

INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS ELETRÔNICOS E PNEUMÁTICOS COM ARDUINO: UMA ABORDAGEM ACESSÍVEL PARA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL E EDUCACIONAL

ANDRÉ TIAGO SANTOS¹; DANIEL MARTINS²; DÉBORA CARVALHO FURLAN³;
FERNANDO PINHEIRO DE MORAES⁴; JULIANA DA SILVA MELO⁵

¹Mestre Profissional em Automação e Controle de Processos no IFSP, Campus São Paulo. Possui graduação em Engenharia de Controle e Automação pela Universidade Braz Cubas (2012). Licenciado em Matemática pela Universidade de Mogi das Cruzes (2004). E-mail: andre.eng.autom@gmail.com

²Graduando em Engenharia Mecânica do IFSP - Campus Itaquaquecetuba. E-mail: daniel.martins1@aluno.ifsp.edu.br

³Graduanda em Engenharia Mecânica do IFSP - Campus Itaquaquecetuba. E-mail: furlan.carvalho@aluno.ifsp.edu.br

⁴Graduando em Engenharia Mecânica do IFSP - Campus Itaquaquecetuba. E-mail: f.pinheiro@aluno.ifsp.edu.br

⁵Graduanda em Engenharia Mecânica do IFSP - Campus Itaquaquecetuba. E-mail: melo.juliana@aluno.ifsp.edu.br

RESUMO

A automação industrial, impulsionada pela Indústria 4.0, tem promovido avanços em produtividade, eficiência e segurança. Neste contexto, o uso de plataformas como o *Arduino* se destaca por sua acessibilidade e flexibilidade, sendo útil em pequenas e médias empresas e no meio acadêmico. Este estudo se concentra na implementação de um sistema de automação utilizando dois *Arduinos* interconectados via comunicação serial, com o objetivo de controlar válvulas solenóides e atuadores pneumáticos. O sistema foi testado por meio de simulações e experimentos práticos, apresentando funcionamento contínuo do pistão com até 100 ciclos por minuto e resposta adequada da válvula. Embora tenha sido identificada a necessidade de incluir um optoacoplador para melhorar a estabilidade, o sistema mostrou-se funcional. O estudo oferece insights sobre a integração de sistemas eletrônicos e pneumáticos com *Arduino*, destacando a acessibilidade e a aplicabilidade dessas soluções no contexto industrial e educacional.

Palavras-chave: Automação Industrial; *Arduino*; Comunicação Serial, Sistemas Pneumáticos; Indústria 4.0.

INTEGRATION OF ELECTRONIC AND PNEUMATIC SYSTEMS WITH ARDUINO: AN ACCESSIBLE APPROACH FOR INDUSTRIAL AND EDUCATIONAL AUTOMATION

ABSTRACT

Industrial automation, driven by Industry 4.0, has led to improvements in productivity, efficiency, and safety. In this context, the use of platforms such as *Arduino* stands out for its accessibility and flexibility, being useful in small and medium-sized companies as well as in academia. This study focuses on the implementation of an automation system using two *Arduinos* interconnected via serial communication, aimed at controlling solenoid valves and pneumatic actuators. The system was tested through simulations and practical experiments, demonstrating continuous piston operation with up to 100 cycles per minute and an adequate valve response. Although the need to include an optocoupler to improve stability was identified, the system proved to be functional. The study provides insights into the integration of electronic and pneumatic systems with *Arduino*, highlighting the accessibility and applicability of these solutions in both industrial and educational contexts.

Keywords: Industrial Automation; *Arduino*; Serial Communication; Pneumatic Systems; Industry 4.0.

1 INTRODUÇÃO

A automação industrial se consolidou como um dos pilares da Indústria 4.0, trazendo avanços significativos em produtividade, eficiência e segurança em processos de produção. Em um contexto global de intensificação da competição e busca por maior eficiência, a automação tem se mostrado uma solução estratégica para setores como a manufatura, logística e controle de qualidade (ZÜLFIKAR, 2020; KAGARIS *et al.*, 2018). Este novo cenário tecnológico, impulsionado pela convergência entre tecnologias físicas e digitais, coloca a automação como um fator decisivo para a modernização de processos industriais, tanto em grandes corporações quanto em pequenas e médias empresas, que agora têm acesso a soluções mais acessíveis e flexíveis.

Nesse contexto, o uso de plataformas acessíveis como o *Arduino* ganha destaque por sua capacidade de permitir que engenheiros, estudantes e profissionais de diversas áreas desenvolvam soluções inovadoras de maneira econômica e com fácil prototipagem (CAVALCANTE *et al.*, 2018; DEOLALIKAR *et al.*, 2021). Estudos recentes indicam que, enquanto tecnologias de automação de alto desempenho continuam dominando grandes indústrias, soluções acessíveis como o *Arduino* têm o potencial de transformar pequenas e médias empresas, proporcionando uma alternativa viável para a automação de processos e a criação de sistemas eficientes sem grandes custos (CAVALCANTE *et al.*, 2018; FONSECA, 2017). Além disso, a flexibilidade do *Arduino* tem facilitado sua adoção no meio acadêmico, onde sua simplicidade e baixo custo o tornaram uma ferramenta ideal para ensino e pesquisa em automação.

Entretanto, a integração de sistemas de automação utilizando múltiplos microcontroladores, como o *Arduino*, para tarefas industriais específicas, como o controle de sistemas pneumáticos, ainda apresenta desafios significativos. Um dos principais obstáculos está na comunicação entre os dispositivos, especialmente em sistemas complexos, que exigem troca constante de dados entre microcontroladores para o controle de atuadores e sensores. Embora o uso do *Arduino* em automação tenha sido bem documentado na literatura, como no trabalho de Aquino (2015), a questão da integração entre múltiplos microcontroladores e a comunicação serial, particularmente quando se trata da atuação em sistemas pneumáticos, muitas vezes não é abordada de forma aprofundada. Além disso, o controle de válvulas solenóides e outros atuadores pneumáticos de forma eficiente exige um entendimento detalhado da eletrônica e da programação associada.

Neste cenário, ferramentas de simulação como o *TinkerCad* têm se mostrado complementares na prototipagem e validação de sistemas de automação. Elas oferecem um

ambiente virtual onde é possível testar e depurar circuitos eletrônicos antes da implementação no mundo real, minimizando custos e tempo de desenvolvimento (SOUZA *et al.*, 2019; BARBOSA *et al.*, 2020). Tais ferramentas têm sido amplamente utilizadas no desenvolvimento de sistemas educacionais e na pesquisa aplicada à automação industrial, ajudando na visualização e validação de projetos sem a necessidade de hardware físico imediato.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de automação que utiliza dois microcontroladores *Arduino* interconectados por comunicação serial, com o objetivo de controlar circuitos pneumáticos. Para isso, foram realizadas simulações utilizando o *TinkerCad* e o *Arduino IDE*, com a execução de comandos para acionar válvulas solenoides e controlar atuadores pneumáticos de forma automatizada. A relevância deste estudo está em sua abordagem prática e acessível, oferecendo uma solução para a integração de sistemas eletrônicos e pneumáticos com *Arduino*, além de preencher lacunas existentes na literatura sobre a aplicação do *Arduino* em automações industriais mais complexas, como o controle de sistemas pneumáticos. Com isso, espera-se não só contribuir para o avanço da automação em pequenos e médios empreendimentos, mas também fornecer uma ferramenta útil para fins educacionais, ampliando a compreensão sobre as possibilidades de integração e controle de sistemas automáticos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A automação é uma área multidisciplinar que utiliza sistemas e dispositivos para controlar processos, minimizando a intervenção humana e aumentando a eficiência, segurança e qualidade industrial (OGATA, 2010). Desde o início do século XX, a automação evoluiu significativamente, especialmente com o avanço da eletrônica e dos controladores lógicos programáveis (CLPs), que trouxeram flexibilidade e escalabilidade para processos repetitivos e complexos (NISE, 2015).

Inicialmente, a automação envolvia a mecanização de tarefas simples, mas atualmente abrange desde sensores e atuadores básicos até sistemas inteligentes integrados com redes de comunicação e inteligência artificial (JUANG; LIN, 2003). O principal objetivo é a melhoria contínua da eficiência, redução de erros e otimização dos recursos, por meio do controle em malha fechada, onde sensores monitoram variáveis e controladores ajustam o processo em tempo real (GOODWIN; SIN, 1984).

Além da eficiência, a automação reforça a segurança industrial, podendo detectar falhas e agir preventivamente para evitar acidentes (JUANG; LIN, 2003). A manutenção preditiva é

outra vantagem, com sensores que monitoram o estado dos equipamentos para evitar paradas inesperadas (NISE, 2015).

A integração de sistemas via protocolos como Ethernet, Modbus e Profibus permite a interoperabilidade entre dispositivos, essencial para o funcionamento coordenado dos processos (TAVARES; LIMA, 2021). Tecnologias emergentes como IoT, robótica colaborativa e aprendizado de máquina vêm ampliando a autonomia e a adaptabilidade dos sistemas automatizados, promovendo fábricas inteligentes e personalização em massa (SOUSA *et al.*, 2020; HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

2.1 Topologia das Redes e Conexões Entre Dispositivos de Automação

A topologia de rede define a estrutura de conexão e comunicação entre dispositivos de automação, influenciando desempenho, escalabilidade e confiabilidade do sistema (CAVALLIN, 2016). Em ambientes industriais, onde a continuidade e precisão são cruciais, a escolha da topologia deve considerar o número de dispositivos, redundância, custo e criticidade do processo (TRES; BECKER, 2019).

A topologia Point-to-Point (P2P) conecta diretamente dois dispositivos, oferecendo alta confiabilidade e baixa latência, eliminando intermediários que possam causar interferência ou perda de dados. Essa simplicidade traz segurança na comunicação, especialmente para conexões críticas entre sensores e atuadores (STALLINGS, 2017). Entretanto, a topologia P2P não é escalável: para adicionar novos dispositivos, é necessário criar novas conexões ponto a ponto, aumentando custos e complexidade.

Além da topologia, os protocolos de comunicação, como Modbus, Profibus e Ethernet/IP, são essenciais para a integração de dispositivos heterogêneos, garantindo a troca de informações eficiente e confiável em tempo real (CAVALLIN, 2016; SILVA, 2025).

2.2 Controle de Sistemas Discretos

O controle de sistemas discretos trata da manipulação de sinais e processos em instantes específicos de tempo, diferente dos sistemas contínuos, onde as variáveis são monitoradas e ajustadas de forma contínua (OGATA, 2010). Esse controle é realizado por controladores digitais, como microcontroladores e computadores, que utilizam algoritmos para processar entradas e gerar respostas conforme o desejado (DORF; BISHOP, 2017).

A quantização das variáveis, que converte valores contínuos em discretos, exige técnicas digitais específicas, como o controlador PID discreto, fundamental para manter a estabilidade e desempenho do sistema (ASTROM; WITTENMARK, 2013).

Nos sistemas automatizados, o controle discreto assegura a coordenação eficiente entre sensores e atuadores, viabilizando o gerenciamento preciso de variáveis como temperatura, posição e velocidade, com alta confiabilidade (NISE, 2015). Essa abordagem é fundamental para a automação moderna, possibilitando soluções robustas e flexíveis para diversas aplicações industriais (LIU; LEE, 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do sistema proposto teve como objetivo implementar um controle eficiente de um sistema pneumático contínuo, utilizando componentes eletrônicos e pneumáticos. O projeto foi conduzido em etapas sequenciais, desde a simulação e programação inicial até a montagem e validação do sistema completo.

O sistema foi projetado para acionar uma válvula solenóide, responsável por controlar um pistão pneumático em um ciclo contínuo de avanço e recuo. A válvula desempenha um papel central, pois regula o fluxo de ar comprimido e garante o funcionamento ininterrupto do circuito pneumático.

A comunicação entre os dois *Arduinos* foi estabelecida por meio de conexão serial. Nesse método, um dos *Arduinos* foi configurado como emissor de sinais de controle, enquanto o outro atuou como receptor, acionando a válvula solenóide com base nos comandos recebidos.

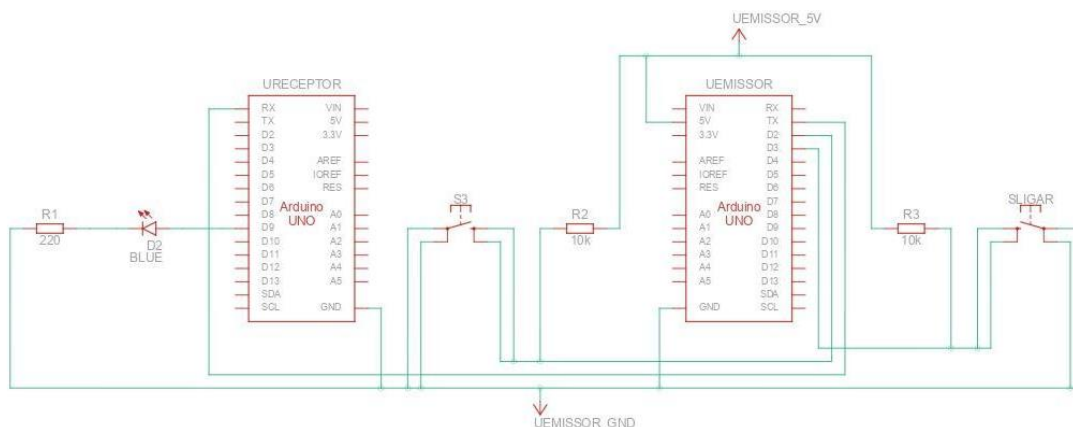
A escolha por utilizar dois *Arduinos*, em vez de centralizar todo o controle em apenas um, foi feita com o objetivo de simular uma arquitetura de automação distribuída, comum em sistemas industriais. Além disso, essa configuração facilitou a organização do experimento, permitindo separar a lógica de envio e recepção de comandos. Essa divisão contribuiu para o entendimento prático da comunicação entre controladores e aumenta a modularidade do sistema. Essa abordagem também foi utilizada como roteiro de experimento para a disciplina de Automação Eletropneumática, favorecendo o aprendizado por meio da aplicação prática dos conceitos estudados em sala de aula.

O protocolo serial utilizado foi configurado na velocidade de 9600 bps (*bits* por segundo), o que garantiu uma comunicação estável e eficiente. Durante o desenvolvimento, programou-se o *Arduino* emissor para enviar comandos específicos, como “1” para ativar a válvula e “0” para desativá-la. O *Arduino* receptor, ao receber esses sinais, os interpreta e realiza a ação correspondente.

Esse método de conexão serial foi validado tanto na simulação quanto nos testes práticos. Na simulação realizada no *TinkerCad*, LEDs foram utilizados para representar o estado da válvula, confirmando o funcionamento correto da comunicação serial. O esquema

eletrônico desenvolvido no *TinkerCad* é apresentado na Figura 1, ilustrando a estrutura do circuito utilizado na simulação.

Figura 1 - Esquema eletrônico do circuito desenvolvido no *TinkerCad*.



Fonte: acervo dos autores, 2025.

A implementação do controle seguiu com o desenvolvimento de um fluxograma lógico, que representou claramente a sequência de operações, com ênfase no acionamento da válvula de forma automatizada, conforme o comando do *Arduino* receptor. Em seguida, foi elaborado um pseudocódigo que traduziu a lógica de controle em uma estrutura mais próxima ao código final. O pseudocódigo foi implementado no *Arduino* IDE, onde as instruções foram convertidas em código executável para o *Arduino*, configurando um dispositivo como emissor e o outro como receptor de sinais de controle.

A montagem do sistema foi realizada em duas etapas. Inicialmente, os *Arduinos* foram conectados a LEDs, com o objetivo de testar a comunicação serial e garantir a troca de sinais. A montagem inicial foi detalhada em uma etapa posterior.

Na sequência, o sistema eletrônico foi integrado ao sistema pneumático. Para isso, a válvula solenoide foi conectada aos *Arduinos* e acionada para controlar o pistão pneumático. O sistema pneumático, alimentado por uma bomba de ar, assegurou a pressão necessária para o movimento contínuo do pistão. A montagem completa do sistema eletrônico e pneumático foi realizada, integrando todos os componentes.

A lista de materiais utilizados no projeto foi:

1. Componentes Eletrônicos:
 - 2x *Arduino* Uno: Para controle e comunicação serial entre os dispositivos.
 - Válvula Solenoide: Controla o fluxo de ar para o pistão.
 - Resistor de 220 ohms: Limita a corrente no circuito de controle da válvula.
 - LED: Indicador de status de funcionamento.

-
- Botões de Entrada: Para enviar sinais de ativação e desativação.
 - Módulo Relé 1 Canal: responsável por fazer a interligação entre os circuitos elétricos e possibilitar a automação do sistema pneumático
2. Componentes Pneumáticos:
- Bomba Pneumática: Fornece ar comprimido para o pistão.
 - Pistão Pneumático de Dupla Ação: Atuador responsável pelo movimento contínuo (avanço e recuo).
 - Válvula de Controle Direcional (5/2 vias): Controla a direção do ar para movimentar o pistão.
 - Reservatório de Ar Comprimido: Armazena o ar necessário para o funcionamento do sistema.
 - Mangueiras Pneumáticas: Para conduzir o ar comprimido.
3. Ferramentas e *Software*:
- *TinkerCad*: Plataforma de simulação para testes e prototipagem.
 - *Arduino IDE*: Para programar os *Arduinos*.
 - Cabo USB: Para comunicação e programação dos *Arduinos*.
 - Multímetro: Para medir tensões, correntes e verificar a continuidade do circuito.

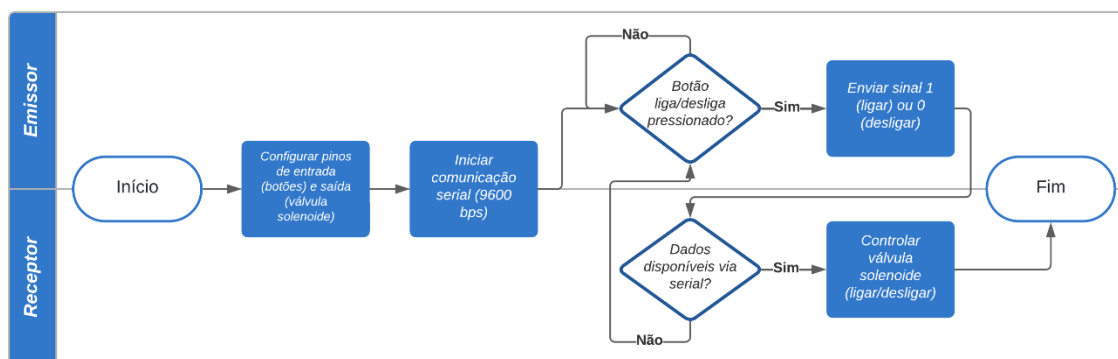
O sistema foi montado e os testes foram realizados para verificar a funcionalidade de cada etapa. A integração dos componentes eletrônicos e pneumáticos ocorreu com sucesso, validando o desempenho do sistema conforme os requisitos estabelecidos.

4 RESULTADOS

Durante os testes realizados, a comunicação serial entre os dois *Arduinos* funcionou de maneira eficaz, sem interrupções. A transmissão de sinais de controle, utilizando o protocolo serial a 9600 bps, foi validada em duas frentes: no ambiente de simulação do *TinkerCad* e nos testes práticos. Em ambos os casos, a troca de dados entre os *Arduinos* ocorreu sem falhas, assegurando a troca contínua de sinais e a coordenação entre os módulos do sistema.

A primeira etapa do controle lógico foi representada pelo fluxograma, cujo objetivo era organizar e representar claramente as etapas do ciclo do sistema. O fluxograma simplificado, apresentado na Figura 2, guiou a implementação do algoritmo de controle, estabelecendo a sequência de operações para o acionamento da válvula de forma automatizada. A figura ilustra a visão geral do fluxo de decisões e ações que o sistema deveria seguir.

Figura 2 - Fluxograma simplificado para o desenvolvimento do algoritmo de controle do sistema.



Fonte: acervo dos autores, 2025.

O próximo passo no desenvolvimento foi a criação do pseudocódigo, apresentado na Figura 3, que traduziu o fluxograma em uma linguagem de controle mais próxima da implementação real. O pseudocódigo serviu como base para o desenvolvimento do programa no *Arduino IDE*, garantindo que as operações do sistema fossem executadas conforme esperado.

Figura 3 - Pseudocódigo desenvolvido para o controle do sistema.

```
//Emissor:
Início
  Configurar pinos de entrada (botões)
  Iniciar comunicação serial
  Enquanto (verdadeiro)
    Se botão de ligar pressionado:
      Enviar sinal 1 para o receptor
      Aguardar intervalo (debounce)
    Se botão de desligar pressionado:
      Enviar sinal 0 para o receptor
      Aguardar intervalo (debounce)
  Fim Enquanto
Fim

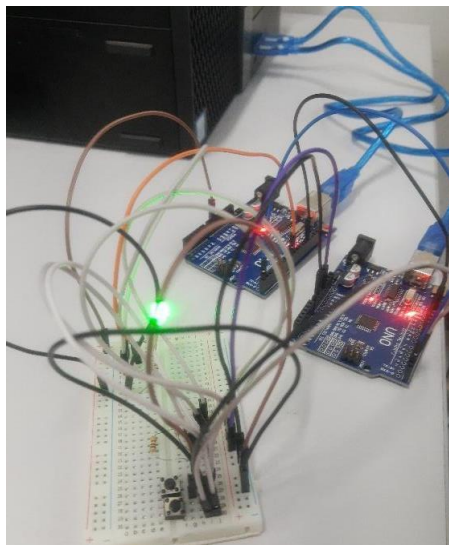
//Receptor:
Início
  Configurar pino de saída (válvula solenoide)
  Iniciar comunicação serial
  Enquanto (verdadeiro)
    Se dados disponíveis via serial:
      Ler dados recebidos
      Aguardar intervalo (debounce)
      Se dado = 1:
        Ativar válvula solenoide
      Se dado = 0:
        Desativar válvula solenoide
  Fim Enquanto
Fim
```

Fonte: acervo dos autores, 2025.

A Figura 4 mostra a montagem eletrônica inicial, que foi realizada para testar os componentes do sistema, incluindo LEDs e botões. Esse teste inicial foi fundamental para validar a interação básica entre os componentes eletrônicos, assegurando que o *Arduino* controlasse corretamente as saídas de acordo com os sinais de entrada. A funcionalidade dos

LEDs e botões foi verificada para garantir que a comunicação com o circuito estava fluindo corretamente, antes de integrar com o sistema pneumático.

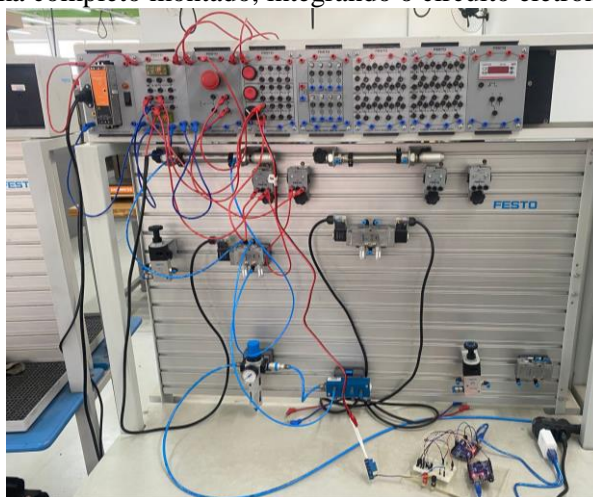
Figura 4 - Montagem eletrônica inicial com LED e botões para teste do sistema.



Fonte: acervo dos autores, 2025.

A integração do sistema eletrônico com o pneumático, como mostrado na Figura 5, foi crucial para garantir a automação do ciclo de avanço e recuo do pistão. A montagem detalhada na figura mostra como os componentes eletrônicos e pneumáticos foram interligados, com especial atenção ao controle da válvula solenóide, que possibilita o movimento do pistão. Essa etapa foi essencial para validar o funcionamento contínuo do sistema, conforme o esperado.

Figura 5 - Sistema completo montado, integrando o circuito eletrônico e pneumático.



Fonte: acervo dos autores, 2025.

O acionamento do cilindro pneumático foi preciso, e os tempos de resposta atenderam aos parâmetros previstos. Durante os testes, o pistão de dupla ação foi capaz de avançar e recuar continuamente, sem interrupções no ciclo. A válvula solenóide, acionada pelos sinais do *Arduino*, respondeu de forma eficiente, mantendo o ciclo repetitivo de movimento do pistão

conforme o projeto idealizado. O desempenho observado durante a operação indicou que o sistema foi capaz de realizar aproximadamente 100 ciclos por minuto, demonstrando boa eficiência e repetitividade nas condições testadas.

Contudo, durante a simulação, foi identificado um comportamento atípico: o sistema não mantinha a continuidade no acionamento ao pressionar o botão, sendo necessário manter o botão pressionado para que o sistema funcionasse. Durante a análise do sistema, foi observado que para garantir o acionamento contínuo sem a necessidade de manter o botão pressionado, seria necessário incluir um componente adicional para isolar e proteger o circuito de controle. A implementação de um optoacoplador seria uma solução adequada, pois ele permite transferir sinais elétricos entre dois circuitos enquanto mantém um isolamento elétrico total entre eles. Esse isolamento não só ajudaria a evitar interferências e flutuações no sinal de controle, como também protegeria os componentes do Arduíno contra possíveis sobrecargas ou falhas causadas por picos de corrente. Além disso, o optoacoplador atuaria em conjunto com o relé, que já desempenha a função de proteger os circuitos contra danos causados por excesso de demanda elétrica. O uso do optoacoplador, um componente amplamente utilizado em circuitos semelhantes, proporciona maior estabilidade ao sistema, especialmente durante o acionamento da válvula solenóide. No entanto, fatores relacionados à implementação prática, como a necessidade do optoacoplador, não foram plenamente previstos na simulação, o que só se tornou evidente após a montagem física do sistema.

Adicionalmente, o botão de emergência incorporado ao circuito funcionou conforme o esperado. Quando acionado, o botão interrompeu completamente a operação do sistema, bloqueando o ciclo de avanço e recuo do pistão. Esse mecanismo de segurança, como ilustrado na montagem do circuito, demonstrou que o sistema foi projetado de maneira robusta, com mecanismos eficazes para garantir a interrupção imediata da operação em situações de necessidade.

Com base nos testes e análises realizadas, conclui-se que o projeto foi parcialmente concluído. Embora tenha atendido a boa parte dos requisitos de funcionalidade, a identificação da necessidade de componentes adicionais, como o optoacoplador, fez com que o sistema não estivesse totalmente finalizado, necessitando de ajustes para seu pleno funcionamento.

5 CONCLUSÃO

A automação industrial, impulsionada pela convergência de tecnologias físicas e digitais, destaca-se como um pilar fundamental da Indústria 4.0, promovendo avanços significativos em eficiência, produtividade e segurança. De acordo com Cruz (2022), a

automação não apenas transfere funções humanas para máquinas, mas também exige uma profunda reorganização dos processos de trabalho, redefinindo as funções humanas e das máquinas de forma integrada.

Este trabalho concentrou-se no desenvolvimento de um sistema de controle pneumático utilizando dois microcontroladores *Arduino* conectados via comunicação serial. A implementação foi validada com sucesso por meio de simulações no *TinkerCad* e testes práticos preliminares, conduzidos de forma isolada antes da interligação dos circuitos.

A utilização do *Arduino* no projeto destacou-se como uma alternativa de baixo custo, viabilizando a automação do processo. Conforme Santos (2025), o *Arduino* é uma solução eficaz para a automação de processos em pequenos negócios, ampliando o acesso à modernização tecnológica. Além disso, sua versatilidade torna-o uma ferramenta valiosa para fins acadêmicos e educacionais, proporcionando uma plataforma prática e acessível. Como observa Novus (2025), "o uso do *Arduino* na automação industrial tem se mostrado eficiente tanto em ambientes de ensino quanto em prototipagem industrial, promovendo aprendizado prático e inovador".

Desafios foram identificados, como a necessidade de componentes adicionais, incluindo o optoacoplador, para melhorar a estabilidade e garantir a continuidade do funcionamento. Esse componente seria essencial devido à ausência de acoplador óptico no relé utilizado. Essa limitação ressalta a importância de alinhar as etapas de simulação e implementação prática, evidenciando que ajustes e aprimoramentos são necessários mesmo em projetos cuidadosamente planejados. Segundo Silva (2025), "os desafios identificados durante a implementação prática de sistemas automatizados destacam a importância de soluções acessíveis e adaptáveis, como o *Arduino*, no ensino e na prática industrial".

O estudo reforça o potencial do *Arduino* na automação industrial, tanto como solução acessível para integração de sistemas complexos quanto como ferramenta educacional. Além disso, destaca o valor de tecnologias complementares, como ferramentas de simulação, na redução de custos e no aprimoramento de processos. Conclui-se que iniciativas como esta contribuem para democratizar o acesso à automação e fomentar inovações em diversos setores industriais, alinhando-se às demandas da Indústria 4.0 e às necessidades de uma sociedade em constante evolução.

REFERÊNCIAS

AQUINO, R. D. G. **Desenvolvimento de uma ferramenta para automação e supervisão, baseada na plataforma Arduino e controladores lógicos programáveis, para a aplicação**

em ambientes industriais. 2015. TCC (Curso de Graduação em Engenharia Elétrica) – Campus de Sobral, Universidade Federal do Ceará, Sobral, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/47852>. Acesso em: 08 jan. 2025.

ASTROM, K. J.; WITTENMARK, B. **Adaptive control.** 2. ed. Dover Publications, 2013.

BARBOSA, A. R.; LIMA, F. L.; ALMEIDA, M. P. **Aplicações do TinkerCad em prototipagem eletrônica: estudos de caso na educação técnica e profissional.** 2020.

CAVALCANTE, W. A.; GONÇALVES, R. L. M.; FERNANDES, E. S. Estudo de técnicas acessíveis na automação industrial com Arduino. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 10, n. 1, p. 34–49, 2018.

CHEN, C. L.; KUO, B. C. **Digital control systems.** 3. ed. Oxford University Press, 2009.

CRUZ, J. J. C. da. **A importância da automação para a Indústria 4.0.** Cuiabá, 2022. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/64397/1/JOILSON_CRUZ+.pdf. Acesso em: 11 jan. 2025.

DEOLALIKAR, S. R.; SHARMA, R. M.; GHOSH, S. Arduino como ferramenta de automação: uma análise de sua aplicabilidade na Indústria 4.0. **International Journal of Automation and Control**, v. 35, n. 3, p. 187-196, 2021.

DORF, R. C.; BISHOP, R. H. **Modern control systems.** 13. ed. Pearson, 2017.

FONSECA, T. L. **Aplicação do Arduino no controle de sistemas automáticos em indústrias de pequeno porte.** 2017.

GOODWIN, G.; SIN, K. A. **Digital control and estimation: a unified approach.** New Jersey: Prentice-Hall, 1984.

JUANG, J. J.; LIN, C. H. **Industrial automation and control: a practical approach.** New York: Wiley-Interscience, 2003.

KAGARIS, D.; PAPAGEORGIU, A.; MIKHAIL, D. Desafios e soluções na implementação de sistemas de automação industrial na era da Indústria 4.0. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 21, n. 5, p. 22-35, 2018.

LIU, W.; LEE, J. **Discrete control systems: design and analysis.** Wiley, 2012.

LUENBERGER, D. G. **Introduction to dynamic systems: theory, models, and applications.** New York: Wiley, 1979.

NISE, N. S. **Control systems engineering.** 7. ed. Wiley, 2015.

NOVUS. Artigo: **Arduino na indústria, será que essa moda pega?** 2025. Disponível em: <https://www.novus.com.br/pt/noticia/artigo-Arduino-na-industria-sera-que-essa-moda-pegas?>. Acesso em: 08 jan. 2025.

OGATA, K. **Modern control engineering**. 5. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010.

OGATA, K. **Discrete-time control systems**. 3. ed. Pearson, 2010.

SILVA, J. A. **Uso do Arduino como ferramenta de prototipagem para automação industrial**. Disponível em: <https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/63821/1/LUCAS%20IAN%20ALMEIDA%20LEAL%20SANTOS.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2025.

SOUSA, S. et al. The application of IoT in industrial automation. **Journal of Industrial Engineering**, v. 14, n. 3, p. 219-227, 2020.

SOUZA, M. A.; CARVALHO, F. S.; MELO, F. A. A utilização do TinkerCad no ensino e desenvolvimento de sistemas de automação com Arduino. **Proceedings of the Conference on Educational Technology and E-learning**, v. 3, p. 112-118, 2019.

STALLINGS, W. **Redes e sistemas de comunicação de dados**. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2017.

TAVARES, S.; LIMA, M. R. Industrial control systems and communication protocols: an overview. **International Journal of Industrial Engineering**, v. 26, n. 2, p. 100-108, 2021.

ZÜLFIKAR, A. A evolução da automação industrial na era da Indústria 4.0: implicações tecnológicas e sociais. **Journal of Automation and Robotics**, v. 17, n. 1, p. 123-134, 2020.