetos. Por se tratar de um TC não invasivo, o sensor SCT013-100 possui apenas dois fios, normalmente conectados a um conector tipo P2. Este conector pode ser removido ou conectado a um adaptador conforme a necessidade do projeto. (YHDC,2025)

6789

**Figura 3:** Transformador de corrente SCT013-100



**Fonte:** YHDC (2025)

**Sensor de tensão:** O ZMPT101B da Figura 4, é um módulo de medição de tensão projetado para monitorar tensões AC, tal como a da rede elétrica, com alta sensibilidade e isolamento. Ele utiliza um pequeno transformador de precisão para reduzir a tensão de entrada e gerar um sinal proporcional e seguro para leitura por microcontroladores, como o Arduino. (CASA DA ROBÓTICA,2025)

O módulo inclui ajustes de ganho e um circuito de condicionamento, permitindo obter uma forma de onda estável para posterior cálculo da tensão RMS. Sua principal vantagem é o isolamento galvânico, que protege o circuito de baixa tensão contra falhas na rede elétrica. Por ser compacto, preciso e de fácil integração, é amplamente usado em sistemas de monitoramento de energia e automação residencial. (CASA DA ROBÓTICA,2025)

**Figura 4:** Módulo de medição de tensão

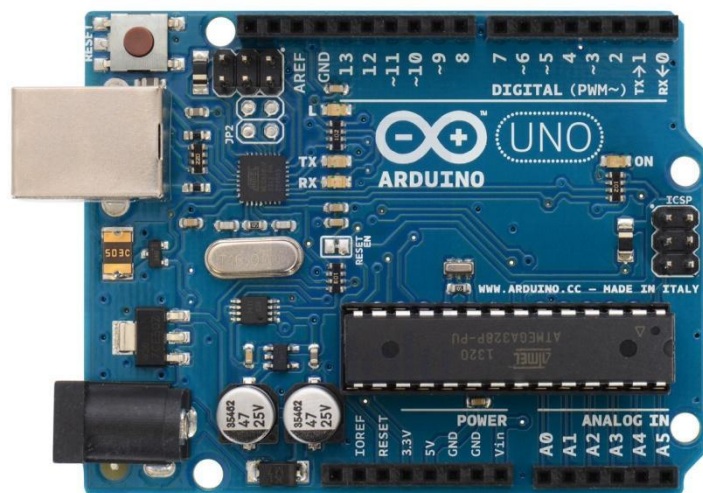


**Fonte:** Casa da Robótica (2025)

**Microcontrolador:** utilizou-se o Arduino Uno R3, equipado com módulo de Wi-Fi, permitindo futuras expansões para monitoramento remoto dos dados via rede local ou internet. O Arduino Uno R3, conforme pode ser visto na Figura 5, é uma plataforma de prototipagem eletrônica baseada no microcontrolador ATmega328P, desenvolvida com o objetivo de facilitar a aprendizagem e implementação de sistemas embarcados. Trata-se de uma placa amplamente utilizada em ambientes educacionais, laboratoriais e de desenvolvimento, devido à sua simplicidade de uso, robustez e grande variedade de bibliotecas disponíveis. Sua arquitetura permite a criação de projetos que envolvem leitura

de sensores, acionamento de atuadores e comunicação com outros dispositivos eletrônicos.  
(ARDUINO, [s.d.]

**Figura 5:** Arduino UNO R3



www.pololu.com

**Fonte:** Pololu (2025)

O Arduino surgiu no início dos anos 2000 no *Interaction Design Institute Ivrea*, na Itália, como um projeto voltado a estudantes e profissionais da área de design que necessitavam criar protótipos eletrônicos de maneira acessível. A versão Uno consolidou-se como padrão da plataforma, devido à sua estabilidade e compatibilidade com grande parte dos módulos e *shields* disponíveis. A revisão R3 introduziu melhorias na padronização dos pinos de comunicação, no circuito de interface USB e no alinhamento com novos modelos da plataforma, ampliando a interoperabilidade com acessórios e periféricos. (ARDUINO, [s.d.]

O funcionamento do Arduino Uno R3 baseia-se na execução de instruções previamente gravadas em sua memória Flash, por meio do microcontrolador ATmega328P. O processo se inicia pela alimentação da placa, que pode ser realizada tanto via porta USB quanto por fonte externa conectada ao conector de alimentação. O *bootloader* presente no microcontrolador permite a gravação de programas sem a necessidade de um gravador externo. (ARDUINO, [s.d.]

A placa conta com pinos digitais e analógicos para entrada e saída de sinais, além de interfaces de comunicação como UART, SPI e I2C. A conversão analógico-digital interna é utilizada para leitura de sensores, enquanto os pinos com função PWM permitem a geração de sinais modulados, úteis para controle de motores e luminosidade. A programação é realizada

por meio do ambiente de desenvolvimento Arduino IDE, que compila e envia o código diretamente para o microcontrolador. (ARDUINO, [s.d.]

O Arduino Uno R3 apresenta a seguinte organização de pinos apresentados na Figura 6, sendo eles:

**Pinos Digitais (D0–D13):** usados para entradas e saídas digitais, sendo que D3, D5, D6, D9, D10 e D11 oferecem suporte a PWM. Os pinos D0 (RX) e D1 (TX) são reservados para comunicação serial UART.

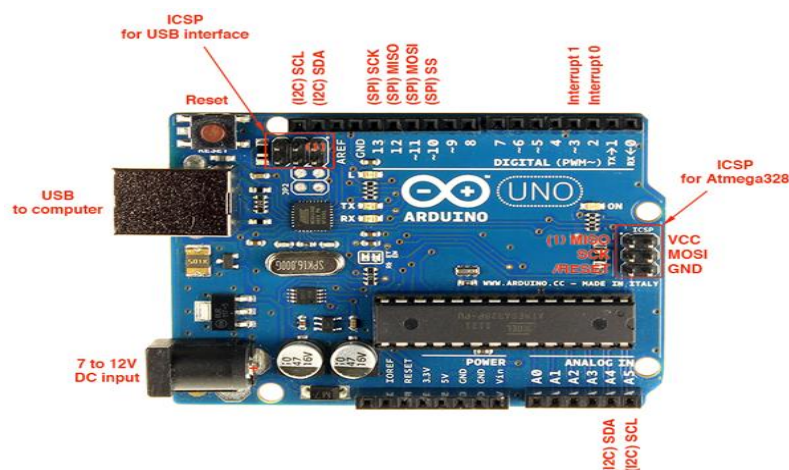
**Entradas Analógicas (A0–A5):** realizam leituras de sinais analógicos com resolução de 10 bits. Os pinos A4 e A5 exercem também função de SDA e SCL, respectivamente, na comunicação I2C.

**Comunicação SPI:** composta pelos sinais MOSI (D11), MISO (D12), SCK (D13) e SS (D10), também disponíveis no conector ICSP.

**Alimentação:** inclui pinos 5V, 3,3V, GND e VIN. O pino AREF permite a utilização de referência externa para o conversor A/D.

**Pinos Adicionais (R3):** SDA, SCL e IOREF próximos ao conector de alimentação, ampliando a compatibilidade com *shields* recentes. (ADAFRUIT,2012)

Figura 6: Diagrama de pinagem Arduino Uno R3



**Fonte:** Adafruit (2012)

Essa organização possibilita a integração do Arduino a diversos sensores, módulos e atuadores, tornando-o extremamente versátil em aplicações acadêmicas e profissionais.

A programação do Arduino Uno R3 é realizada principalmente por meio do Arduino IDE, ambiente que permite a escrita, compilação e envio de códigos ao microcontrolador.

Após selecionar a placa e a porta de comunicação adequadas, o usuário pode carregar programas diretamente via cabo USB. (ARDUINO, [s.d.]

O Arduino Uno R3 é empregado em projetos de automação, controle, instrumentação, robótica e Internet das Coisas, além de ser amplamente utilizado em pesquisas acadêmicas. Sua facilidade de utilização e vasto ecossistema de módulos contribuem para sua adoção em protótipos de baixa e média complexidade. (ARDUINO, [s.d.]

Fonte de alimentação: A HLK-5M05, visto na Figura 7, é uma mini fonte chaveada AC-DC compacta capaz de converter tensões da rede elétrica (85 a 265 V AC) para uma saída estabilizada de 5 V DC, fornecendo até 1 A. Trata-se de um módulo isolado, de alta eficiência e adequado para projetos embarcados, pois dispensa dissipador e pode ser instalado diretamente em placas de circuito. (HLKTECH,2025)

Seu funcionamento baseia-se em um conversor SMPS isolado, que recebe fase e neutro da rede e entrega 5 V regulado na saída. Para maior estabilidade, recomenda-se o uso de capacitores de filtragem na entrada e na saída. O módulo possui proteções integradas contra sobrecorrente e curto-circuito, com recuperação automática, garantindo maior segurança ao sistema. (HLKTECH,2025)

6793

Por ser pequeno, eficiente e seguro, o HLK-5M05 é amplamente utilizado em projetos de automação, IoT e prototipagem com microcontroladores como o Arduino. Sua alimentação estável e isolada o torna adequado para sistemas que exigem confiabilidade na conversão da rede elétrica para baixa tensão. (HLKTECH,2025)

**Figura 7:** Fonte HLK-5M05



**Fonte:** Maker Hero (2025)

*Display LCD*: O *display* LCD 16×2 da Figura 8 é um módulo amplamente utilizado em sistemas embarcados para exibir informações em texto, com capacidade de mostrar 16 caracteres por linha em duas linhas. Seu funcionamento baseia-se no uso de cristais líquidos que, quando submetidos a um campo elétrico, controlam a passagem da luz e formam caracteres na tela. (MAKER HERO, 2025)

Quando utilizado com o controlador HD44780 e módulo I<sup>2</sup>C, o LCD exige apenas dois pinos de comunicação (SDA e SCL), o que reduz significativamente a quantidade de conexões com o microcontrolador. O HD44780 é responsável por interpretar comandos e dados enviados pelo Arduino, controlando cursor, caracteres e atualização da tela. (MAKER HERO, 2025)

A tecnologia LCD é eficiente, de baixo consumo e amplamente compatível com microcontroladores, sendo ideal para exibir leituras de sensores em tempo real. Seu uso simplificado, especialmente com a biblioteca LiquidCrystal\_I2C, facilita a integração em projetos de automação, monitoramento e prototipagem. (MAKER HERO, 2025)

**Figura 8:** *Display* LCD



Fonte: Maker Hero (2025)

**Componentes auxiliares:** Foi utilizada no projeto uma protoboard de 400 pinos, dois resistores de 10k $\Omega$  – 1/4W, um capacitor de 100 $\mu$ F – 16 V e 16 jumpers, que possibilitaram as interconexões necessárias entre os componentes.

**Invólucro ou caixa de proteção:** para a montagem inicial e testes, foi utilizada uma protoboard. Após a validação do protótipo, os componentes foram fixados em uma caixa impressa em 3D, projetada para ser instalada junto ao chuveiro, garantindo proteção e organização do sistema.

## Montagem do circuito

Os sensores foram conectados ao Arduino conforme suas especificações técnicas. A alimentação foi cuidadosamente planejada para evitar sobrecargas e garantir a segurança do sistema.

### 1. Programação do Arduino

Foi desenvolvido um código em linguagem C++ utilizando a IDE do Arduino. O código incluirá:

Leitura dos sensores;

Cálculo da potência elétrica ( $P = V \times I$ ); (Moran & Shapiro, 2018)

Conversão dos dados para exibição no LCD;

Tratamento de erros e limites de operação.

### 2. Testes e validação do protótipo

O sistema será testado com o aquecedor em funcionamento. Caso sejam identificados erros nas medições ou na exibição dos dados, será feita uma revisão na montagem elétrica e no código-fonte.

6795

### 3. Encapsulamento do circuito

Após a validação, o circuito será acomodado dentro de uma caixa de proteção, garantindo segurança contra choques elétricos e facilitando o transporte e uso do protótipo.

## Resultados Esperados

Espera-se que o protótipo seja capaz de:

Medir com precisão a temperatura da água aquecida;

Monitorar a tensão e corrente elétrica fornecidas ao aquecedor;

Calcular a potência elétrica consumida em tempo real;

Medir a vazão de água, permitindo avaliar o desempenho térmico do sistema;

Exibir todos os dados de forma clara e organizada em um display LCD,

facilitando a análise por parte do usuário.

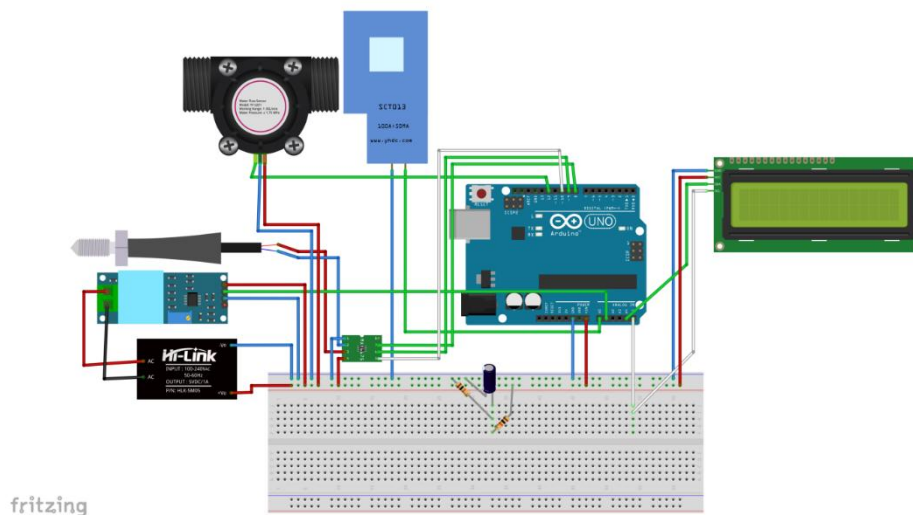
Esse sistema poderá ser utilizado em ambientes domésticos, industriais ou acadêmicos, como ferramenta de estudo ou monitoramento energético.

## Prototipagem

O protótipo foi concebido para monitorar em tempo real os parâmetros físicos e elétricos de um aquecedor de água, incluindo temperatura, vazão, tensão e corrente elétrica. A partir dessas medições, o sistema calcula a potência consumida e exibe os resultados em um display LCD. O microcontrolador (*Arduino Uno R3*, com possibilidade de expansão para *ESP32*) atua como núcleo de processamento, recebendo os sinais dos sensores e realizando os cálculos necessários.

A arquitetura do protótipo pode ser representada por um diagrama de blocos, no qual os sensores atuam como entradas, o microcontrolador como unidade de processamento e o *display* como saída de informação. A fonte de alimentação e o invólucro de proteção completam a estrutura, assegurando confiabilidade e segurança operacional. A Figura 9 representa a modelagem do protótipo em *software* e as conexões para a sua montagem.

**Figura 9** - Montagem do Protótipo no Fritzing



**Fonte:** Dos Autores (2025)

Fluxo de funcionamento:

1. Aquisição de dados: sensores captam temperatura, vazão, tensão e corrente, conforme observado no código apresentado:

```
#include <EmonLib.h> // Biblioteca para cálculo de corrente
```

```
#include <Wire.h> // Biblioteca para comunicação com I2C
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Biblioteca para LCD com I2C
#include <MAX6675.h> // Biblioteca para o sensor de temperatura MAX6675

// Instanciando objetos para os sensores
EnergyMonitor emon; // Para o SCT-013 (corrente)
int pinCorrente = A0; // Pino A0 para o SCT-013
int pinTensao = A1; // Pino A1 para o ZMPT101B

// Pinos do sensor de vazão YF-S201
const int pinVazao = 12; // Pino digital para contagem de pulsos do YF-S201
volatile int contadorPulsos = 0; // Contador de pulsos (frequência de fluxo)

// Pinos do sensor MAX6675 (Temperatura)
const int pinCS = 8; // Chip select do MAX6675
const int pinSCK = 9; // Clock do MAX6675
const int pinMISO = 10; // MISO (Master In Slave Out) do MAX6675

MAX6675 termometro(pinCS, pinSCK, pinMISO); // Criando objeto para o sensor
MAX6675

// Variáveis para armazenar os valores de corrente, tensão, temperatura e vazão
float correnteRMS = 0;
float tensaoRMS = 0;
float potencia = 0;
float temperatura = 0.0;
float vazao = 0.0;
unsigned long tempoAnterior = 0; // Para calcular a vazão
```

2. Processamento: microcontrolador converte os sinais, aplica fatores de calibração e calcula a potência elétrica ( $P=V*I$ ), conforme apresenta-se no código apresentado:

```
// Cálculo da potência
potencia = correnteRMS * tensaoRMS;
```

3. Exibição: resultados são enviados ao display LCD em tempo real, conforme observa-se no código apresentado:

```
// Exibe os resultados no LCD
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0); // Primeira linha
lcd.print("Corr: ");
lcd.print(correnteRMS, 2); // Exibe a corrente com 2 casas decimais
lcd.print(" A");

lcd.setCursor(0, 8); // Continuação da primeira linha para mostrar potência
```

```
lcd.print("P: ");  
lcd.print(potencia, 2); // Exibe a potência com 2 casas decimais  
lcd.print(" W");  
  
lcd.setCursor(0, 1); // Segunda linha  
lcd.print("Temp: ");  
lcd.print(temperatura, 1); // Exibe a temperatura com 1 casa decimal  
lcd.print(" C");  
  
lcd.setCursor(8, 1); // Continuação da segunda linha para mostrar a vazão  
lcd.print("Vazao: ");  
lcd.print(vazao, 1); // Exibe a vazão com 1 casa decimal  
lcd.print(" L/min");  
  
// Exibe dados adicionais no Serial Monitor  
Serial.print("Corrente RMS: ");  
Serial.print(correnteRMS);  
Serial.print(" A | Tensão RMS: ");  
Serial.print(tensaoRMS);  
Serial.print(" V | Potência: ");  
Serial.print(potencia);  
Serial.print(" W | Temperatura: ");  
Serial.print(temperatura);  
Serial.print(" °C | Vazão: ");  
Serial.print(vazao);  
Serial.println(" L/min");
```

4. Armazenamento/expansão futura: possibilidade de transmissão via Wi-Fi ou Bluetooth para sistemas de monitoramento remoto.

#### Fluxos de Interação:

O usuário interage com o sistema por meio da visualização dos dados no display LCD. Em versões futuras, a integração com aplicativos móveis permitirá maior controle e análise dos hábitos de consumo. O fluxo de interação pode ser descrito como:

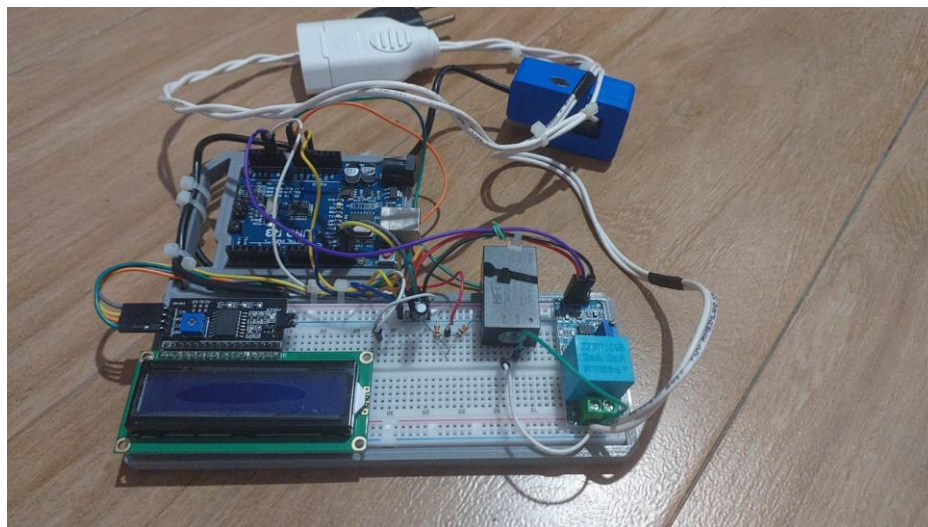
Entrada: acionamento do aquecedor → sensores coletam dados.

Processamento: microcontrolador interpreta e organiza as informações.

Saída: exibição dos parâmetros no display e, futuramente, envio para dispositivos externos.

A montagem e conclusão do modelo de teste construído está disposto conforme a Figura 10.

**Figura 10:** Protótipo de teste finalizado



**Fonte:** Dos Autores (2025)

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstraram que o protótipo foi capaz de realizar medições confiáveis de vazão, temperatura, tensão e corrente elétrica, possibilitando o cálculo da potência consumida em tempo real. O sistema exibiu os dados de forma clara em um *display* LCD, atendendo ao objetivo de promover transparência no consumo energético.

6799

Os testes comparativos com instrumentos de referência indicaram boa correlação, validando a aplicabilidade dos sensores de baixo custo. Além disso, o estudo evidenciou a viabilidade de integração do protótipo em ambientes residenciais e acadêmicos, reforçando seu potencial como ferramenta de monitoramento e educação em eficiência energética.

### **Os objetivos estabelecidos foram amplamente atingidos.**

O protótipo desenvolvido conseguiu integrar sensores de vazão, temperatura e potência elétrica em um único sistema funcional, utilizando uma plataforma embarcada de baixo custo.

As medições realizadas mostraram-se consistentes e adequadas para análise de desempenho de aquecedores de água, confirmando a viabilidade técnica da proposta.

Adicionalmente, o sistema demonstrou potencial para aplicação prática em residências e instituições de ensino, contribuindo para a conscientização sobre o uso racional de água e energia.

Dessa forma, o projeto cumpriu sua finalidade de oferecer uma solução acessível, educativa e alinhada às demandas contemporâneas de eficiência energética e sustentabilidade

## REFERÊNCIAS

ADAFRUIT. Handy Arduino Uno R3 Pinout Diagram. [S. l.], 25 maio 2012. Disponível em: <https://blog.adafruit.com/2012/05/25/handy-arduino-r3-pinout-diagram/>. Acesso em: 3 nov. 2025.

ALLDATASHEET. YF-S201 - Water Flow Sensor. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/html-pdf/1221259/ETC1/YF-S201/111/1/YF-S201.html>. Acesso em: 21 nov. 2025.

ARDUINO. UNO R3. [S. l.], [20--]. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/>. Acesso em: 3 nov. 2025.

BLOG DA ROBÓTICA. Como utilizar o display LCD 16x02 com módulo I2C na ESP32. Disponível em: <https://www.blogdarobotica.com/2022/12/23/como-utilizar-o-display-lcd-16x02-com-modulo-i2c-na-esp32/>. Acesso em: 21 nov. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Quem é Quem da Eficiência Energética. Brasília: Secretaria Nacional de Transição Energética e Planejamento, [20--]. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/quem-e-quem>. Acesso em: 21 nov. 2025.

CASA DA ROBÓTICA. Sensor de Tensão AC 0 a 250V Voltímetro ZMPT101B. [S. l.], [20--]. Disponível em: <https://www.casadarobotica.com/sensores-modulos/sensores/tensao/sensor-de-tensao-ac-0-a-250v-voltmetro-zmpt101b>. Acesso em: 3 nov. 2025.

CIRKITDESIGNER. HLK-5M05 - componente. Disponível em: <https://docs.circuitdesigner.com/component/6c71c099-dd6c-b73b-8b8d-d25ec57262d7/hlk-5m05>. Acesso em: 21 nov. 2025.

COSTA, L. F.; OLIVEIRA, M. R. Gestão de energia elétrica em sistemas residenciais: uma abordagem baseada em monitoramento de consumo. *Revista de Engenharia Elétrica*, v. 15, n. 2, p. 45-58, 2020.

ELETROGATE. Arduino: primeiros passos. Blog Eletrogate, 2025. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/arduino-primeiros-passos/>. Acesso em: 23 nov. 2025.

ELETROGATE. Guia completo do display LCD - Arduino. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/guia-completo-do-display-lcd-arduino/>. Acesso em: 21 nov. 2025.

ELETROGATE. Sensor de fluxo de água. Blog Eletrogate, 2025. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/sensor-de-fluxo-de-agua/>. Acesso em: 21 nov. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Atlas de eficiência energética Brasil 2022. Rio de Janeiro: EPE, 2022.

FERREIRA, A. F. Diversas apostilas – Universidade de Vassouras, 2024.

HLKTECH. HLK-5Mo5 – fonte. Disponível em: <https://www.hlktech.com/en/Goods-16.html>. Acesso em: 21 nov. 2025.

HUANG, Y.; ZHANG, H. A low-cost system for real-time power monitoring using current and voltage sensors. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, v. 67, n. 9, p. 2052–2060, 2018.

MAKER HERO. Display LCD 16×2 I2C Backlight Azul. [S. l.], [20--]. Disponível em: <https://www.makehero.com/produto/display-lcd-16x2-i2c-backlight-azul/>. Acesso em: 3 nov. 2025.

MAKER HERO. Mini Fonte 5V HLK-5Mo5 Bivolt. [S. l.], [20--]. Disponível em: <https://www.makehero.com/produto/mini-fonte-5v-hlk-5mo5-bivolt/>. Acesso em: 3 nov. 2025.

MAKER HERO. Termopar Tipo K com Módulo MAX6675. [S. l.], [20--]. Disponível em: <https://www.makehero.com/produto/termopar-tipo-k-com-modulo-max6675/>. Acesso em: 3 nov. 2025.

MAKERHERO. HLK-5Mo5 Datasheet – fonte. Disponível em: <https://makerhero.com/img/files/download/HLK-5Mo5-Datasheet.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2025.

MAKERHERO. Medidor de corrente SCT013 com Arduino. *MakerHero Blog*, 2025. Disponível em: <https://www.makehero.com/blog/medidor-de-corrente-scto13-com-arduino/>. Acesso em: 21 nov. 2025. 6801

MAXIM INTEGRATED. MAX6675 – Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/html-pdf/73692/MAXIM/MAX6675/126/1/MAX6675.html>. Acesso em: 23 nov. 2025.

MELO, A. P.; FERREIRA, J. C.; SANTOS, D. H. Tecnologias embarcadas e Internet das Coisas aplicadas ao monitoramento de grandezas físicas. *Cadernos de Engenharia*, v. 12, n. 3, p. 77–89, 2021.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. Fundamentos de termodinâmica técnica. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

NASCIMENTO, R. S.; LIMA, V. F. Aplicação de termopares tipo K em sistemas de aquecimento industrial. *Revista Brasileira de Instrumentação*, v. 9, n. 1, p. 33–41, 2020.

PORTAL VIDA DE SILÍCIO. SCT-013 – Sensor de Corrente Alternada com Arduino. Disponível em: <https://portal.vidadesilicio.com.br/sct-013-sensor-de-corrente-alternada>. Acesso em: 21 nov. 2025.

ROBOTICS & ELECTRONICS, Pololu. Arduino Uno R3, top view. [S. l.], [20--]. Disponível em: <https://www.pololu.com/picture/view/oJ6o22>. Acesso em: 3 nov. 2025.

SEED STUDIO. Water Flow Sensor. Disponível em: <https://wiki.seeedstudio.com/Water-Flow-Sensor>. Acesso em: 21 nov. 2025.

SHEN, W.; LI, Q.; WANG, T. Design and application of low-cost Hall-effect water flow sensors. *Journal of Sensors*, v. 2019, p. 1–8, 2019.

SILVA, A. R.; PEREIRA, G. M. Soluções de monitoramento de energia elétrica e suas limitações em sistemas de pequeno porte. *Anais do Congresso Brasileiro de Automação*, 2022.

UCCINDU. HLK5M05 – fonte. Disponível em: <https://www.uccindu.com/news/uccnewshlk5m05.html>. Acesso em: 21 nov. 2025.

YHDC. SCT013-100 – Current Transformer Datasheet. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1160246/YHDC/SCT013-100.html>. Acesso em: 21 nov. 2025.