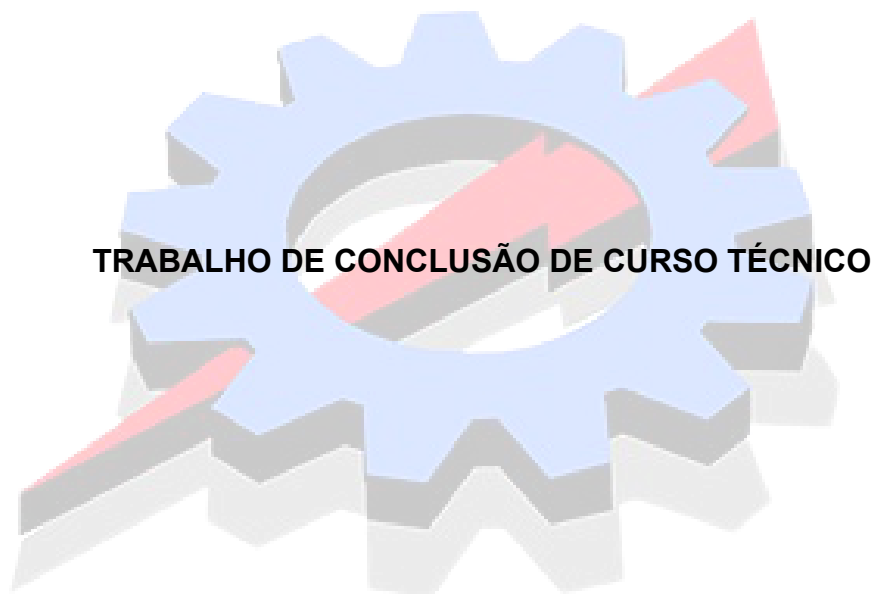


ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL FREDERICO GUILHERME SCHMIDT

**TÉCNICO EM ELETROMECAÂNICA
TÉCNICO EM ELETROTÉCNICA**



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO TÉCNICO

ELETROVÁLVULA DE ALTA VAZÃO PARA ÁGUA QUENTE

**ARTHUR WERLANG VELHO
ELDER BRUM BERGMANN**

**SÃO LEOPOLDO
2025**

ARTHUR WERLANG VELHO
ELDER BRUM BERGMANN

ELETROVÁLVULA DE ALTA VAZÃO PARA ÁGUA QUENTE

Trabalho de Conclusão de Curso Técnico apresentado ao Curso de Eletromecânica e Eletrotécnica da Escola Técnica Estadual Frederico Guilherme Schmidt como requisito para aprovação nas disciplinas do curso sob orientação do professor Thiago Schmidt e coorientação do professor Gilmar Fagundes.

SÃO LEOPOLDO
2025

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma eletroválvula de alta vazão para água quente, projetada com controle automatizado por meio de Arduino e motor de passo. O projeto tem como foco a criação de um dispositivo eletromecânico capaz de gerenciar o fluxo de água quente em aplicações que exigem alta vazão, empregando conceitos de automação e eletrônica embarcada. Embora possa ser utilizado tanto em contextos industriais quanto residenciais, o protótipo foi idealizado principalmente para atender às demandas da indústria, sendo planejado para adaptação em diferentes ambientes e empresas de diversos portes. A escolha por materiais simples, leves e de baixo custo busca viabilizar também a possibilidade de implementação em sistemas residenciais, oferecendo uma solução acessível, funcional e versátil para o controle de água quente.

Palavras-chave: eletroválvula; fluxo; vazão; industrial; água.

ABSTRACT

This paper presents the development of a high-flow hot water solenoid valve, designed with automated control using an Arduino and a stepper motor. The project focuses on creating an electromechanical device capable of managing hot water flow in high-flow applications, employing concepts of automation and embedded electronics. Although it can be used in both industrial and residential settings, the prototype was designed primarily to meet industrial demands and is designed for adaptation to different environments and businesses of varying sizes. The choice of simple, lightweight, and low-cost materials also aims to enable implementation in residential systems, offering an affordable, functional, and versatile solution for hot water control.

Keywords: solenoid valve; flow; discharge; industrial; water.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Registro Gaveta

Figura 2 - Arduíno Uno

Figura 3 - Protoboard

Figura 4 - Motor de Passo

Figura 5 - Código de Controle do Motor de Passo no Arduino

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estado da arte

Tabela 2 – Cronograma

Tabela 3 – Recursos

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

[illegible]

LISTA DE SÍMBOLOS

L - Litros

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 TEMA E SUA DELIMITAÇÃO	10
1.2 PROBLEMA	10
1.3 OBJETIVOS	10
1.3.1 Objetivo Geral	10
1.3.2 Objetivos Específicos	10
1.4 JUSTIFICATIVA	11
2 ESTADO DA ARTE	12
2.1 CONTROLE DA TEMPERATURA DA ÁGUA UTILIZANDO MICROCONTROLADOR	12
2.2 CONTROLE POR ARDUINO DE UM SISTEMA DE FLUXO PULSÁTIL	13
2.3 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO INTELIGENTE BASEADO EM ARDUINO	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1 OBJETIVOS E FUNÇÕES	14
3.2 COMPONENTES UTILIZADOS	15
4 METODOLOGIA	17
4.1 TIPO DE PESQUISA	18
4.2 FUNÇÃO DOS COMPONENTES	19
4.3 PROGRAMAÇÃO	21
4.3.1 Funcionamento do programa	22
5 CRONOGRAMA	23
6 RECURSOS	25
7 ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS	26
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

O Projeto é destinado tanto para usos industriais quanto para usos residenciais, entretanto, o protótipo apresenta mais utilidade para a indústria, por ser focado nessa área. Sua construção e planejamento foram feitos para que seja adaptado para ambientes diversos e possa ser implementado por empresas de grande, médio e pequeno porte. Com materiais simples e leves, o baixo custo promete uma possível implementação até mesmo para residências.

1.1 TEMA E SUA DELIMITAÇÃO

O desenvolvimento de uma Eletroválvula de Alta Vazão para Água Quente com Controle Automatizado utilizando Arduino e Motor de Passo. O trabalho foca na construção de um dispositivo eletromecânico capaz de controlar o fluxo de água quente com alta vazão, aplicando conceitos de automação e eletrônica embarcada.

1.2 PROBLEMA

Como controlar de forma automatizada e segura o fluxo de água quente em sistemas hidráulicos que exigem alta vazão, utilizando componentes acessíveis e de fácil integração?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O Projeto promete construir uma eletroválvula de alta vazão para água quente, com controle automatizado baseado em microcontrolador, visando atender aplicações práticas em sistemas térmicos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Selecionar e integrar componentes compatíveis com altas temperaturas e grande vazão de água.
- Desenvolver o sistema de acionamento do registro utilizando motor de passo e driver.
- Programar o microcontrolador Arduino para o controle automatizado da válvula.

1.4 JUSTIFICATIVA

Uma eletroválvula de alta vazão para água quente possui grande importância para a indústria, pois permite o controle automatizado do fluxo de água aquecida, elemento essencial em diversos processos industriais. Muitas indústrias dependem da água quente para aquecimento de tanques, tubulações, sistemas de lavagem e operações que exigem temperatura estável, tornando indispensável um dispositivo que assegure precisão e segurança.

Além disso, setores como o alimentício, farmacêutico e de bebidas utilizam sistemas de limpeza automatizados, conhecidos como CIP (Clean in Place), onde a água quente circula em alta vazão para a higienização interna de equipamentos e tubulações, sendo fundamental o uso de válvulas que consigam operar de forma eficiente sob condições térmicas elevadas.

Outra aplicação relevante está em linhas de produção que utilizam trocadores de calor, nas quais o controle rigoroso da vazão de água quente é essencial para manter processos estáveis e evitar desperdícios de energia. As eletroválvulas de alta vazão são projetadas para suportar temperaturas elevadas e oferecer durabilidade em ambientes industriais severos, diferentemente das válvulas comuns que podem apresentar falhas ou desgaste prematuro quando expostas a tais condições. O uso de sistemas automatizados permite integrar o funcionamento da válvula a controladores lógicos programáveis ou microcontroladores, possibilitando acionamento remoto, programações específicas ou intervenções em situações de emergência, promovendo maior segurança operacional.

A indústria precisa desse tipo de dispositivo para garantir eficiência, economia e confiabilidade nos processos. Enquanto válvulas convencionais não oferecem

controle automatizado adequado nem resistência a altas temperaturas, a eletroválvula desenvolvida neste trabalho surge como uma alternativa que reduz falhas humanas, otimiza o consumo de água e energia e assegura um funcionamento preciso.

2 ESTADO DA ARTE

Tabela 1 - Estado da Arte

Pesquisa	Autoria	Ano de publicação
CONTROLE DA TEMPERATURA DA ÁGUA UTILIZANDO MICROCONTROLADOR	Rodrigo Cordeiro Arantes	2013
CONTROLE POR ARDUINO DE UM SISTEMA DE FLUXO PULSÁTIL	Sita Drost, Bastian J. de Kruif, David Newport	2016
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO INTELIGENTE BASEADO EM ARDUINO	Carlos Gilarranz Casado, Máximo Loizu Cisquella, Sergiu Altares López	2018

Fonte: os Autores (2025)

2.1 CONTROLE DA TEMPERATURA DA ÁGUA UTILIZANDO MICROCONTROLADOR

Projeto que utiliza Arduino para controlar a temperatura da água em sistemas de banho de contraste, empregando resistência elétrica e sensor de temperatura. Trata-se de automação térmica de fluidos, ambos utilizam microcontroladores, como o Arduino ou placas compatíveis, para automatizar o controle de sistemas

hidráulicos, substituindo operações manuais e buscando maior precisão. Sendo que o diferencial está no fato de trabalhar especificamente com o controle da vazão de água quente em alta escala, enquanto o outro projeto se concentra apenas no controle de temperatura, sem envolver grandes volumes de água nem componentes preparados para suportar altas temperaturas ou condições industriais severas. Além disso, o uso do registro gaveta acionado por motor de passo confere ao dispositivo maior robustez mecânica e capacidade de operação em ambientes industriais, algo que não é abordado no contexto do trabalho anterior, sendo mais restrito a aplicações laboratoriais ou médicas.

2.2 CONTROLE POR ARDUINO DE UM SISTEMA DE FLUXO PULSÁTIL

Pesquisa sobre o uso de arduino para controlar uma bomba capaz de gerar fluxo pulsátil com precisão ($\sim 1,5$ L/min), incluindo identificação dinâmica e controle por feedforward técnica relevante para projetos de controle de fluxo de água. Ambos os projetos usam o arduino para controlar o fluxo de líquidos, na busca por precisão e na integração entre eletrônica e mecânica. Envolvendo também o uso do motor de passo e circuitos de controle para regular o movimento de atuadores que interferem diretamente na vazão de água. O principal diferencial entre os projetos está no tipo de aplicação e na robustez exigida pelo sistema. O Sistema de Fluxo Pulsátil por Arduino atua sobre fluxos pequenos, em torno de 1,5 L/min, geralmente com água fria ou morna, em ambiente laboratorial, enquanto nossa Eletroválvula é projetado para altas vazões e para trabalhar com água quente.

2.3 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO INTELIGENTE BASEADO EM ARDUINO

Trabalho acadêmico que implementa um sistema inteligente de irrigação, utilizando sensores de fluxo, umidade e controle automatizado por Arduino. Demonstra a integração entre microcontrolador e sensores para regular a vazão de água. Similaridade pelo uso do Arduino na criação de sistemas automatizados que controlam o fluxo de água, empregando sensores, drivers e técnicas de prototipagem. Enquanto o sistema Irrigação Inteligente é voltado para irrigação agrícola, operando com água fria ou em ambientes externos, nosso projeto foi

pensado para trabalhar com água quente em alta vazão e em processos industriais, onde há necessidade de maior resistência térmica.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 OBJETIVOS E FUNÇÕES

O projeto da eletroválvula de alta vazão para água quente está fundamentado na necessidade crescente de sistemas automatizados capazes de controlar com precisão o fluxo de líquidos em processos industriais. Em diversos setores, como o alimentício, farmacêutico e químico, a água quente é utilizada tanto para processos produtivos quanto para procedimentos de limpeza e esterilização, exigindo dispositivos que suportem temperaturas elevadas e garantam segurança e eficiência operacional.

A proposta do nosso projeto consiste em desenvolver uma solução que vá além das válvulas solenóides convencionais, que muitas vezes apresentam limitações quanto à vazão suportada e à resistência térmica. A eletroválvula projetada busca oferecer um controle mais preciso da passagem de água quente, por meio de acionamento automatizado, permitindo ajustes graduais na abertura da válvula e, conseqüentemente, no volume de fluxo. Isso possibilita otimização no consumo de água e energia, além de reduzir a necessidade de intervenções manuais, o que contribui para a segurança dos processos industriais.

Nosso projeto visa atender não apenas grandes indústrias, mas também empresas de médio e pequeno porte que necessitam de soluções confiáveis, mas com custos mais acessíveis. A ideia é disponibilizar um dispositivo robusto, adaptável a diferentes ambientes e demandas, capaz de operar sob condições severas sem comprometer o desempenho. Dessa forma, a eletroválvula de alta vazão para água quente representa uma alternativa técnica viável e inovadora para sistemas que requerem controle térmico rigoroso e operação contínua.

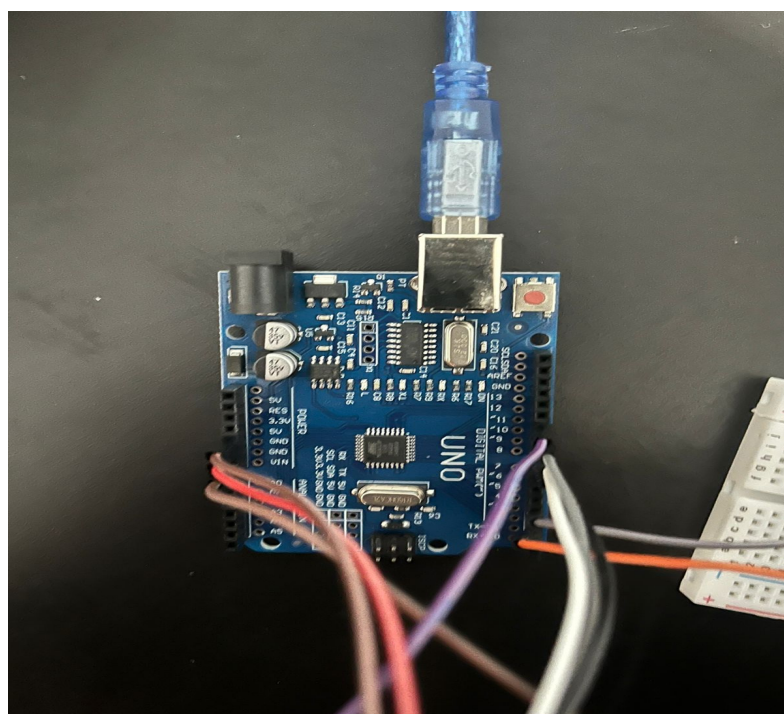
3.2 COMPONENTES UTILIZADOS

Figura 1 - Registro Gaveta



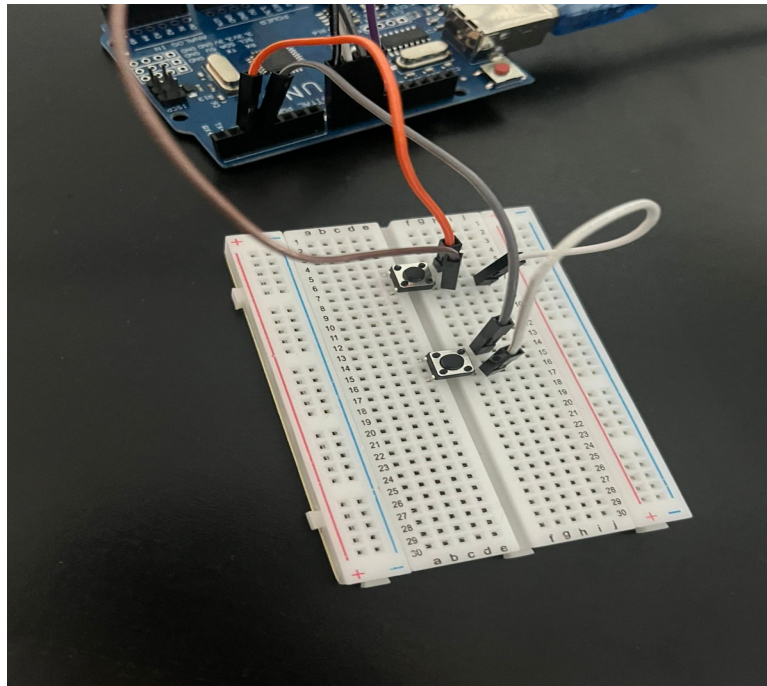
Fonte: os autores (2025)

Figura 2 - Arduino Uno



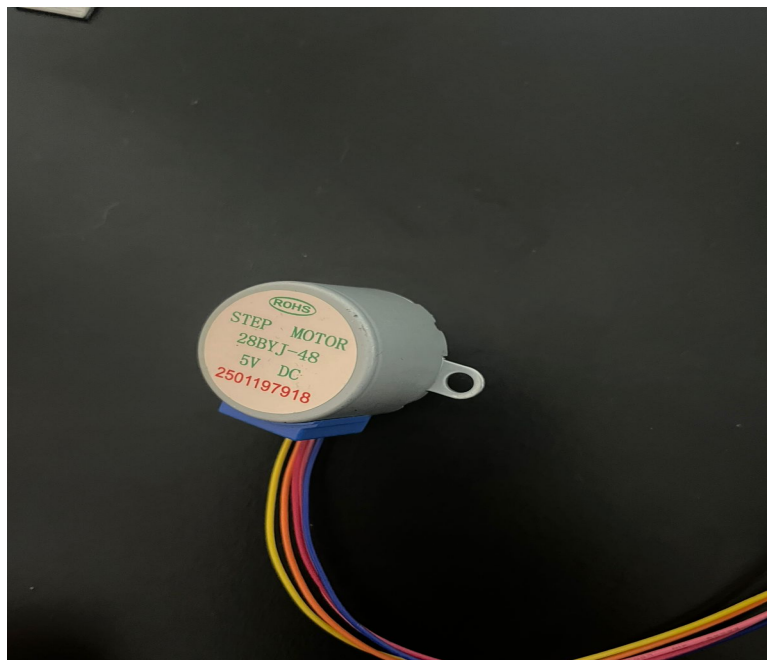
Fonte: os autores (2025)

Figura 3 - Protoboard



Fonte: os autores (2025)

Figura 4 - Motor de Passo



Fonte: os autores (2025)

4 METODOLOGIA

O projeto da eletroválvula de alta vazão para água quente foi desenvolvido seguindo uma abordagem prática e experimental, visando integrar componentes mecânicos e eletrônicos para criar um dispositivo funcional capaz de controlar, de forma automatizada, o fluxo de água aquecida. A metodologia adotada compreendeu etapas de pesquisa, seleção de materiais, montagem do protótipo e realização de testes operacionais.

Inicialmente, foram estudadas as características técnicas e limitações de válvulas solenóides convencionais, identificando a necessidade de desenvolver um sistema alternativo para aplicações que exigem alta vazão e resistência térmica. A partir dessa análise, definiu-se a utilização de um registro gaveta como elemento hidráulico principal, devido à sua robustez mecânica e capacidade de suportar altas temperaturas. Na etapa de automação, nosso projeto incorporou um motor de passo, selecionado pela sua capacidade de realizar movimentos precisos e controlados, necessários para o acionamento gradual do registro. O controle eletrônico foi estruturado utilizando uma placa compatível com Arduino Uno, programada para enviar sinais ao driver ULN2003, que atua como interface entre o microcontrolador e o motor de passo. Os cabos jumper e a protoboard foram empregados para a montagem inicial dos circuitos, permitindo ajustes e modificações durante o desenvolvimento.

Após a montagem do protótipo, foram realizados testes de operação para verificar o funcionamento do sistema, avaliando a resposta do motor de passo ao receber comandos do Arduino e a eficácia do mecanismo no controle da abertura e fechamento do registro gaveta.

4.1 TIPO DE PESQUISA

O desenvolvimento da eletroválvula de alta vazão para água quente baseou-se na combinação de pesquisa descritiva e quantitativa, metodologias que orientam todas as etapas do trabalho. A pesquisa descritiva foi utilizada para levantar, analisar e caracterizar as tecnologias existentes no mercado, especialmente as limitações das válvulas solenóides convencionais em aplicações que envolvem altas temperaturas e grandes vazões. Esse levantamento permitiu compreender o cenário atual, identificar lacunas e justificar a necessidade do projeto proposto, além de detalhar as propriedades técnicas dos componentes selecionados para a construção do dispositivo.

Por sua vez, a pesquisa quantitativa norteou as etapas práticas do projeto, sendo aplicada na coleta e análise de dados obtidos durante os testes experimentais do protótipo. Foram realizadas medições objetivas relacionadas ao desempenho da válvula, como o tempo necessário para abrir ou fechar o registro, a estabilidade do movimento do motor de passo e a capacidade do sistema de suportar condições térmicas elevadas sem perda de funcionalidade. Esses dados foram fundamentais para verificar a viabilidade técnica da solução desenvolvida e para validar se os objetivos estabelecidos foram alcançados.

A metodologia do projeto envolveu, inicialmente, a seleção e aquisição de componentes adequados, como o registro gaveta para controle do fluxo de água, o motor de passo para realizar o movimento de abertura e fechamento, o driver ULN2003 para amplificação e proteção dos sinais elétricos, e o Arduino Uno como unidade de controle. A montagem inicial foi realizada em protoboard, utilizando cabos jumper, permitindo ajustes e correções durante o processo

4.2 FUNÇÃO DOS COMPONENTES

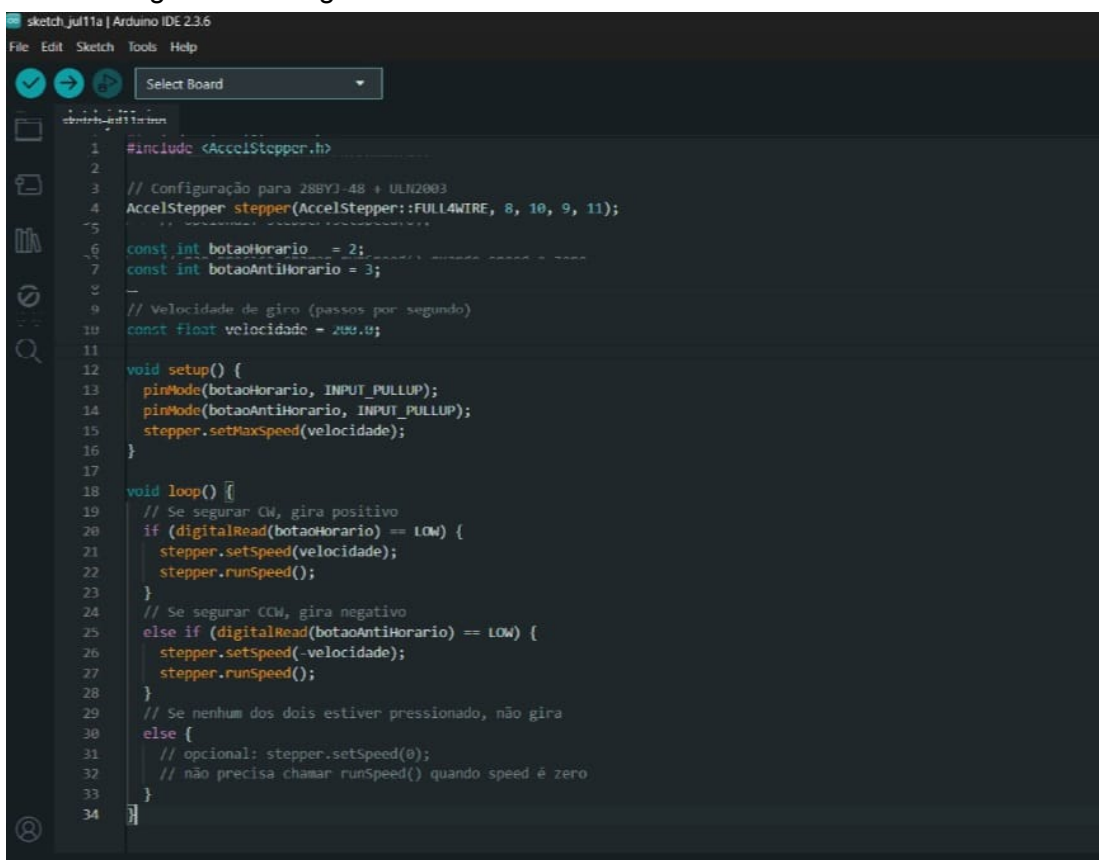
O sistema desenvolvido tem como finalidade controlar, de forma automatizada, a abertura e o fechamento de um registro gaveta para regular o fluxo de água quente em alta vazão. Para isso, utiliza-se uma integração entre elementos mecânicos e eletrônicos. O registro gaveta é o componente hidráulico principal responsável por interromper ou liberar o fluxo de água. Por possuir uma estrutura robusta, é ideal para suportar pressões elevadas e temperaturas altas. No projeto, esse registro é adaptado mecanicamente para ser acionado por um sistema motorizado. O motor de passo é o atuador eletromecânico encarregado de realizar o movimento rotacional necessário para abrir ou fechar o registro. Como esse tipo de motor opera com passos discretos, é possível obter um controle preciso da posição, permitindo ajustes graduais no grau de abertura da válvula.

A placa compatível com Arduino Uno atua como a unidade de controle do sistema. É responsável por processar os comandos de acionamento da válvula, determinando quando e quanto o motor deve girar. O Arduino envia sinais digitais de controle conforme a lógica programada, que pode incluir acionamentos manuais, temporizados ou com base em sensores. O driver ULN2003 funciona como interface entre o Arduino e o motor de passo. Como o microcontrolador não possui capacidade de corrente suficiente para alimentar diretamente o motor, o driver recebe os sinais do Arduino e os amplifica, garantindo que o motor seja acionado com segurança e eficiência. Além disso, protege o circuito contra picos de corrente. Os cabos jumper (macho e fêmea) são responsáveis pela conexão entre os componentes do sistema. Permitem a comunicação elétrica entre a placa Arduino, o driver, o motor e a protoboard, facilitando a montagem modular do circuito. A protoboard serve como base para a montagem provisória do circuito eletrônico, permitindo ajustes e testes durante o desenvolvimento. Ela possibilita modificar a disposição dos componentes sem a necessidade de solda, favorecendo a prototipagem rápida.

Em conjunto, todos esses elementos permitem que o sistema opere de forma automatizada e precisa. O Arduino interpreta comandos, envia sinais ao driver, que aciona o motor de passo. O motor, por sua vez, movimenta o registro gaveta, controlando o fluxo de água quente conforme programado. Essa integração possibilita uma solução eficaz para aplicações que exigem robustez térmica, alta vazão e controle remoto ou programável.

4.3 PROGRAMAÇÃO

Figura 5 - Código de Controle do Motor de Passo no Arduino

The image is a screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar at the top reads 'sketch_jul11a | Arduino IDE 2.3.6'. Below the title bar is a menu bar with 'File', 'Edit', 'Sketch', 'Tools', and 'Help'. A toolbar contains icons for saving, running, and uploading, along with a 'Select Board' dropdown menu. On the left side, there is a file explorer showing a folder named 'sketch_jul11a' containing a file 'sketch_jul11a.ino'. The main editor area displays the following C++ code:

```
1 #include <AccelStepper.h>
2
3 // configuração para 28BYJ-48 + ULN2803
4 AccelStepper stepper(AccelStepper::FULL4WIRE, 8, 10, 9, 11);
5
6 const int botaoHorario = 2;
7 const int botaoAntiHorario = 3;
8
9 // Velocidade de giro (passos por segundo)
10 const float velocidade = 200.0;
11
12 void setup() {
13   pinMode(botaoHorario, INPUT_PULLUP);
14   pinMode(botaoAntiHorario, INPUT_PULLUP);
15   stepper.setMaxSpeed(velocidade);
16 }
17
18 void loop() {
19   // Se segurar CW, gira positivo
20   if (digitalRead(botaoHorario) == LOW) {
21     stepper.setSpeed(velocidade);
22     stepper.runSpeed();
23   }
24   // Se segurar CCW, gira negativo
25   else if (digitalRead(botaoAntiHorario) == LOW) {
26     stepper.setSpeed(-velocidade);
27     stepper.runSpeed();
28   }
29   // Se nenhum dos dois estiver pressionado, não gira
30   else {
31     // opcional: stepper.setSpeed(0);
32     // não precisa chamar runSpeed() quando speed é zero
33   }
34 }
```

Fonte: os autores (2025)

4.3.1 Funcionamento do programa

O programa desenvolvido para o Arduino tem a finalidade de controlar o movimento do motor de passo responsável por abrir e fechar o registro gaveta da eletroválvula. Esse código foi elaborado na IDE do Arduino e utiliza bibliotecas específicas para facilitar o acionamento do motor, garantindo precisão no posicionamento e segurança na operação do sistema. Inicialmente, o código realiza a declaração de variáveis e define as conexões dos pinos digitais do Arduino com as entradas do driver ULN2003, que é o responsável por amplificar os sinais de controle e fornecer corrente suficiente para o funcionamento do motor.

A seguir, é configurado o número de passos por rotação, um parâmetro essencial para determinar o grau de movimento desejado no registro gaveta. Durante a execução, o programa pode conter funções ou laços de repetição (loops) que monitoram sinais de entrada ou condições pré-programadas, como acionamentos via botões, sensores ou comandos automáticos. Quando o comando para abrir ou fechar a válvula é detectado, o Arduino envia ao driver ULN2003 a sequência correta de pulsos elétricos, provocando o giro do motor de passo no sentido desejado. Cada pulso movimenta o motor por um pequeno ângulo fixo (passo), permitindo controle preciso sobre o quanto o registro será aberto ou fechado.

O programa também pode incluir intervalos de tempo (delays) entre os pulsos, a fim de controlar a velocidade do motor, evitando sobrecargas mecânicas ou elétricas. Ao final do ciclo, o motor é interrompido, e o sistema permanece na posição alcançada, pois o motor de passo mantém seu torque estático, garantindo que o registro gaveta fique estável na abertura definida até receber novo comando. Dessa forma, o software implementado no Arduino permite a operação totalmente automatizada da eletroválvula, viabilizando ajustes graduais na vazão de água quente e integrando-se ao restante do sistema elétrico e mecânico projetado.

2025	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
Compra de componentes									
Montagem e teste do protótipo									
Análise de Dados									
Resultados									
Revisão de capítulos									
Considerações Finais									
Avaliação do CRC									
Feiras externas									
Produção do Banner									
27ª Exposchmidt									

Fonte: os Autores (2025)

6 RECURSOS

Figura 3 - Recursos

Material	Valor unitário	Quantidade	Valor total	Fonte	Data
Registro de Gaveta 20mm	40,90R\$	1	40,90R\$	Mercado Livre	31.03
Motor de Passo + Driver UIn 2003	25,99R\$	1	25,99R\$	Mercado Livre	31.03
Placa compatível com Arduino Uno com Cabo Usb	41,23R\$	1	41,23R\$	Mercado Livre	31.03
Jumper Fio Macho e Fêmea	15,99R\$	1	15,99R\$	Mercado Livre	31.03
Valor final: 124,11R\$					

Fonte: os Autores (2025)

7 ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS

Para validar o funcionamento da eletroválvula de alta vazão para água quente, foi utilizada uma metodologia experimental baseada em ensaios controlados. Os testes consistiram em acionar o motor de passo através de comandos enviados pela placa Arduino, avaliando o tempo de resposta, a precisão do movimento e a capacidade do sistema em abrir e fechar completamente o registro gaveta. Durante os ensaios, foram observadas variáveis como o número de passos necessários para cada ciclo de operação, a estabilidade do movimento sob condições térmicas elevadas e o comportamento mecânico do registro após repetidos ciclos de acionamento. Os dados coletados indicaram que o sistema apresentou desempenho estável, com abertura e fechamento completos do registro gaveta, sem ocorrência de travamentos ou falhas mecânicas. O motor de passo respondeu adequadamente aos comandos do Arduino, realizando movimentos precisos que garantiram o controle gradual da vazão de água quente. Concluindo que o projeto seria útil nas aplicações industriais que não exigem acionamentos extremamente rápidos, mas sim segurança e precisão.

Comparando os resultados obtidos com válvulas solenóides convencionais, o dispositivo desenvolvido apresentou vantagens quanto à robustez térmica e à possibilidade de controle gradual da vazão, o que não é possível em válvulas de acionamento instantâneo. Embora os motores de passo não sejam projetados para acionamentos muito rápidos, sua precisão e capacidade de manter posição estática sem consumo adicional de energia representam um diferencial importante para aplicações que requerem estabilidade mecânica e economia energética. Ao confrontar os resultados do nosso projeto com os de outras pesquisas acadêmicas analisadas, nota-se que, enquanto trabalhos anteriores abordaram o controle de fluxos em pequena escala ou sistemas de água fria, o dispositivo desenvolvido neste trabalho se destaca por operar em condições mais severas, tanto em termos de temperatura quanto de vazão. Essa característica reforça a viabilidade técnica do projeto para uso em ambientes industriais, atendendo ao problema identificado e aos objetivos propostos no estudo. Dessa forma, os resultados obtidos não apenas demonstram a funcionalidade do protótipo, mas também evidenciam o potencial do dispositivo para substituir ou complementar soluções existentes no mercado.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto da eletroválvula de alta vazão para água quente teve como objetivo principal desenvolver um dispositivo capaz de automatizar o controle do fluxo de água aquecida em sistemas industriais, utilizando componentes acessíveis e de fácil integração, como o registro gaveta, motor de passo, driver ULN2003 e uma placa compatível com Arduino Uno. Esse objetivo foi plenamente alcançado, uma vez que o protótipo demonstrou funcionamento eficiente, permitindo a abertura e o fechamento do registro de forma precisa e segura, mesmo em condições térmicas elevadas.

Durante a execução do trabalho, todos os objetivos específicos também foram atendidos, como a seleção de componentes adequados, a montagem e programação do circuito, e a realização de testes experimentais para validar o desempenho do sistema. Não houve objetivos que deixaram de ser cumpridos, embora tenham sido identificadas limitações naturais do protótipo, sobretudo relacionadas à velocidade de acionamento do motor de passo, que não permite ciclos muito rápidos, e à necessidade de dimensionamento mecânico mais robusto para uso contínuo em ambientes industriais com alta exigência mecânica. A principal contribuição do projeto foi apresentar uma solução técnica viável, de baixo custo, para o controle automatizado de água quente em alta vazão, o que pode atender a uma lacuna no mercado, especialmente para pequenas e médias empresas que necessitam de dispositivos robustos, mas economicamente acessíveis. O trabalho demonstrou que é possível adaptar componentes mecânicos tradicionais, como o registro gaveta, integrando-os a sistemas eletrônicos modernos para criar dispositivos inteligentes e eficientes.

Como caminhos para pesquisas futuras, destaca-se a possibilidade de explorar diferentes tipos de motores ou sistemas de acionamento que ofereçam maior torque e velocidade, além de estudar sensores de temperatura e fluxo que permitam implementar um controle ainda mais preciso e automatizado. Também seria interessante desenvolver um invólucro industrial para proteger a parte eletrônica contra umidade e calor excessivo, aumentando a durabilidade do equipamento em ambientes severos.

Ao longo do desenvolvimento, o projeto também contribuiu significativamente para o crescimento pessoal e profissional dos autores, proporcionando aprendizado prático na integração entre mecânica, eletrônica e programação. Dentre as dificuldades encontradas, destacam-se o ajuste da programação para controlar corretamente o motor de passo e a adaptação mecânica do registro gaveta para ser acionado pelo motor, desafios que foram superados por meio de testes constantes e aprimoramentos na montagem. Como lição principal, destaca-se a importância da persistência e da busca por soluções criativas, fatores determinantes para transformar uma ideia inicial em um dispositivo funcional e com potencial de aplicação no mercado.

REFERÊNCIAS

EMERSON. Válvulas para vapor e água quente ASCO™ Série 220. *Emerson*, 2023.

Disponível em: <https://www.emerson.com/pt-br/catalog/asco-220-pt-br>. Acesso em: 21 abr. 2025.

ARMSTRONG INTERNATIONAL. Válvula digital de recirculação The Brain®. *Armstrong International*, 2023. Disponível em:

<https://armstronginternational.com/pt-pt/products/valvula-digital-de-recirculacao-drv-the-brain/>. Acesso em: 21 abr. 2025.

SMARTMEASUREMENT. Soluções de fluxo para automação predial. *SmartMeasurement*, 2023. Disponível em:

<https://smartmeasurement.com/pt/aplica%C3%A7%C3%B5es/automa%C3%A7%C3%A3o-de-constru%C3%A7%C3%A3o/>. Acesso em: 19 abr. 2025.

DIRECTINDUSTRY. Válvula solenoide para água quente. *DirectIndustry*, 2023. Disponível

em: <https://www.directindustry.com/pt/fabricante-industrial/valvula-solenoide-agua-quente-187230.html>. Acesso em: 15 mai. 2025.

TA-SMART. IMI plc. *TA-Smart*, 2023. Disponível em:

<https://climatecontrol.imiplc.com/pt-br/produtos/ta-smart>. Acesso em: 15 mai. 2025.

ANACLETO. Eletroválvula de Água 12V: Guia Completo para Instalação e Uso. *Anacleto*,

2023. Disponível em: <https://anacleto.pt/agua/eletrovalvula-agua-12v/>. Acesso em: 20 mai. 2025.

EMERSON. Válvulas de controle de temperatura para água quente. *Emerson*, 2023.

Disponível em: <https://pt.cncontrolvalve.com/product/electric-temperature-control-valve/>. Acesso em: 10 mai. 2025.

ELETROGATE. Guia do motor de passo 28BYJ-48 + driver ULN2003. *Blog Eletrogate*, 2018.

Disponível em:

<https://blog.eletrogate.com/guia-completo-do-motor-de-passo-28byj-48-driver-uln2003/>.

Acesso em: 10 mai. 2025.

USINAINFO. Motor de passo 28BYJ-48 com Driver ULN2003: funcionamento e características. *Usinainfo*, 2016. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/blog/motor-de-passo-28byj-48-com-driver-uln2003/>. Acesso em: 29 jun. 2025.

CASA DA ROBÓTICA. Motor de passo 28BYJ-48: precisão e torque para automação. *Casa da Robótica*, 2023. Disponível em: <https://www.casadarobotica.com/robotica/atuadores/motores-de-passo/motor-de-passo-28byj-48>. Acesso em: 10 jun. 2025.

ARDUINO E CIA. Controle do motor 28BYJ-48 com Arduino e ULN2003. *Arduino e Cia*, 2013. Disponível em: <https://arduinoecia.com.br/motor-de-passo-28byj-48-uln2003-arduino/>. Acesso em: 09 jun. 2025.

RICARDO TEIX. Controle de fluxo de água com Arduino (Parte 3): integração hidráulica e eletrônica. *Ricardoteix.com*, 2019. Disponível em: <https://www.ricardoteix.com/controle-de-fluxo-de-agua-com-arduino-parte-3/>. Acesso em: 18 jun. 2025.

EMERSON ASCO. Tecnologia de válvulas solenoides de alta vazão. *Emerson*, 2021. Disponível em: <https://www.emerson.com/pt-pt/automation/asco>. Acesso em: 18 jun. 2025.

VLADCONTROL. Aplicações do motor de passo 28BYJ-48 + ULN2003 em automação de fluxo. *Vladcontrol*, 2023. Disponível em: <https://www.vladcontrol.com.br/arduino-basico/motor-de-passo-28byj-48-uln2003/>. Acesso em: 12 mai. 2025.

TPCID. Válvula solenoide 12 V para automação com Arduino. *TPCID*, 2025. Disponível em: <https://www.tpcid.com.br/MLB-3220926512-valvula-solenoide-12v-34-agua-automaco-arduino-irrigacao-JM>. Acesso em: 12 mai. 2025.

PRA INFOR. Sensor de fluxo de água 12V YF-S201. *Pra Infor*, 2024. Disponível em: <https://www.prainfor.com.br/sensor-fluxo-vazao-de-agua-12-yf-s201-arduino-1-30lmin>. Acesso em: 08 abr. 2025.

HIDRAUTINI. Registro Gaveta Bruto Rosca $\frac{3}{4}$ Polegada Latão. *Hidrautini*, 2025. Disponível em: <https://www.hidrautini.com.br/produtos/registro-gaveta-bruto-rosca-34-polegada-latao/>. Acesso em: 07 mai. 2025.

HIDRAUTINI. Válvula Solenoide Para Água Quente Latão $\frac{3}{4}$. *Hidrautini*, 2025. Disponível em: <https://www.hidrautini.com.br/produtos/valvula-solenoide-para-agua-quente-latao-34/>. Acesso em: 07 mai. 2025.

HIDRAUTINI. Válvula Esfera Alta Vazão Para Água Quente. *Hidrautini*, 2025. Disponível em: <https://www.hidrautini.com.br/produtos/valvula-esfera-alta-vazao-para-agua-quente/>. Acesso em: 07 mai. 2025.

HIDRAUTINI. Linha de válvulas para altas temperaturas. *Hidrautini*, 2025. Disponível em: <https://www.hidrautini.com.br/produtos/linha-de-valvulas-para-altas-temperaturas/>. Acesso em: 08 mai. 2025.

MERCADO LIVRE. Válvula Solenoide 3/4 Polegada Alta Vazão Água Quente 220V. *Mercado Livre*, 2025. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-4270357123-valvula-solenoide-34-polegada-alta-vazao-agua-quente-220v-_JM. Acesso em: 08 mai. 2025.

MERCADO LIVRE. Motor De Passo 28byj-48 + Driver Uln2003 Arduino Robótica. *Mercado Livre*, 2025. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1942813193-motor-de-passo-28byj-48-driver-uln2003-arduino-robotica-_JM. Acesso em: 11 mai. 2025.