

## **SIMP: Gêmeo Digital de baixo custo na Indústria 4.0 para o ensino Técnico e Superior**

Hoton Henriques de Almeida Bastos<sup>1\*</sup>

Gilberto João Pavani<sup>1</sup>

Matheus Perin<sup>1</sup>

1 Instituto Federal do Rio Grande do Sul, Brazil

\* Corresponding author e-mail: 2023203133@aluno.restinga.ifrs.edu.br

### **Resumo**

O ensino de tecnologias de automação e controle exige laboratórios equipados com bancadas didáticas, tornando o processo de ensino-aprendizagem custoso e limitado em termos de acessibilidade. As bancadas virtuais oferecem uma opção para o ensino presencial, democratizando o acesso à educação, inclusive, em locais remotos como zonas rurais. A bancada virtual SIMP é um software gratuito desenvolvido no Colégio Técnico Industrial de Santa Maria (CTISM) em conjunto com a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), sendo uma opção de baixo custo e rápida aprendizagem. Este artigo explora a possibilidade da aplicação do SIMP como Gêmeo Digital (*Digital Twin*) de uma bancada didática pneumática ao replicar seu comportamento, tornando-se uma opção adequada à realidade educacional brasileira, com o objetivo de aprimorar o ensino e a aprendizagem na área de automação industrial em sintonia com os princípios da Indústria 4.0.

**Keywords:** ensino, automação industrial, gêmeo digital, Indústria 4.0

## 1 Introdução

A automação industrial envolve a integração de sensores, controladores e atuadores que operam utilizando diferentes formas de energia como elétrica, hidráulica ou pneumática, permitindo que os sistemas automatizados realizem tarefas com precisão e eficiência, adaptando-se às necessidades de cada aplicação industrial (MTI Brasil, 2025).

Os laboratórios desempenham um papel fundamental no currículo das Universidades e Institutos Federais, proporcionando aos estudantes a oportunidade de desenvolver as habilidades práticas necessárias à futura carreira profissional. Porém, muitos alunos das áreas de ciência e engenharia ficam descontentes com o curso e alguns desistem dos estudos devido à falta de aulas práticas em meio a tantas aulas teóricas, muitas vezes, desconectadas da realidade profissional (Halker et al., 2020).

Tais problemas decorrem de fatores como a limitação do tempo de uso do laboratório, pois em muitos casos, para utilizar este espaço fora do período de aula é necessário que o local esteja desocupado e que haja um responsável para permitir o acesso. O custo é outro fator importante, pois para a construção do espaço físico é necessário um investimento considerável dependendo dos equipamentos que serão adquiridos e instalados neste ambiente.

As bancadas físicas apresentam diversas limitações que podem comprometer o processo de ensino-aprendizagem. O medo de errar em público, a dificuldade em reconfigurar circuitos, os custos de manutenção, os riscos de acidentes e a necessidade de acesso a laboratórios em horários específicos são alguns dos desafios enfrentados pelos estudantes. Nesse contexto, os simuladores virtuais tornam-se uma alternativa promissora, oferecendo um ambiente de aprendizagem mais seguro, econômico e flexível onde os estudantes podem experimentar suas ideias sem as restrições das bancadas físicas (Pavani et al., 2024).

O conceito de gêmeo digital surgiu como uma abordagem tecnológica para replicar digitalmente o mundo real, permitindo a análise de diversos aspectos como equipamentos, processos e plantas industriais inteiras, permitindo testar cenários e simular diferentes arranjos antes de aplicá-los fisicamente (Mussomeli et al., 2018).

O gêmeo digital possibilita a combinação de informações do mundo físico com simulações digitais, facilitando a otimização de processos e a tomada de decisões em tempo real (Huang et al., 2023), facilitando a criação de um ambiente flexível e colaborativo, permitindo a tomada de decisões em tempo real, com base em dados, e a otimização dos processos produtivos, conforme os pressupostos da Indústria 4.0 (Onaji et al., 2022).

A Quarta Revolução Industrial aprimorou o legado da Terceira Revolução Industrial, propiciando a mescla do mundo real com o mundo digital através da automação, troca de grandes quantidades de informações, utilização efetiva do conceito de sistemas ciber-

físicos (*cyber-physical systems* - CPS) e Internet das Coisas – IoT (Pedroni et al, 2018).

Os gêmeos digitais estão presentes em todos os tipos de ambientes, administrando fábricas, gerenciando aeroportos e operações urbanas e antecipando o impacto das mudanças climáticas na saúde humana (Helikar, 2024), sendo um dos pilares da transformação digital (Garcia, 2021). No contexto do ensino de automação, os gêmeos digitais podem replicar o comportamento de bancadas didáticas, permitindo que os estudantes realizem experimentos práticos em um ambiente virtual seguro.

O SIMP é um projeto em desenvolvimento, pois o SIMP, software que permite simular os sistemas pneumáticos de uma bancada didática, originou o SIMP II, versão que dispõe de módulos de Pneumática pura, Eletropneumática e acionamentos elétricos, formando uma plataforma de exercícios práticos adequada às necessidades de uma instituição de ensino técnico ou superior na área de automação industrial (Pavani et al., 2019).

As bancadas virtuais SIMP e SIMP II foram desenvolvidas com o objetivo de fornecer aos estudantes uma experiência de aprendizado prática e imersiva com uma rápida curva de aprendizagem em automação e controle do movimento, inclusive, com o espelhamento virtual dos dispositivos existentes na instituição de ensino (Pavani et al., 2024).

O próximo passo do SIMP é tornar-se um gêmeo digital de uma bancada didática pneumática, possibilitando criação de representações virtuais complexas e dinâmicas, necessitando que a própria bancada sofra adaptações como a inclusão de sensores de funcionamento e posicionamento de seus componentes, bem como, sistemas de transmissão de sinais via Internet para que o estudante possa acompanhar remotamente o exercício proposto pelo professor.

A sequência do trabalho está organizada da seguinte forma. A sessão 2 apresenta um estudo experimental sobre o uso de bancadas didáticas virtuais. A sessão 3 apresenta o SimP. A sessão 4 apresenta as conclusões.

## **2 Experimento**

No curso de extensão intitulado Introdução à Automação Industrial dirigido aos estudantes do curso técnico integrado ao Ensino Médio em Eletrônica do Instituto Federal do Rio Grande do Sul – Campus Restinga, realizado no segundo semestre de 2023, foi apresentado o conteúdo de pneumática em aulas teóricas seguidas de aulas práticas em bancada física, mas não houve sucesso na montagem do circuito proposto

O referido curso foi ministrado para 20 (vinte) estudantes, com 20 (vinte) horas de duração divididas em 5 (cinco) aulas onde foram tratados os seguintes temas:

Aula 1 - Automação Industrial: conceito e aplicações;

Aula 2 - Pneumática: conceito e aplicações;

Aula 3 - Componentes pneumáticos: tipos, funções e simbologia;

Aula 4 - Circuito pneumático: conceito, aplicações e montagem em bancada didática;

Aula 5 - Circuito pneumático: simulação e automação com uso do software SIMP I.

Na aula 4 foi desenhado no quadro um circuito pneumático com três cilindros e ciclo único mostrado na figura 1, sendo solicitada a montagem para cada um dos estudantes.

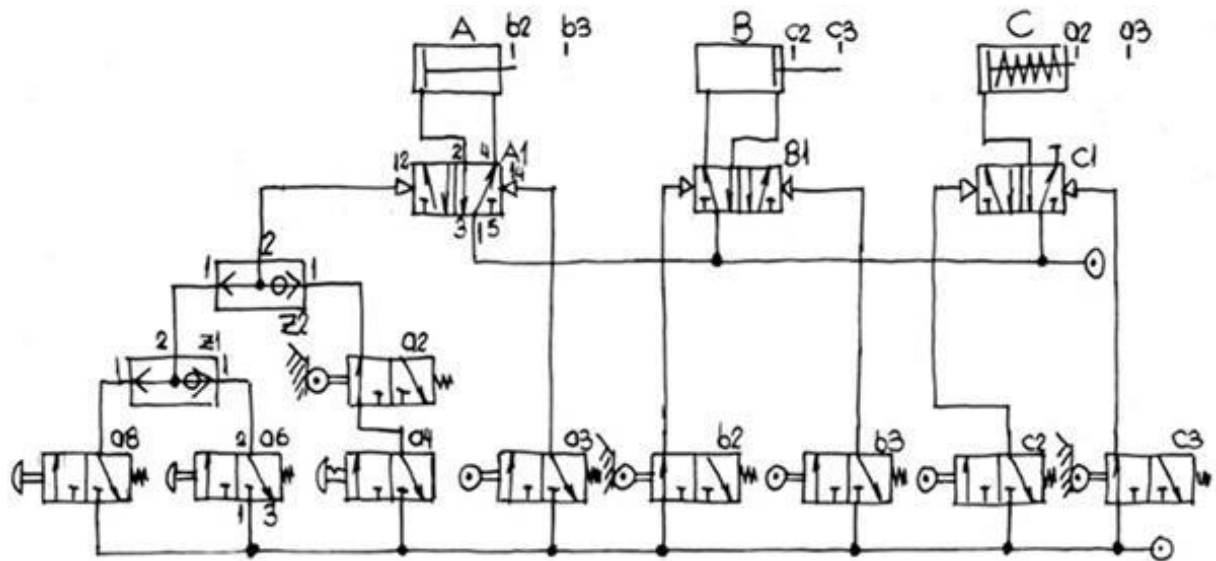


Figura 1 – Desenho esquemático de um circuito com 3 (três) cilindros e ciclo único  
Fonte: Pavani et al., 2024

Apesar das explicações complementares apresentadas pelo professor, alguns poucos estudantes obtiveram sucesso na montagem do circuito. Na aula seguinte, foi apresentado o software SIMP e os estudantes, após montarem virtualmente o circuito, obtiveram sucesso na montagem na bancada didática, comprovando o que foi relatado na literatura (Pavani et al., 2024). O resultado apresentado, mostrado na Figura 2, corrobora experimentalmente o que já tinha sido verificado por diversos anos nas aulas do Colégio Técnico Industrial de Santa Maria.



Figura 2 – Comparação da taxa de sucesso na montagem do circuito  
Fonte: acervo dos autores

Com base no experimento realizado, foram observadas as seguintes desvantagens no uso de bancadas didáticas:

- a. O número de bancadas disponíveis (duas) é inferior ao número de estudantes (vinte), o que reduziu o tempo individual de prática, comprometendo o aprendizado;
- b. A falta de manutenção das bancadas didáticas devido à falta de recursos financeiros levou a dificuldades operacionais e ao atraso na realização das atividades propostas;
- c. O medo de errar diante dos colegas inibiu a participação ativa de alguns estudantes, limitando a experimentação e o aprendizado por tentativa e erro;
- d. O manuseio de componentes pneumáticos envolve riscos, que podem resultar em danos físicos e/ou materiais;
- e. O professor não conseguiu acompanhar cada estudante de maneira individualizada, dificultando a identificação e correção dos erros na montagem do circuito pneumático;
- f. O uso da bancada didática exigiu a reserva prévia do laboratório, o que pode limitar a flexibilidade para práticas extras e aprofundamento do conteúdo;
- g. Necessidade de recursos humanos adicionais para garantir a segurança e a organização do espaço do laboratório, requerendo a presença de um professor ou tutor responsável.

A dicotomia entre teoria e prática é um dos principais desafios enfrentados pela educação nos cursos técnicos e superiores nas áreas de ciência e engenharia, pois a falta de atividades práticas em laboratório, muitas vezes, decorrente de limitações de tempo, recursos e infraestrutura, dificulta a compreensão dos conceitos teóricos e o desenvolvimento de habilidades práticas essenciais para a atuação profissional.

Neste sentido, busca-se soluções alternativas para o problema como a ampliação do número de bancadas didáticas para possibilitar um estudo mais individualizado ao estudante como no caso do Laboratório de Pneumática do Colégio Técnico Industrial de Santa Maria (CTISM) que dispõe de 20 (vinte) bancadas para turmas de 40 (quarenta) estudantes como mostra a Figura 3:



Figura 3 – Bancadas físicas do Laboratório de Pneumática - CTISM  
Fonte: acervo dos autores

Por outro lado, o problema pode ser tangenciado pela integração de diferentes tecnologias em um mesmo laboratório, economizando espaço e recursos humanos como mostra a Figura 4.



Figura 4 – Bancadas físicas do Laboratório do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade de Fortaleza - Unifor  
Fonte: <https://unifor.br/web/graduacao/engenharia-de-controle-e-automacao>

A partir do curso ministrado, constatou-se que as bancadas virtuais podem reduzir o distanciamento entre teoria e prática de modo econômico, rápido e escalável, entre outros benefícios.

O ensino das tecnologias de automação e controle do movimento é essencial para a engenharia, mas necessita de laboratórios equipados com bancadas didáticas, cuja implantação, manutenção e ampliação é custosa, limitando a realização de experimentos práticos pelos estudantes (Pavani et al., 2024).

Os laboratórios virtuais oferecem recursos que vão além das capacidades do professor em sala de aula, pois a capacidade de armazenar e apresentar informações

de forma sistemática, aliada aos recursos multimídia e simulações, torna o ensino virtual uma ferramenta poderosa para a aprendizagem de conceitos complexos em engenharia (Fernandes, 2011).

As bancadas virtuais simulam e replicam o comportamento das bancadas físicas de acionamentos pneumáticos, hidráulicos e elétricos, permitindo que os estudantes realizem experimentos com diversos componentes como cilindros pneumáticos, válvulas hidráulicas e motores elétricos.

Na indústria 4.0, os gêmeos digitais oferecem informações valiosas para a otimização dos processos de fabricação como sequências de produção detalhadas, listas de materiais completas e estimativas precisas de custos, permitindo identificar e eliminar desperdícios, minimizando falhas e garantindo a qualidade do produto final (Grieves; Thomas, 2015).

O gêmeo digital, através da simulação de diferentes cenários e condições operacionais, permite o desenvolvimento de habilidades práticas como a capacidade de prever falhas, reduzir custos com reparos e paradas não planejadas Rocha (2022), sendo o SIMP um dos primeiros contatos do estudante com esta tecnologia.

Os gêmeos digitais são protagonistas na Quarta Revolução Industrial, estando cada vez mais presentes nas escolas e nas indústrias (Kewley, 2024), pois segundo a Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração (ABM, 2024), os gêmeos digitais estão entre as 10 (dez) principais tecnologias da indústria.

### **3 SiMP: uma ponte entre o Real e o Virtual**

O SIMP oferece diversas vantagens em relação às bancadas físicas, pois pode ser acessado por qualquer estudante com um computador e conexão à internet, independentemente de sua localização geográfica, sendo muito mais fácil de implementar do que as bancadas físicas além de eliminar os riscos de acidentes durante os experimentos, possibilitando que os estudantes utilizem diversas configurações para a solução de um exercício, o que não é possível com as bancadas físicas devido à crônica falta de acessórios.

A bancada virtual SIMP pode ser utilizada de forma presencial, remota e híbrida, inclusive, em complemento às bancadas físicas em aulas presenciais, proporcionando aos estudantes uma experiência de aprendizado rica e imersiva, pois a simulação computacional é a forma mais eficiente, rápida, barata e eficaz de se fazer projetos (Abud Filho, 2018), contribuindo com sua formação profissional.

A Figura 5 mostra a captura de tela da bancada virtual SIMP.

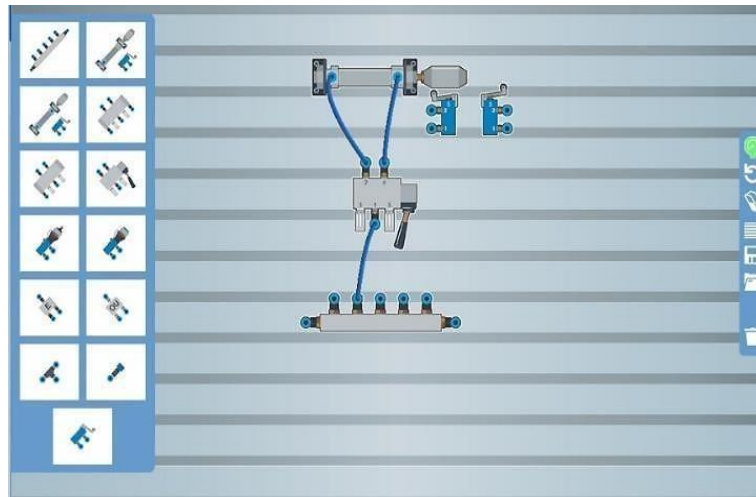


Figura 5 - Imagem do SIMP - Circuito com um cilindro  
Fonte: Pavani et al, 2024

A tecnologia de gêmeos digitais (*Digital Twin*) revolucionou diversas áreas da indústria, onde uma réplica virtual simula o comportamento de uma máquina ou processo físico com fidelidade e economia, fazendo uso de diversos dispositivos de coleta de dados instalados capturam informações como temperatura, pressão, vibração entre outros parâmetros relevantes, facilitando o diagnóstico e a previsão do estado futuro de sistemas produtivos além de contribuir para a melhoria contínua dos processos industriais, alinhando-se às exigências da Indústria 4.0 (Silva, 2024).

A implementação da tecnologia de gêmeo digital, reunindo de modo eficaz o mundo físico e o virtual, envolve desafios significativos como a necessidade de profundo conhecimento técnico, pois os dados coletados são transmitidos para uma plataforma de software onde são processados, analisados e integrados em um modelo virtual 3D que se torna a representação digital do objeto físico, permitindo que ele seja monitorado, simulado e otimizado em tempo real (Kahn, 2017; Soori et al., 2023).

O problema relacionado à operacionalidade do gêmeo digital é a imprecisão existente entre o modelo virtual e o modelo físico devido às dificuldades relacionadas à fabricação de componentes mecânicos, construção e instalação no 'chão de fábrica' do modelo 3D previamente gerado. Na prática, o mundo virtual e o real não são idênticos, ou seja, existem diferenças de *layout*, fabricação e desempenho de cada elemento projetado (Vitalli, 2023). Porém, a metodologia permite a calibração do gêmeo digital para que ele reflita com maior precisão a realidade física, garantindo que as simulações sejam representativas do desempenho real, incluindo o controle de interface integrada com o Controlador Lógico Programável (CLP) e a emulação de redes de comunicação.

Para que o SIMP evolua para um gêmeo digital plenamente funcional de uma bancada didática pneumática, tornando-se capaz de representar virtualmente sistemas complexos e dinâmicos, é imprescindível a adaptação da bancada física com a integração

de sensores de monitoramento e posicionamento de seus componentes. Dentre esses sensores, destaca-se o uso de uma chave magnética do tipo reed switch, responsável pela detecção dos pontos máximo e mínimo da excursão do êmbolo do atuador pneumático. Além disso, a incorporação de um posicionador eletropneumático e de um servomotor para o controle preciso dos acionamentos pneumáticos contribuirá para a replicação fidedigna dos movimentos no ambiente virtual. Complementarmente, a implementação de sistemas de transmissão de sinais via Internet possibilitará que os estudantes acompanhem os experimentos em tempo real, viabilizando uma experiência educacional mais interativa e alinhada aos princípios da Indústria 4.0.

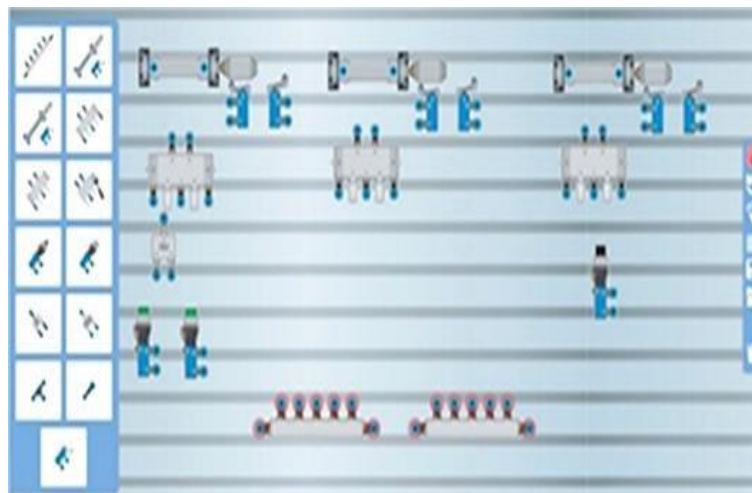


Figura 6 - Captura de tela de um circuito com 3 (três) cilindros e ciclo único  
Fonte: Software SIMP

Neste caso, o estudante faria a interconexão com mangueiras de ar comprimido dos diversos componentes do circuito e simularia seu funcionamento, sendo a resolução replicada na bancada didática física dotada de sensores de posição para os cilindros pneumáticos pelo professor.

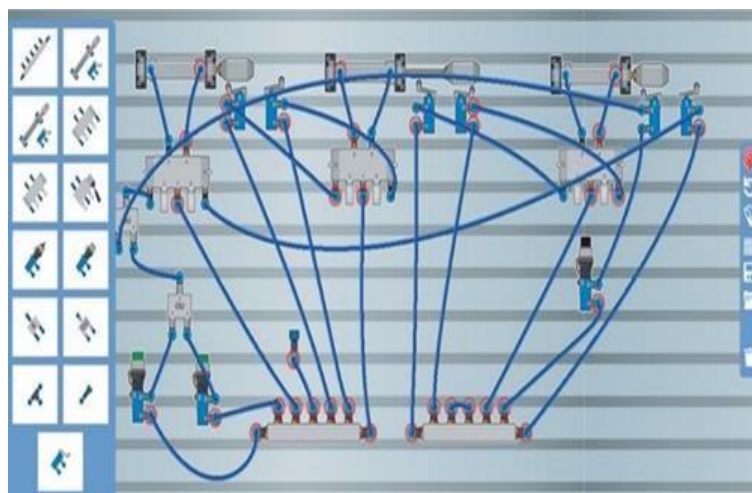


Figura 7 - Captura de tela de um circuito com 3 (três) cilindros e ciclo único  
Fonte: Software SIMP

## 4 Conclusão

Os gêmeos digitais representam um salto tecnológico na forma como se interage com a realidade concreta, pois ao conectar o mundo físico ao virtual, cria novas possibilidades para otimizar processos, tomar decisões mais inteligentes e desenvolver novos produtos e serviços conforme a evolução do mercado globalizado.

O fato dos estudantes terem apresentado dificuldades na montagem do circuito físico, mas terem demonstrado facilidade ao utilizar o SIMP, reforça a ideia de que a simulação computacional pode ser uma alternativa eficiente para complementar o aprendizado prático de assuntos complexos. Embora as bancadas físicas sejam essenciais para a aprendizagem, sua combinação com ferramentas digitais pode mitigar suas limitações, proporcionando uma experiência mais acessível, segura e eficaz para os estudantes. A comparação da taxa de sucesso na montagem do circuito entre a bancada física (26%) e o SIMP (74%), mostra a eficácia do simulador em relação à prática direta na bancada didática.

As bancadas virtuais SIMP e SIMP II representam um avanço significativo no ensino de controle e automação, pois oferecem uma alternativa inovadora para o ensino presencial, remoto e híbrido, expandindo o acesso à educação de qualidade para estudantes em qualquer local do país, sendo um projeto em evolução que deve torna-se o gêmeo digital de uma bancada didática de pneumática, pois as vantagens da utilização dos gêmeos digitais vão muito além da indústria propriamente dita, tendo aplicações diretas na educação, reduzindo a distância entre a teoria e a prática profissional.

## Referências

ABM - Associação Brasileira de Manutenção. O Papel dos Gêmeos Digitais na Indústria 4.0. Disponível em <<https://www.abmbrasil.com.br/por/noticia/gemeo-digital-a-tecnologia-do-agora>> Acesso em 16 set. 2024.

ABUD Filho, Emílio. Dos túneis de vento à simulação computacional: O caminho do sucesso da Brasilsat. Disponível em <<https://www.esss.co/blog/tunel-de-vento/>>. Acesso em 16 set. 2024.

FERNANDES, J. C. Laboratório virtual: ferramenta de apoio didático em disciplinas no ensino de engenharia. Trabalho apresentado no CONGRESSO ESTADUAL PAULISTA SOBRE FORMAÇÃO DE EDUCADORES, São Paulo, 2011.

GARCIA, Cláudio. Gêmeos digitais marcam nova fase de transformação nas indústrias. Disponível em <<https://jornal.usp.br/universidade/gemeos-digitais-marcam-nova-fase-de-transformacao-nas-industrias/>> Acesso em 16 set. 2024.

GRIEVES, M. W.; THOMAS, F. *Digital Twin: manufacturing excellence through virtual*

*factory replication*. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=MU68ZcJ66x4>>. Acesso em: 15 set. 2024.

HALKER, N. S. M.; VATANABE, S. L. Desenvolvimento de um Laboratório Virtual Didático para ensino de Máquinas Elétricas. *Revista de Engenharia*, v. 3, n. 1, p. 33-50, 2020.

HELIKAR, T. *Digital Twin of the human immune*. Disponível em <<https://www.nokia.com/thought-leadership/articles/digital-twin-of-the-human-immune-system/>> Acesso em 16 set. 2024.

HUANG, Jintang; HUANG, Sihan; YAN, Yan; et al. Deep Reinforcement Learning-Based Dynamic Reconfiguration Planning for Digital Twin-Driven Smart Manufacturing Systems With Reconfigurable Machine Tools. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2024. Disponível em <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=10614748>> Acesso em: 16 set. 2024.

KAHN, V. *Use of 3D experience to create a digital twin to unify virtual and real worlds* Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=hXvmA7gBbSM>> Acesso em 16 set. 2024.

KEWLEY, Kathleen. Gêmeos digitais: os mundos que estão mudando a forma como as empresas funcionam. Disponível em <<https://forbes.com.br/forbes-tech/2023/05/gemeos-digitais-os-mundos-que-estao-mudando-a-forma-como-as-empresas-funcionam/>> Acesso em 16 set. 2024.

MTI Brasil. Guia de Automação Industrial: tudo o que você precisa saber. Disponível em: <https://mtibrasil.com.br/blog/automacao-industrial/guia-de-automacao-industrial/>. Acesso em: 22 jan. 2025.

MUSSOMELI, A. *et al. Expecting digital twins*. Disponível em <<https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/signals-for-strategists/understanding-digital-twin-technology.html>> Acesso em 16 set. 2024.

ONAJI, Igiri; TIWARI, Divya; SOULATIANTORK, Payam; SONG, Boyang; TIWARI, Ashutosh. Digital twin in manufacturing: conceptual framework and case studies. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, v. 35, n. 8, p. 831-858, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0951192X.2022.2027014>. Acesso em: 17 out. 2024.

PAVANI, S. A. PAVANI, G. J. POZZER, C. T. *SimP I - Bancada Virtual: Manual de aplicação* 2 ed - Porto Alegre, RS - Professor Pavani, 2024. ISBN 978-65-00-90424-6

PAVANI, S. A.; POZZER, C. T.; COLUSSO, P. R. Bancada virtual para laboratórios de automação pneumática, hidráulica, acionamento de motores e controladores de processo – um caso em evolução. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA (COBENGE), 2019, Fortaleza, Ceará. Anais... [s.l.: s.n.], 2019.

PEDRONI, Benedito Cristiano; GLÓRIA JÚNIOR, Irapuan; GONÇALVES, Rodrigo Franco. Indústria 4.0: Conceitos e Fundamentos. In: SACOMANO, José Benedito; GONÇALVES, Rodrigo Franco; BENILLA, Márcia Helena; SÁTYRO, Walter Cardoso (Org.). *Indústria 4.0: Conceitos e Fundamentos*. São Paulo: Edgard Blücher, 2018. p. 47-48.

ROCHA, Lucas José Souza da. O Conceito de Digital Twin como Ferramenta de Apoio à Operação de Veículos Ferroviários. 2022. Dissertação (Mestrado em Multimídia - Especialização em Tecnologias Interativas e Jogos Digitais) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2022.

SILVA, Ana Carolina Oliveira da. Digital Twin – Um aliado da simulação à melhoria contínua industrial. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) – Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Braga, 2024.

SOORI, M.; AREZOO, B.; DASTRES, R. Digital twin for smart manufacturing: A review. Sustainable Manufacturing and Service Economics, v. 2, n. 2, p. 100017, 2023.

UNIFOR - Universidade de Fortaleza <<https://unifor.br/web/graduacao/engenharia-de-controle-e-automacao>> Acesso em 15 set. 2024.

VITALLI, Rogério Adas Pereira. Sistematização da Metodologia de Calibração utilizando a técnica de Gêmeos Digitais para Robôs: Estudo de caso aplicado em Robôs Industriais. 2023. Tese (Doutorado em Mecatrônica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2023.