REALIZAÇÃO ABENGE Associação Brasileira de Educação em Engenharia
COBENGE 2026
14 A 18 DE SETEMBRO DE 2026
BELO HORIZONTE -MG
ORGANIZAÇÃO IPUC ENGENHARIAS PUC Minas

DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR DE REALIDADE VIRTUAL PARA UM ENSINO MAIS IMERSIVO DA ROBÓTICA INDUSTRIAL

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2026.0361

Autores: *JÚLIA DE MOURA SOUZA, ERICK NATHAN MARTINS ALVES, RENATO DE SOUSA DÂMASO*

Resumo:

Este trabalho consiste no desenvolvimento de um simulador para o ensino da operação e programação de um robô industrial de forma mais imersiva e envolvente. Para isso, foram utilizados um dispositivo de realidade virtual disponível e o ambiente de desenvolvimento de VR do Unity. Inicialmente, foram modelados o ambiente de simulação, o robô industrial selecionado para iniciar o desenvolvimento do simulador e uma ferramenta de garra de dois dedos. Em seguida, foram projetados dois painéis de operação: um destinado a permitir a variação dos valores das seis posições das juntas do robô e da abertura da garra, e outro que possibilita o movimento do robô de acordo com os eixos cartesianos do referencial fixado na base do robô. Após o movimento do robô, suas posições podem ser registradas, e sua programação pode ser expandida para implementar tarefas de interesse, como o empilhamento de cubos, por exemplo. Assim, o objetivo é que este simulador contribua para tornar o ensino prático da robótica industrial mais envolvente e acessível em cursos técnicos e de engenharia.

Palavras-chave: Educação em engenharia, simulação computacional, realidade virtual, robótica industrial

DESENVOLVIMENTO DE UM SIMULADOR DE REALIDADE VIRTUAL PARA UM ENSINO MAIS IMERSIVO DA ROBÓTICA INDUSTRIAL

1 INTRODUÇÃO

A robótica industrial é a parte da robótica que abrange os manipuladores empregados em linhas de fabricação com algum grau de automação, sendo um importante elemento para aumentar a produtividade e flexibilidade em diversos setores da indústria. Por integrar mecânica de precisão, eletrônica e sistemas de controle, também é amplamente utilizada como exemplo de dispositivo mecatrônico no ensino de Engenharia.

No entanto, o ensino da robótica industrial enfrenta desafios, como a elevada complexidade matemática envolvida na modelagem dos manipuladores e a lacuna entre teoria e prática. Muitas vezes, o aprendizado se concentra em aspectos teóricos, como as modelagens cinemática e dinâmica, sem a devida aplicação em sistemas reais, sendo agravado pelo alto custo e baixa disponibilidade de robôs desse porte em instituições de ensino.

Uma possibilidade para reduzir esse problema e conferir uma capacitação prática adequada à formação dos engenheiros nessa área é fazer uso da tecnologia, empregando programas computacionais e simuladores (SANTOS et al, 2017). Nesse contexto, o uso de tecnologias de Realidade Virtual (RV) surge como uma alternativa para aproximar teoria e prática. Ambientes virtuais permitem a exploração segura e de baixo custo de conceitos complexos, além de viabilizar o treinamento e a visualização de trajetórias de robôs.

Diante disso, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma aplicação em RV para a modelagem da célula robótica Comau Smart5 Six, incluindo a criação de um ambiente tridimensional, interfaces de interação e recursos voltados ao apoio didático. A proposta busca tornar o ensino mais acessível e imersivo, além de explorar o potencial de ferramentas de desenvolvimento, como a plataforma Unity (UNITY TECHNOLOGIES, 2026), na construção de aplicações educacionais.

Este trabalho apresenta a etapa inicial de desenvolvimento do simulador, com foco na modelagem do ambiente virtual e implementação das funcionalidades básicas, ainda sem avaliação experimental com usuários.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Robótica Industrial

Os robôs industriais são amplamente utilizados em processos produtivos devido à sua capacidade de executar tarefas repetitivas com elevada precisão, velocidade e confiabilidade. De forma geral, um manipulador robótico pode ser definido como um sistema mecânico articulado composto por elos (links) e juntas, cuja função é posicionar e orientar continuamente uma ferramenta no espaço de trabalho.

Os manipuladores podem ser classificados em duas categorias principais: manipuladores de propósito geral, que permitem a troca de ferramentas conforme a aplicação; e manipuladores dedicados, projetados para tarefas específicas, integrando cabos, mangueiras e ferramentas à sua estrutura. No contexto deste trabalho, considera-se a modelagem de apenas um modelo de manipulador de propósito geral, o Comau Smart5 Six 1.4, como é mostrado na Figura 1. Trata-se de um robô industrial do tipo rotacional, com 6 GDL (Graus de Liberdade) (COMAU, 2023). Na Figura 1 são ilustradas tarefas de empilhamento de cubos de 50mm de aresta pelo robô.

Figura 1 – Robô industrial Comau Smart5 Six com um protótipo de garra

Fonte: Os autores (2026)

2.2 Programação de Robôs

A programação de robôs industriais é tradicionalmente realizada por meio da metodologia conhecida como *Teaching*, na qual o operador movimenta o robô manualmente às posições desejadas e grava essas posições como parte de um programa. Cada posição armazenada pode ser complementada com parâmetros adicionais, como tipo de movimento — por exemplo, movimento articular (*joint*) ou linear —, velocidade de deslocamento e eventos associados.

Além do controle de trajetória, a programação envolve a definição de ações auxiliares, como acionamento de ferramentas, leitura de sensores e sincronização com outros dispositivos. Após a validação do programa em modo manual, o sistema pode operar automaticamente, executando sequências previamente definidas de forma repetitiva.

Durante a execução automática, o movimento do robô é segmentado em trechos entre posições sucessivas, sendo necessário coordenar o deslocamento das juntas de modo que todas atinjam simultaneamente seus destinos. Essa coordenação depende das limitações físicas do manipulador, como velocidades máximas e faixas angulares de cada junta.

2.3 Modelagem Matemática

Na robótica industrial, a representação matemática de manipuladores é realizada basicamente por meio de sua modelagem cinemática direta e inversa. A pose, que é a combinação da posição e da orientação, do sistema de coordenadas associado ao efetuador do robô em relação ao sistema de coordenadas de referência na sua base é feita por meio de uma matriz de transformação homogênea (MTH), como é mostrado na Equação (1).

Em cada campo da MTH é escrita uma expressão que combina dimensões de elos com senos e cossenos dos ângulos das juntas do robô, que descreve a relação entre as variáveis articulares e a posição e orientação do efetuador final. As Equações (2) e (3) exemplificam parte dessa modelagem, onde c1 é a notação simplificada de cos(θ_1) e s(2-3) é a notação simplificada de sen(θ_2-θ_3).

$$r_{11} = -c1s(2-3)s5c6 + c1c(2-3)c4c5c6 - s1s4c5c6 - c1c(2-3)s4s6 - s1c4s6 \quad (2)$$

A posição do ponto central da ferramenta (*Tool Center Point* – TCP) pode ser determinada pela quarta coluna da MTH da modelagem cinemática direta. Uma abordagem amplamente utilizada para essa modelagem é a convenção de Denavit-Hartenberg (DH) (SPONG et al, 2005).

Já a modelagem cinemática inversa fornece as equações que permitem calcular as posições de cada junta para que o efetuador do robô seja posicionado na posição e orientação desejadas para a realização de uma tarefa. A Equação (4) exemplifica expressões da modelagem cinemática inversa, onde θ_1 é a posição em graus da junta 1, Atan2 é a função trigonométrica arco tangente 2, x^0_7 e y^0_7 são as posições do TCP da garra em relação ao sistema de referência da base do robô e i e j são os versores de x e y, respectivamente (SPONG et al, 2005).

$$\theta_1 = A\tan 2(y_7^0 - (l_6 + l_7)R_7^0\hat{j}\ ,\ x_7^0 - (l_6 + l_7)R_7^0\hat{i}) \quad (4)$$

A correta definição dos sistemas de coordenadas e das transformações homogêneas associadas é fundamental para garantir a consistência entre o modelo matemático e o comportamento físico do robô. Já a modelagem cinemática inversa é necessária para a movimentação do efetuador do manipulador nas direções dos eixos do sistema de coordenadas de referência na base do robô.

3 METODOLOGIA

O sistema desenvolvido neste trabalho baseia-se na criação de um ambiente virtual imersivo capaz de simular o comportamento de um manipulador robótico industrial. A abordagem adotada fundamenta-se no conceito de Gêmeo Digital, no qual um modelo virtual reproduz as características cinemáticas de um robô físico real disponível em laboratório.

O desenvolvimento foi estruturado em etapas que incluem a modelagem do manipulador, a construção do ambiente virtual, a implementação da cinemática e o desenvolvimento da interface de interação em realidade virtual.

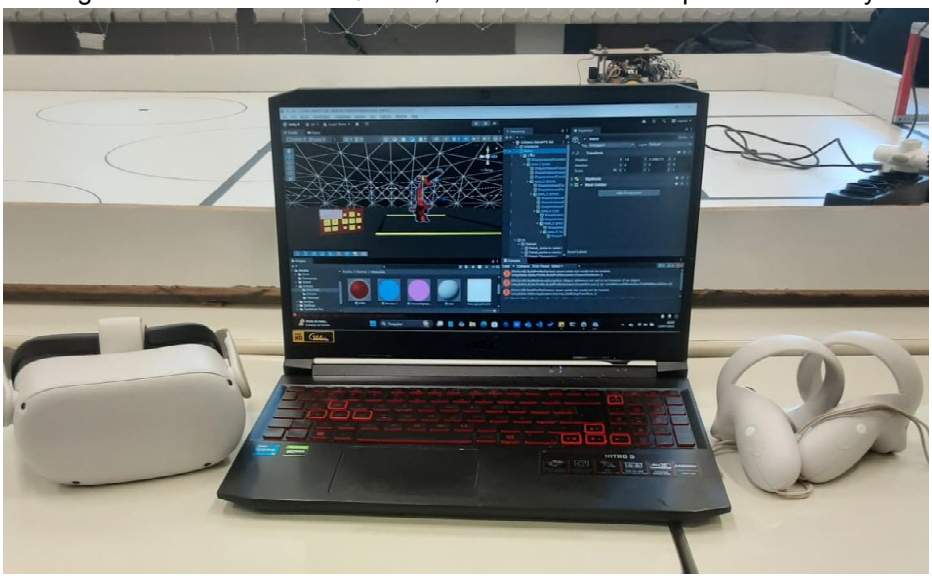
3.1 Ferramentas e Tecnologias Utilizadas

Para a implementação do sistema, foram utilizadas ferramentas de software e hardware voltadas à simulação e interação em realidade virtual. A plataforma Unity (UNITY TECHNOLOGIES, 2026; UNITY, 2025) foi empregada como motor gráfico principal, devido à sua versatilidade, ampla documentação e suporte a aplicações imersivas. A programação foi realizada em linguagem C#, utilizada para o desenvolvimento das lógicas de controle, interação e movimentação do manipulador.

Para a interação em realidade virtual, foi utilizado o dispositivo Meta Quest 2, juntamente com seus controladores, mostrados na Figura 2, permitindo a manipulação do

ambiente virtual por meio de gestos e ações do usuário. A integração entre hardware e software foi viabilizada pelo uso do XR Interaction Toolkit, que abstrai os dispositivos de entrada e facilita o desenvolvimento de aplicações imersivas.

Figura 2 – Óculos Meta Quest 2, controles de mão e plataforma Unity



Fonte: Os autores (2026)

3.2 Modelagem do Manipulador Robótico

O manipulador considerado neste trabalho é o modelo industrial de seis graus de liberdade mencionado anteriormente, o Comau Six. Inicialmente, optou-se por restringir o escopo a um único manipulador, de modo a reduzir a complexidade dessa etapa inicial de desenvolvimento e permitir maior controle sobre a validação do sistema.

Em trabalho anterior, foi construído um protótipo de garra com dois dedos paralelos, destinada à realização de tarefas de manipulação de pequenos objetos de até 500g e largura de 80mm, em atividades de ensino e pesquisa (PEREIRA, 2020). Essa garra, com comprimento de 154mm e distância até seu TCP de l_7 = 143mm, também foi um dos elementos modelados no ambiente de RV no âmbito desta pesquisa, sendo incorporada ao modelo virtual como efetuador final.

A modelagem geométrica do manipulador foi realizada respeitando a estrutura cinemática do sistema real, com a definição adequada de elos, juntas e sistemas de coordenadas.

3.3 Parâmetros Técnicos

A construção do modelo virtual foi baseada nos parâmetros de Denavit-Hartenberg, apresentados na Tabela 1, obtidos a partir de dados do fabricante, tais como as dimensões de elos e da configuração das juntas do manipulador real, mostrados na Figura 3. Esses parâmetros permitem descrever matematicamente a relação entre os elos e calcular a posição e a orientação do efetuador final. O sistema respeita a faixa de movimentação angular das juntas e as velocidades máximas de cada eixo, como mostrado na Tabela 2, a fim de garantir a coerência do comportamento virtual em relação ao sistema físico, contribuindo para a consistência da simulação.

Figura 3 – Delimitação do plano de trabalho do Comau Smart5 Six 1.4, dimensões dos links, sentidos e faixa de movimentação das juntas.

Fonte: Adaptado de (COMAU, 2023)

Tabela 1 - Tabela de Denavit-Hartenberg para o Comau Six

Eixo	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	θ_1*	$-l_1$ = -450mm	l_2 = 150mm	90º
2	θ_2*-90º	0	l_3 = 590mm	180º
3	θ_3*	0	l_4 = 130mm	-90º
4	θ_4*	$-l_5$ = -647mm	0	-90º
5	θ_5*	0	0	90º
6	θ_6*	$-l_6$ = -95mm	0	0º

Fonte: Os autores

Tabela 2 - Limites Angulares e Velocidades Máximas de Cada Junta

Junta	Faixa de movimentação (em graus)	Velocidade máxima (em graus por segundo)
1	-170 a 170	140
2	-185 a 155	160
3	-170 a 0	170
4	-210 a 210	600
5	-130 a 130	375
6	-2700 a 2700	550

Fonte: Os autores (2026)

3.4 Requisitos Funcionais do Simulador

Com base na análise da programação de um manipulador, descrita neste trabalho, foram definidos os requisitos funcionais do simulador. São esses:

- movimentação individual das juntas, segundo a sua cinemática direta;
- movimentação do ponto final da máquina, em coordenadas cartesianas (cinemática inversa);

- comandos de abertura e fechamento da garra;
- comandos básicos de programação do robô, como gravação de posições, retorno à posição inicial (HOME), início e interrupção de rotina.

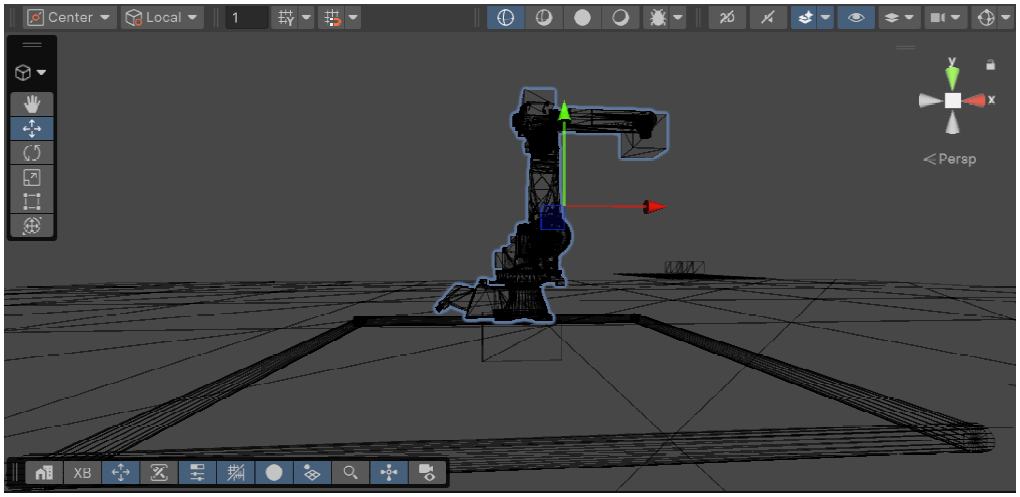
Essas funcionalidades visam reproduzir, no ambiente virtual, as principais operações realizadas em terminais de programação de robôs industriais.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Modelagem do Ambiente Virtual

A modelagem do manipulador robótico foi realizada com base na estrutura física do Comau Six. Cada elo do manipulador foi representado como um objeto independente, interligado pela respectiva junta e organizado em uma estrutura hierárquica que reproduz a cadeia cinemática serial do sistema. Essa abordagem permite que as transformações geométricas, especialmente rotações, sejam propagadas corretamente ao longo da cadeia cinemática, garantindo que o movimento de uma junta afete todos os elos subsequentes.

Figura 4 - Imagem do modelo em VR, do Comau Six



Fonte: Os autores (2026)

4.2 Programação da Interface

A interação do usuário com o simulador em ambiente imersivo foi implementada por meio da integração entre o Unity (versão 6.3 LTS) e o headset Meta Quest 2, utilizando seus controladores de mão como principal dispositivo de entrada. A programação da interface VR concentrou-se em dois aspectos fundamentais: o sistema de apontamento e seleção de botões nos painéis virtuais, e os mecanismos de controle do robô em diferentes modos de operação.

Para viabilizar a manipulação intuitiva dos comandos, os painéis virtuais foram desenvolvidos como superfícies interativas, cujos botões respondem a eventos de acionamento e liberação. Essa abordagem permite que o movimento do manipulador seja iniciado ao pressionar um comando e interrompido ao liberá-lo, reproduzindo um comportamento contínuo semelhante ao controle manual de robôs industriais. A lógica associada a esse comportamento é exemplificada na Figura 5.

A arquitetura do sistema foi estruturada de forma modular, com componentes responsáveis por diferentes modos de operação. No modo de controle junta-a-junta, são aplicadas rotações incrementais às articulações, respeitando os limites angulares previamente definidos. A implementação dessa funcionalidade é ilustrada na Figura 6, na qual se observa o componente responsável pela movimentação individual das juntas.

Figura 5 - Script Botao_MovJunta, usado para acionar o movimento de cada junta, individualmente

Fonte: Os autores (2026)

Figura 6 - Script Mov_JuntaJunta, representa a movimentação individual de cada junta.

Fonte: Os autores (2026)

No modo cartesiano, o deslocamento do efetuador é realizado em relação a um referencial fixo na base do robô, sendo continuamente convertido em variáveis articulares por meio do modelo cinemático implementado. Essa abordagem permite ao usuário controlar diretamente a posição do efetuador no espaço, facilitando a compreensão dos conceitos de cinemática direta e inversa.

O efetuador final foi modelado como uma garra de dois dedos paralelos, com comportamento próprio de abertura e fechamento simétrico. A interação com objetos no ambiente virtual ocorre por meio de detecção de colisão, permitindo a manipulação de elementos e a execução de tarefas, como o empilhamento de peças.

A alternância entre os modos de operação é realizada por meio da interface do sistema, possibilitando ao usuário explorar diferentes formas de controle do manipulador — tanto por variáveis articulares quanto por coordenadas cartesianas. Essa estratégia contribui para uma compreensão mais abrangente do funcionamento de robôs industriais.

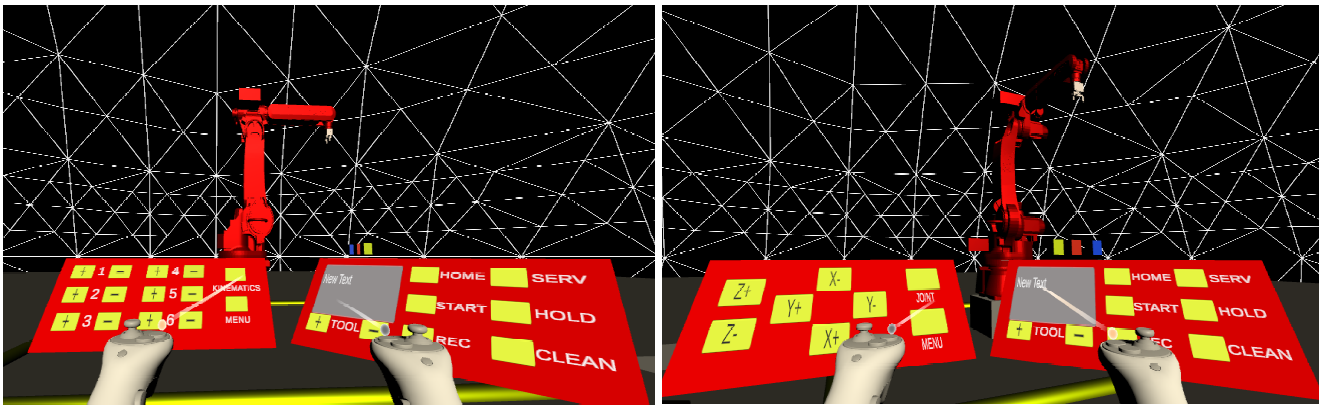
Por fim, a organização modular adotada facilita a manutenção do sistema, possibilitando a inclusão de novos cenários didáticos e manipuladores para uso em atividades de ensino.

5 RESULTADOS PARCIAIS

Até o momento, foi desenvolvido um ambiente virtual funcional no qual o manipulador robótico e os painéis interativos de controle foram implementados com sucesso. A estrutura hierárquica de objetos adotada no Unity permitiu representar adequadamente a cadeia cinemática do manipulador, garantindo que as transformações geométricas associadas ao movimento de cada junta fossem propagadas corretamente ao longo do sistema.

O simulador possibilita a operação do manipulador por meio de diferentes modos de controle, incluindo a movimentação junta-a-junta e a movimentação cartesiana, conforme ilustrado na Figura 7. Essa organização contribui para a exploração prática dos conceitos de cinemática, permitindo ao usuário alternar entre diferentes formas de controle e observar seus efeitos no comportamento do robô.

Figura 7 – Perspectiva dos painéis com a movimentação via cinemática direta (esquerda) e inversa (direita)



Fonte: Os autores (2026)

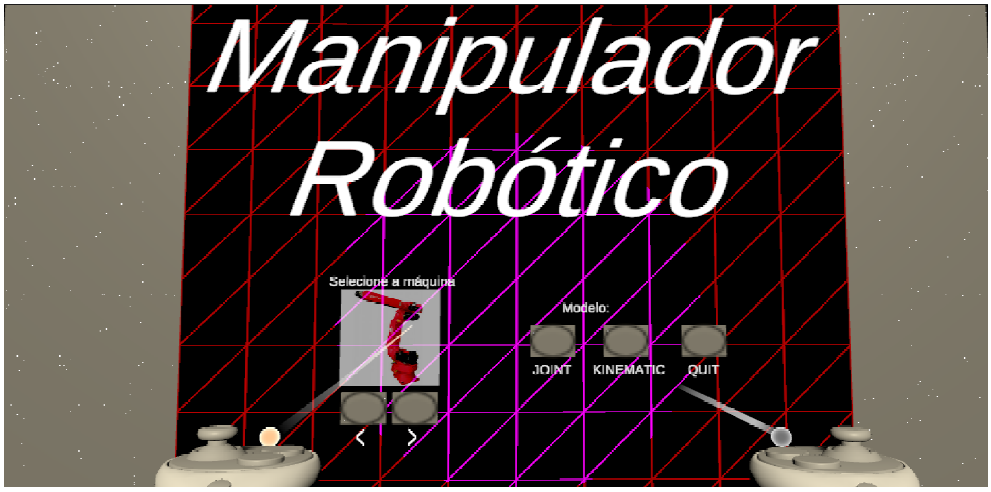
Além disso, foi incorporado ao sistema um efetuador final do tipo garra, possibilitando a manipulação de objetos no ambiente virtual. A interação com elementos, como cubos posicionados sobre uma superfície, permite a execução de tarefas simples, como o empilhamento, aproximando a simulação de cenários reais de aplicação.

A interface imersiva baseada em realidade virtual mostrou-se adequada para a interação com o sistema, permitindo que os comandos sejam executados de forma intuitiva por meio de gestos e seleções no ambiente virtual. A utilização de diferentes painéis para

modos distintos de operação contribuiu para a organização das funcionalidades e para a clareza na interação com o manipulador, como pode ser observado respectivamente nas imagens da esquerda e da direita na Figura 7.

O menu inicial do simulador, apresentado na Figura 8, permite a seleção do modo de operação e a inicialização da simulação, além de evidenciar o potencial de expansão do sistema, com a possibilidade de inclusão de novos manipuladores e cenários.

Figura 8 - Menu inicial do simulador em VR



Fonte: Os autores (2026)

Por se tratar de um trabalho em desenvolvimento, algumas limitações ainda estão presentes, como a implementação completa da modelagem cinemática inversa e a necessidade de validação quantitativa mais rigorosa dos movimentos do manipulador.

6 ANÁLISE E CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um simulador em realidade virtual voltado ao ensino da robótica industrial, com foco na operação e programação de manipuladores. A proposta buscou contribuir para a redução da lacuna entre teoria e prática por meio de um ambiente imersivo, interativo e acessível, capaz de representar aspectos relevantes do comportamento de um robô industrial.

Os resultados parciais obtidos indicam que foi possível implementar um ambiente virtual funcional, no qual o manipulador robótico, seus modos de operação e as interfaces de controle foram modelados de forma coerente com sua estrutura cinemática. A utilização de diferentes estratégias de controle, baseadas tanto nas variáveis articulares quanto na movimentação cartesiana do efetuador, permite ao usuário explorar distintas formas de operação do robô, favorecendo a compreensão de conceitos fundamentais de cinemática.

Do ponto de vista educacional, o simulador apresenta potencial como ferramenta de apoio ao ensino, especialmente por possibilitar a experimentação prática em um ambiente seguro e de baixo custo. A interação em realidade virtual contribui para a percepção espacial dos movimentos do manipulador e para a compreensão das relações entre comandos e comportamento do sistema.

Por se tratar de um trabalho em desenvolvimento, o sistema ainda apresenta limitações, como a necessidade de implementação completa da modelagem cinemática inversa e a realização de validações mais abrangentes, tanto do ponto de vista técnico quanto educacional. Nesse sentido, trabalhos futuros incluem a aplicação do simulador em contextos reais de ensino, com o objetivo de avaliar seu impacto no processo de aprendizagem, bem como a expansão do ambiente virtual com novos manipuladores e

funcionalidades. Além disso, pretende-se expandir o simulador com a inclusão de novos modelos de robôs, implementação de funcionalidades avançadas de programação e aprimoramento da fidelidade física do sistema.

Dessa forma, conclui-se que o uso de realidade virtual aplicada ao ensino da robótica industrial constitui uma abordagem promissora, com potencial de contribuir para um aprendizado mais interativo e acessível.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Diretoria de Graduação do CEFET-MG pelo apoio financeiro dado mediante a concessão de bolsas aos participantes do grupo PET Eng. Mecatrônica, que possibilitou o desenvolvimento dessa pesquisa. Agradecemos também à diretoria da unidade de Divinópolis pelo apoio e disponibilização do laboratório de robótica.

REFERÊNCIAS

COMAU. **Comau Robotics Compact Catalogue**. 2025. Disponível em: https://www.comau.com/wp-content/uploads/2025/07/Comau_Robotics_CompactCatalogue2025_EN.pdf. Acesso em: 10 set. 2025.

COMAU. **Manual de Programação C5G**. Grugliasco: Comau S.p.A., 2024.

COMAU. **Manual Técnico Comau Smart5 Six**. Grugliasco: Comau S.p.A., 2023.

META. **Hello World - Unity VR Tutorial**. 2025. Disponível em: https://developers.meta.com/horizon/documentation/unity/unity-tutorial-hello-vr/. Acesso em: 29 jun. 2025.

PEREIRA, Alysson A. A. **Desenvolvimento de Uma Ferramenta e Softwares para uma Célula de Manipulação Robotizada de Cubos**. TCC de Engenharia Mecatrônica, CEFET-MG, 2022. Disponível em: https://www.eng-mecatronica.divinopolis.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/195/2021/09/Alysson-Aur%C3%A9lio-de-Azevedo-Pereira-1.pdf

SANTOS, M. C. C., SANGALLY, V. A., PINHO, M. L. **Evaluating the Use of Virtual Reality on Professional Robotics Education.** IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference, 2017.

SPONG M. W., HUTCHINSON S., VIDASAGAR M. **Robot Modeling and Control**, John Wiley and Sons Inc., 2005.

UNITY TECHNOLOGIES. **Unity Documentation: XR Interaction Toolkit**. Disponível em: https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.interaction.toolkit@2.5/manual/index.html. Acesso em: 11 abr. 2026.

UNITY TECHNOLOGIES. **Unity Manual (versão 2022.3 LTS)**. Disponível em: https://docs.unity3d.com/2022.3/Documentation/Manual/index.html. Acesso em: 11 abr. 2026.

UNITY. **VR Project Setup (Tutorial 1.1)**. 2025. Disponível em: https://learn.unity.com/tutorial/vr-project-setup?courseId=60183276edbc2a2e6c4c7dae&projectId=60183335edbc2a2e6c4c7dcb&uv=2022.3#. Acesso em: 10 maio 2025.

DEVELOPMENT OF A VIRTUAL REALITY SIMULATOR FOR A MORE IMMERSIVE TEACHING OF INDUSTRIAL ROBOTICS

Abstract: *This work presents the development of a simulator for teaching the operation and programming of an industrial robot in a more immersive and engaging way. To achieve this, an available virtual reality device and Unity's VR development environment were used. Initially, the simulation environment, the selected industrial robot used to begin the simulator development, and a two-finger gripper tool were modeled. Next, two operation panels were designed: one intended to allow variation of the values of the robot's six joint positions and the gripper opening, and another enabling robot movement according to the Cartesian axes of the reference frame fixed at the robot's base. After moving the robot, its positions can be recorded, and its programming can be extended to implement tasks of interest, such as cube stacking, for example. Thus, the goal is for this simulator to contribute to making the teaching of industrial robotics practice more engaging and accessible in technical and engineering courses.*

Keywords: *Engineering education, computer simulation, virtual reality, industrial robotics*