15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

ENSINO DE ROBÓTICA NOS CURSOS POR MEIO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

LETÍCIA GOMES[1], GABRIEL CORDEIRO[2], CLAYTON TORRER[3], JOHN FABER[4]

[1] Graduando em Engenharia Mecânica, IFSP, Campus Araraquara, gomes.leticia1@ifsp.edu.br.
[2] Graduando em Engenharia Mecânica, IFSP, Campus Araraquara, cordeirog841@gmail.com.
[3] Professor, IFSP, Campus Araraquara, clayton@ifsp.edu.br
[4] Professor, IFSP, Campus Araraquara, faber24@gmail.com.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 1.03.03.04-9 Sistemas de Informação

RESUMO: O ensino de robótica em cursos de engenharia e tecnologia tem se beneficiado significativamente da utilização de simulações computacionais. Essas ferramentas permitem que os estudantes adquiram conhecimentos práticos em robótica, sem a necessidade imediata de equipamentos físicos, que muitas vezes são caros e de difícil acesso. A simulação computacional oferece um ambiente seguro e controlado onde os alunos podem experimentar diferentes cenários, programar e testar robôs, e analisar o desempenho em tempo real. Além disso, essa abordagem facilita a compreensão de conceitos complexos, como cinemática, dinâmica e controle de robôs, ao permitir a visualização e interação direta com modelos virtuais. O uso de softwares de simulação, como o RobotStudio, MATLAB, programação em Phyton, é destacado como ferramentas eficazes para complementar a teoria com a prática, preparando os estudantes para desafios reais na indústria. A simulação computacional não apenas enriquece o aprendizado, mas também torna o ensino de robótica mais acessível, flexível e adaptável às diversas necessidades educacionais.

PALAVRAS-CHAVE: robótica; simulação; ensino; software.

TEACHING ROBOTICS IN COURSES THROUGH COMPUTATIONAL SIMULATION

ABSTRACT: Robotics teaching in engineering and technology courses has benefited significantly from the use of computer simulations. These tools allow students to acquire practical knowledge in robotics without the immediate need for physical equipment, which is often expensive and difficult to access. Computer simulation offers a safe and controlled environment where students can experiment with different scenarios, program and test robots, and analyze their performance in real time. In addition, this approach facilitates the understanding of complex concepts, such as kinematics, dynamics, and robot control, by allowing direct visualization and interaction with virtual models. The use of simulation software, such as RobotStudio, MATLAB, and Python programming, is highlighted as effective tools to complement theory with practice, preparing students for real challenges in the industry. Computer simulation not only enriches learning, but also makes robotics teaching more accessible, flexible, and adaptable to diverse educational needs.

KEYWORDS: robotics; simulation; teaching; software.

INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial, iniciada no século XVIII, revolucionou a produção com o desenvolvimento de tecnologias como máquinas a vapor e teares mecânicos, permitindo a transição de oficinas familiares para grandes manufaturas e usinas. Esse processo transformou o modelo artesanal, estabelecendo a base para as indústrias modernas. Com o tempo, a evolução das revoluções industriais culminou na Indústria 4.0, caracterizada pela integração de tecnologias digitais, automação avançada e sistemas interconectados. A Indústria 4.0 vai além da otimização da produção física, promovendo a personalização em massa, a produção sob demanda e a gestão de negócios baseada em dados em tempo real.

Nesse contexto, a robótica tem desempenhado um papel crucial na modernização das indústrias, transformando profundamente os processos de produção. Robôs industriais aumentam a eficiência, precisão e segurança nas fábricas, permitindo que as empresas reduzam custos e melhorem sua competitividade. Além disso, eles executam tarefas repetitivas e perigosas com alta precisão, protegendo os trabalhadores de ambientes arriscados e melhorando as condições de trabalho. Com isso, a robótica não só aprimora a produção, mas também eleva os padrões de segurança e confiabilidade no setor industrial.

A automação juntamente com a robótica também possibilita a flexibilidade na linha de produção, permitindo que as empresas respondam rapidamente às mudanças na demanda do mercado e personalizem produtos de acordo com as preferências dos clientes. Fator importante em um mundo onde a agilidade e a adaptação rápida são essenciais para o sucesso empresarial. (Silva, M.; Valette, R.)

Juntamente com a automação a simulação computacional também tem desempenhado um papel fundamental no ensino de cursos técnicos e de engenharia, principalmente em áreas que envolvem automação e robótica juntas. Ao utilizar softwares de simulação, os alunos podem interagir com cenários e sistemas virtuais que reproduzem fielmente o comportamento de máquinas e dispositivos reais. Isso proporciona um ambiente de aprendizado seguro e controlado, onde é possível experimentar, testar e até mesmo cometer erros sem o risco de danificar equipamentos caros.

A pesquisa na área de simulação computacional permite o desenvolvimento de metodologias mais eficientes de ensino, capacitando os estudantes a enfrentarem desafios práticos de forma mais eficiente e preparando-os para o mercado de trabalho com um domínio mais sólido das ferramentas e conceitos aplicados.

Um exemplo prático onde essa abordagem é particularmente útil é no estudo dos eixos do braço robótico ABB IRB 1100, robô escolhido para o estudo, que possui uma arquitetura avançada e é amplamente utilizado em processos industriais automatizados. Com ele é possível simular a parte computacional de maneira a ter uma melhor eficiência no ensino de robótica dos cursos e para a indústria em geral.

MATERIAL E MÉTODOS

1. BRAÇO ROBÓTICO ABB IRB 1100

Como já mencionado, o IRB 1100 da marca ABB, foi o escolhido. Este é um robô industrial, do tipo antropomórfico com 6 graus de liberdade, ou seja, possui 6 eixos de deslocamento independentes, ou 6 motores elétricos do tipo servo motor que acionam as juntas móveis. [1]

Os robôs do tipo antropomórfico (antro = homem e mórfico = forma), recebem esse nome devido à sua semelhança com alguma parte do corpo humano, [1] nesse caso, assemelha-se à estrutura de um braço humano. Podem ser do tipo duplo, com dois braços sobre uma base fixa, ou, no caso escolhido, apenas um braço sobre essa base.

Na Figura 1, podemos ver uma representação do robô escolhido. Nessa imagem são mostradas as juntas móveis, que são responsáveis pelos graus de liberdade, [1] ou seja, 6 juntas rotacionais móveis. As setas azuis indicam o sentido do vetor de deslocamento de cada junta, sendo que podem se mover em ambas as direções, horário ou anti-horário em cada junta.

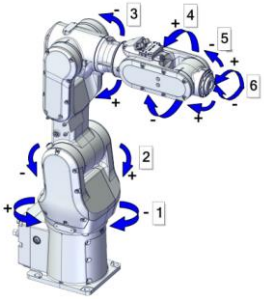

Figura 1. **Eixos e graus de liberdade robô ABB IRB 1100**

As juntas motorizadas não têm um deslocamento livre, ou seja, possuem um limite de rotação máximo e um limite mínimo. Esse limite de rotação deve ser especificado em uma escala de graus para que se possa conhecer os limites físicos estabelecido pelo robô, e devemos conhecer esses valores para que seja possível desenvolver a simulação virtual em computador, pois esses valores que vão garantir a

verossimilhança entre o modelo digital e o produto real. Na Tabela 1 é mostrado quais são os limites para cada uma das juntas do robô. [1]

EIXO 1	**±230°**
EIXO 2	-115° / +113°
EIXO 3	-205° / +55°
EIXO 4	± 230°
EIXO 5	-125° / +120°
EIXO 6	± 400° (valor padrão) / ± 242° (valor máximo de revolução)

Tabela 1. **Limites para as juntas do robô**

Visualmente, o gráfico abaixo mostra os limites de angulação esquematizados no desenho do robô, bem como os alcances de distância máximos, com uma visualização superior do dispositivo. [1]

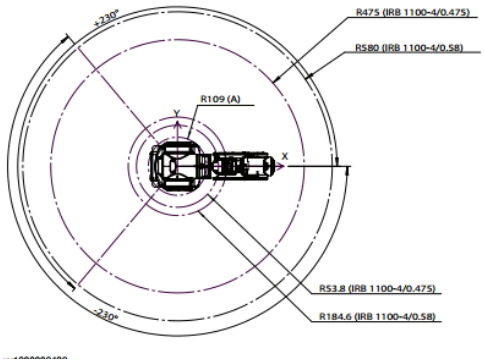

Figura 2. **Limites visuais de trabalho do robô**

Com essas visualizações, é possível comparar e escolher o robô que mais se adeque à necessidade de aplicação, mas, neste caso, podemos usar para comparar e conferir se a simulação está coerente com o esperado ou se existem divergências nos cálculos e, caso necessário, retrabalhar o modelo digital. [1]

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O braço robótico ABB IRB 1100 é caracterizado por possuir seis eixos de movimento, que oferecem grande flexibilidade para realizar tarefas complexas de manipulação e montagem. A simulação computacional permite que os alunos explorem a dinâmica e o controle de cada um desses eixos, entendendo como suas interações influenciam a precisão e eficiência nas operações. Assim, o aprendizado sobre o IRB 1100 por meio de simulações proporciona uma experiência prática e imersiva, facilitando a compreensão do comportamento do robô e de suas aplicações em ambientes reais.

Nós próximos tópicos será possível ver a simulação em dois principais canais de ensino, Software MATLAB e em linguagem PHYTON que é muito utilizada hoje.

1. SIMULAÇÃO MATLAB

A simulação de eixos e juntas de robôs no MATLAB oferece uma plataforma robusta para estudar e testar o comportamento dinâmico de manipuladores robóticos em um ambiente controlado. Utilizando ferramentas como o Robotics System Toolbox, é possível modelar com precisão as juntas e eixos de robôs, definindo parâmetros como ângulos, velocidades, acelerações e forças aplicadas em cada parte. O MATLAB permite a criação de modelos cinemáticos e dinâmicos de robôs, proporcionando simulações detalhadas que ajudam a compreender como os diferentes eixos e articulações se movem e interagem durante a execução de tarefas complexas. Além disso, a simulação facilita o desenvolvimento de algoritmos de controle e otimização do movimento, permitindo testar soluções antes da implementação em hardware real, o que reduz custos e riscos associados ao processo de prototipagem e operação.

O método de Denavit-Hartenberg (DH) é amplamente utilizado no estudo de cinemática de robôs para descrever a posição e a orientação de cada elo em relação ao anterior, por meio de transformações

homogêneas. No Octave, esse método é implementado de forma eficiente por meio de ferramentas como o Robotics System Toolbox, permitindo a modelagem de robôs com precisão e simplicidade. O MATLAB facilita a aplicação das convenções de Denavit-Hartenberg, permitindo que os usuários definam parâmetros como comprimento, deslocamento e ângulos de rotação para cada elo do robô, criando uma matriz de transformação homogênea que descreve o comportamento cinemático do sistema. Essa abordagem é essencial para o estudo da cinemática direta e inversa de manipuladores, oferecendo uma base sólida para o desenvolvimento de algoritmos de controle e otimização do movimento de robôs.

Partindo desses conceitos foi possível simular as posições do robô ABB IRB 1100 no software MATLAB, com o livro do Peter Corke foi possível montar o código todo, mudando apenas o tamanho dos elos.

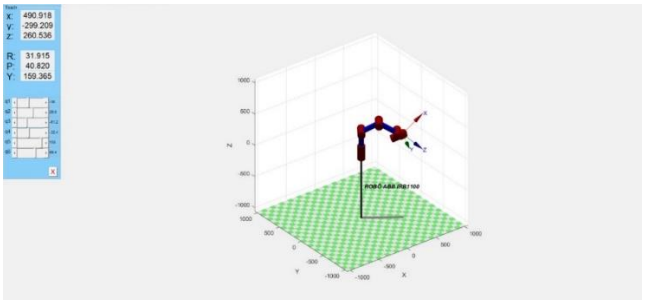

Figura 3. **Ambiente de Simulação MATLAB**

Após inserirmos todos esses códigos no MATLAB, habilitando os parâmetros do programa para compilação correta dos códigos, temos o seguinte resultado:

Abre-se uma janela específica para renderização do modelo em formato 3D.

Nessa janela, é exibido um espaço de simulação 3D onde é exibido o modelo criado pelo renderizador e à esquerda da janela são exibidas as coordenadas da posição do final do punho do robô simulado e, abaixo dessas informações, os controles rotativos dos 6 graus de liberdade do robô.

Os links são exibidos como uma peça cilíndrica azul, sempre conectadas às juntas, estas por sua vez são exibidas como cilindros vermelhos menores, de modo que todos estão conectados de acordo com o modelo de robô escolhido.

Na Figura 4, temos mais detalhes do modelo 3D do robô simulado.

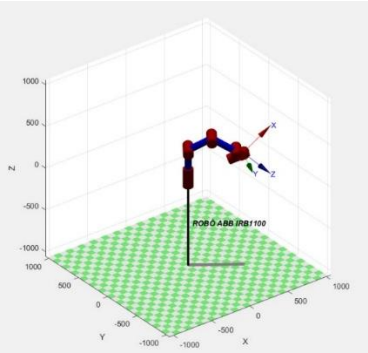

Figura 4. **Robô ABB IRB 1100 no ambiente MATLAB**

2. SIMULAÇÃO PHYTON

A simulação robótica em Python Figura 5, tornou-se uma ferramenta poderosa e acessível para engenheiros, pesquisadores e entusiastas da robótica. Python, com sua vasta coleção de bibliotecas e frameworks, oferece uma plataforma flexível para o desenvolvimento de algoritmos, modelagem de robôs, e realização de testes em ambientes simulados antes de passar para implementações em hardware real. (QUIGLEY, M., 2015)

Uma das principais vantagens de utilizar Python para simulação robótica é a sua simplicidade e clareza na codificação. Python é uma linguagem de alto nível que permite uma rápida prototipagem, o que é crucial no campo da robótica, onde a iteração rápida pode acelerar o desenvolvimento de novos algoritmos de controle, percepção e navegação. (QUIGLEY, M., 2015) Além disso, a simulação em

Python permite a criação de ambientes virtuais complexos onde robôs podem ser testados de maneira segura e econômica. Isso é particularmente importante em cenários onde os robôs operam em ambientes perigosos ou onde a falha pode resultar em altos custos financeiros. Utilizando simulações, os desenvolvedores podem prever comportamentos, detectar falhas e otimizar o desempenho dos robôs antes de realizar testes em condições reais. (QUIGLEY, M., 2015)

Em Python, o método de Denavit-Hartenberg (DH) é implementado por meio da biblioteca roboticstoolbox-python, que oferece uma maneira eficiente de criar modelos de robôs utilizando parâmetros DH. Cada elo do robô é definido por quatro parâmetros: ângulo de rotação, deslocamento ao longo do eixo z, comprimento do elo, e torção entre elos. Com essa abordagem, é possível construir a matriz de transformação homogênea que descreve as posições relativas entre os elos, facilitando o estudo da cinemática direta e inversa. Essa técnica é essencial para simular e controlar robôs de forma precisa em ambientes de automação e robótica.

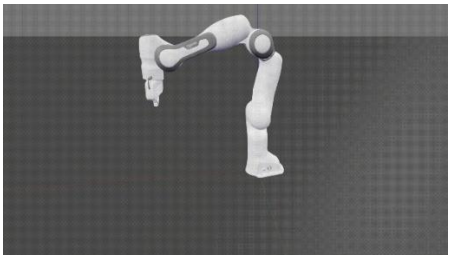

Figura 5. **Robô ABB IRB 1100 no ambiente em PHYTON**

3. SIMULAÇÃO ROBOTSTUDIO

O RobotStudio, desenvolvido pela ABB, é uma ferramenta de simulação robótica avançada que permite o desenvolvimento, programação e otimização de células robóticas em um ambiente virtual altamente preciso. Essa plataforma possibilita que engenheiros e programadores criem e testem programas de robôs antes da implementação física, reduzindo significativamente o tempo e os custos associados à configuração e programação em ambientes industriais reais.

Além de simular o comportamento dos robôs em tempo real, o RobotStudio oferece funcionalidades para verificar trajetórias, detectar colisões e otimizar movimentos, assegurando um funcionamento eficiente e seguro dos robôs. Sua capacidade de realizar simulações precisas, programar offline e integrar-se com sistemas de realidade aumentada a torna essencial para a automação industrial, contribuindo para o aumento da eficiência e a redução dos custos operacionais. Com o avanço contínuo das tecnologias de simulação e a crescente adoção de robôs, o RobotStudio continuará a ser uma ferramenta fundamental na indústria.

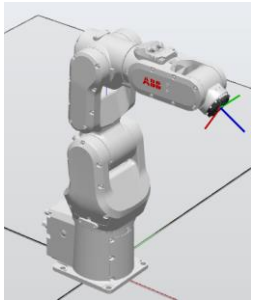

Figura 6. **Robô ABB IRB 1100 no ambiente de simulação**

CONCLUSÕES

A conclusão deste estudo marca um avanço significativo na integração entre teoria e prática no âmbito da robótica industrial. A criação e implementação de um modelo 3D de um robô industrial IRB 1100, com 6 graus de liberdade, utilizando os softwares MATLAB, RobotStudio e Linguagem Python,

refletiram um desempenho preciso, em linha com as expectativas estabelecidas previamente. Durante o desenvolvimento, enfrentamos desafios complexos, desde a definição dos parâmetros cinemáticos até a programação eficiente das trajetórias.

Cada um dos seis graus de liberdade respondeu de forma coordenada e precisa aos comandos, demonstrando a eficácia da abordagem adotada. A precisão alcançada nas trajetórias e na execução das tarefas reflete o sucesso do modelo na representação fiel do comportamento de um robô industrial real. Além disso, a experiência adquirida ao longo deste projeto não apenas fortaleceu o entendimento teórico dos conceitos fundamentais da robótica, mas também proporcionou insights práticos valiosos sobre as complexidades do design e controle de sistemas robóticos. O aprendizado estendeu-se além da implementação do modelo, incluindo a capacidade de diagnosticar e resolver problemas, aprimorando as habilidades necessárias para enfrentar desafios futuros na automação industrial.

Em resumo, este estudo não apenas alcançou os objetivos propostos, mas também contribuiu para o avanço do conhecimento e das habilidades práticas na área da robótica industrial. O desenvolvimento e operação bem-sucedidos do modelo 3D com 6 graus de liberdade no MATLAB refletem não apenas competência técnica, mas também comprometimento e dedicação ao rigor científico. A inclusão da linguagem Python nesse contexto, com sua vasta gama de bibliotecas e facilidade de uso, também destaca seu papel crucial no ensino e aplicação da robótica. Este trabalho serve como base sólida para futuras explorações e inovações no campo da robótica, com Python e MATLAB desempenhando papéis centrais nessas evoluções.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

John Faber, Letícia Gomes e Clayton Torres. contribuíram com a curadoria e análise dos dados. Letícia Gomes e Gabriel de Morais Cordeiro. procederam com a metodologia Clayton Torres, Letícia Gomes e Gabriel de Morais Cordeiro atuaram na redação do trabalho. Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao IFSP de Araraquara pelo suporte e apoio ao projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABB. *IRB 1100:* ***small robot for big tasks*** **[folheto técnico]**. Zurique: ABB, 2022. Disponível em: https://new.abb.com/products/robotics/robots/articulated-robots/irb-1100. Acesso em: 20 ago. 2024.

AFZAL, A.; KATZ, D. S.; LE GOUES, C.; TIMPERLEY, C. S. **Simulation for robotics test automation: Developer perspectives.** In: *2021 14th IEEE Conference on Software Testing, Verification and Validation (ICST)*, 2021, pp. 263-274. IEEE, 2021.

BATISTA, E. ***Fordismo, taylorismo e toyotismo: apontamentos sobre suas rupturas e continuidades***. III Simpósio Lutas Sociais da América Latina. GEPAL. Londrina, 2008.

CHAPLIN, C. ***Modern times*** **[roteiro].** Los Angeles: Charles Chaplin Productions, 1936.

CORKE, P. ***Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in Matlab***. v. 73. Springer, 2011.

COSTA, A. B. da. **Inovações e mudanças na organização industrial**. *Ensaios FEE*, v. 21, n. 2, 2000.

GROOVER, M. P. ***Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*****.** Third edition. Prentice Hall, Pearson, 2008.

HARRELL, C.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. ***Simulation Using ProModel*****.** Boston: McGraw-Hill, 2000.

LAROUSSE, C. *Grande enciclopédia*. São Paulo: Nova Cultural Ltda, 1998.

QUIGLEY, M.; GERKEY, B.; SMART, W. D. ***Programming Robots with ROS: A Practical Introduction to the Robot Operating System*****.** O'Reilly Media, 2015.

SILVA, M.; VALETTE, R. **Petri nets and flexible manufacturing**. In: *Advances in Petrinets 1989*. [S.l.]: Springer, 1990.

SMITH, J. S. **Survey on the use of Simulation for Manufacturing System Design and Operation.** *Journal of Manufacturing Systems*, v. 22, n. 2, 2003.

TORRES, C. J.; ARCHILA DIAZ, J. F.; TRONCO, M. L. **Simulação e implementação de uma célula didática de manufatura integrada: IFSP**. *Sinergia*, v. 19, n. 1, p. 21-26, 2018.