



Gêmeo Digital e Arduino UNO: Conexão Físico-Virtual para suporte na Indústria 4.0

Arthur Levy Batista Vieira¹ * - <https://orcid.org/0009-0007-9890-249X>

Tulio Fidel Orrego Rodriguez² - <https://orcid.org/0000-0003-3414-1496>

Charles Nilton do Prado Oliveira³ - <https://orcid.org/0000-0002-7513-8712>

¹ arthur.00000853755@unicap.br

² tulio.rodriguez@unicap.br*

³ charles.nilton@ufpe.br

^{1 2} Universidade Católica de Pernambuco, Recife, Brasil

Annals of Data Analysis

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/ADA/>

Copyright © 2026 by author(s).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License CC BY-NC-ND 4.0

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>



Resumo

Os avanços tecnológicos impulsionam a eficiência e segurança nos processos industriais, com a Indústria 4.0 intensificando investimentos em automação e tecnologias digitais. Este trabalho desenvolveu um Gêmeo Digital em JavaScript, integrado ao Arduino UNO e a um sistema de reconhecimento de imagens em tempo real, para simular uma esteira automatizada. A integração físico-virtual permitiu monitoramento contínuo e testes práticos, destacando a eficácia dos gêmeos digitais na automação. Os resultados mostram ganhos em segurança, otimização e suporte à decisão, com potencial para melhorias como redução do tempo de resposta e refinamento da detecção.

Palavras-chave

Automação; Indústria 4.0; Gêmeo Digital; Microcontrolador.

1. Introdução

A Indústria 4.0 revoluciona processos produtivos com tecnologias como IoT, inteligência artificial e big data (TAO et al., 2019). A complexidade dos equipamentos industriais torna a análise manual desafiadora, enquanto a segurança dos trabalhadores permanece essencial (SINGH; SEEE; SHARMA, 2019). Tecnologias acessíveis, como Arduino e gêmeos digitais, destacam-se por sua eficiência e baixo custo em automação (OLIVEIRA; CUNHA; SILVA, 2022). No Brasil, 69% das empresas adotam soluções digitais (SANKHYA, 2024), e globalmente, gêmeos digitais otimizam a gestão de ativos com simulações em tempo real (WANG et al., 2021; LIU et al., 2023). O Arduino é amplamente usado em prototipação (SILVA; SANTOS; PEREIRA, 2020), e gêmeos digitais favorecem a predição de falhas (ZHANG et al., 2020). Sua integração propicia inovações para a Indústria 4.0 (MARTINS; SOUZA; ALMEIDA, 2022). Este estudo investiga a combinação de Arduino, reconhecimento de imagem e gêmeos digitais na automação industrial, avaliando sua aplicabilidade em protótipos,

eficiência na representação de sistemas produtivos, contribuição para manutenção preditiva e impacto na segurança e sustentabilidade da Indústria 4.0.

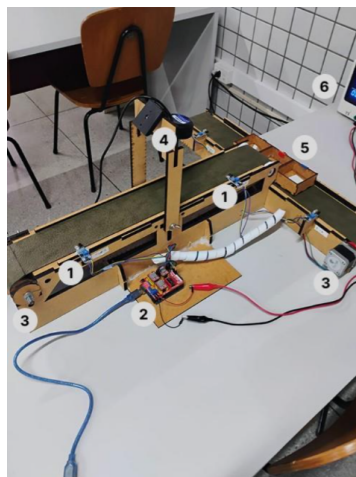
2. Desenvolvimento da Aplicação

Foi desenvolvido um projeto que simula o funcionamento das esteiras de um maquinário industrial em conjunto com seu gêmeo digital.

2.1 Modelo físico

O protótipo desenvolvido simula esteiras de produção industrial e é composto pelos seguintes elementos (Figura 1): sensores infravermelhos (1), Arduino UNO e CNC Shield (2), motores (3), câmera para reconhecimento de imagens (4), caixa coletora (5) e fonte de alimentação (6). O FUNCIONAMENTO GERAL DO SISTEMA ESTÁ ILUSTRADO NO FLUXOGRAMA DA FIGURA 2.

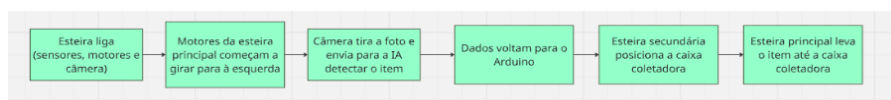
Figura 1 – Modelo Físico (Esteira).



Fonte: Autores (2025).

A arquitetura física foi dividida em duas partes: a esteira principal e a esteira secundária. O controle foi realizado por um Arduino UNO integrado à CNC Shield V3. Para a inteligência de detecção, utilizou-se Python com um modelo treinado no Teachable Machine. A comunicação com o sistema web foi implementada em Node.js, responsável pelo gerenciamento da API que integra os diferentes módulos do projeto.

Figura 2 – Fluxograma da Esteira.



Fonte: Autores (2025)

2.2 Modelo virtual - gêmeo digital

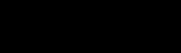
POSSÍBILIDADE DE MANEJO DO SISTEMA COM O GÊMEO DIGITAL DO SISTEMA FÍSICO. A COMUNICAÇÃO ENTRE O GÊMEO DIGITAL E O FÍSICO É REALIZADA POR MEIO DE UM SERVIDOR DE DADOS.

1. MÓDULO DE DETECÇÃO PROPRIO EM PYTHON INTEGRADO). TEACHABLE MACHINE, O ARDUINO DIRECIONA O ITEM À CAIXA COLETORA APROPRIADA.

- ### 3. Integração dos modelos

4. Resultados e análises

Outra limitação observada refere-se ao treinamento do modelo de detecção, que ainda não contempla situações em que não há itens na esteira. Tal aprimoramento é essencial para reduzir falsos positivos e aumentar a confiabilidade do sistema.



Em contrapartida, o gêmeo digital da Figura 4 apresentou desempenho adequado, refletindo a posição do item em tempo real com elevado grau de precisão. Este resultado reforça o potencial da tecnologia para aplicações de monitoramento e tomada de decisão em diferentes contextos produtivos.

De modo geral, os resultados confirmam a viabilidade da proposta, ao mesmo tempo em que apontam oportunidades de melhoria no tempo de resposta e na robustez do sistema de detecção.

A revisão bibliográfica destacou a relevância de estudos relacionados à Indústria 4.0, sobretudo no uso de tecnologias acessíveis e integradas, como Arduino e gêmeos digitais, que contribuem para ganhos de eficiência, segurança e confiabilidade dos processos.

A implementação prática possibilitou validar conceitos discutidos teoricamente, demonstrando a aplicabilidade da solução proposta. Os resultados evidenciaram vantagens, como o desempenho quase instantâneo do gêmeo digital, e limitações que indicam futuras linhas de pesquisa, incluindo a redução do tempo de resposta e o aprimoramento do modelo de detecção.

Conclui-se que iniciativas como esta podem contribuir para a modernização de cadeias produtivas, fortalecendo a integração entre automação, inteligência artificial e gêmeos digitais. Além disso, reforçam a necessidade de pesquisas contínuas sobre tecnologias emergentes voltadas à Indústria 4.0.

Referências

- Tao, F., Zhang, M., and Liu, Y. 2019. "Digital twin-driven product design and manufacturing." *International Journal of Production Research* 57 (12): 3935–3953.
- Singh, S., Seee, R., and Sharma, K. 2019. "Safety and efficiency in Industry 4.0 automation systems." *Safety Science* 119: 201–210.
- Oliveira, P., Cunha, R., and Silva, F. 2022. "Arduino como ferramenta de prototipação na Indústria 4.0." *Revista Brasileira de Engenharia de Produção* 8 (2): 67–78.
- Sankhya. 2024. *Sondagem especial Indústria 4.0: Tecnologias digitais no Brasil*. São Paulo: Confederação Nacional da Indústria.
- Wang, J., Li, X., and Zhang, Q. 2021. "Digital twins in smart manufacturing: Opportunities and challenges." *Computers in Industry* 130: 103–114.
- Liu, M., Fang, S., and Dong, H. 2023. "Advances in digital twin technology for industrial automation." *Automation in Construction* 145: 104–115.
- Silva, R., Santos, A., and Pereira, G. 2020. "Aplicações do Arduino em automação industrial: Uma revisão." *Engenharia em Foco* 12 (4): 89–102.
- Zhang, H., Liu, Q., and Chen, X. 2020. "Digital twin technology in Industry 4.0: A systematic review." *IEEE Access* 8: 15678–15690.
- Martins, J., Souza, L., and Almeida, T. 2022. "Synergy between Arduino and digital twins in Industry 4.0 applications." *Journal of Industrial Information Integration* 28: 100–112.