



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA

Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76
Recredenciamento pelo Decreto nº 17.228 de 25/11/2016



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

XXIX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS **SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - 2025**

Desenvolvimento de Interface Portátil para Teleoperação de Robô em Ambiente de Realidade Aumentada

Thiago Neri dos Santos Almeida¹; Anfranserai Moraes Dias²

1. Thiago Neri dos Santos Almeida, PIBITI/CNPq, ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO, e-mail: thiagoalmeida003@gmail.com

2. Anfranserai Moraes Dias, DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA, e-mail: amdias@uefs.br

PALAVRAS-CHAVE: FPGA; Teleoperação; Realidade Aumentada; ROS 2

INTRODUÇÃO

O uso de robôs tem crescido em diferentes setores, desde tarefas domésticas até aplicações críticas, como cirurgias remotas e operações submarinas na indústria de petróleo e gás (Moniruzzaman et al., 2022). Apesar dos avanços, plataformas móveis totalmente autônomas ainda enfrentam desafios, tornando a teleoperação essencial em cenários que exigem supervisão humana. Nesses casos, a transmissão em tempo real de comandos e informações sensoriais garante precisão e segurança, mesmo diante de limitações tecnológicas (Moniruzzaman et al., 2022).

No ambiente acadêmico, tecnologias interativas auxiliam no ensino de conceitos complexos de hardware e software. As *Field-Programmable Gate Arrays* (FPGAs) destacam-se por sua flexibilidade, permitindo unir teoria e prática de forma dinâmica. Por meio de linguagens de descrição de hardware (HDL), é possível desenvolver sistemas aplicados a jogos e controle em tempo real, favorecendo atividades de prototipagem e experimentação (Machado, 2010). Trabalhos anteriores, como o de Alves et al. (2022), já exploraram o uso de FPGAs em jogos bidimensionais, mostrando resultados promissores para a consolidação de conceitos fundamentais, apesar de limitações de hardware como dependência de visor externo e uso de padrões analógicos.

Neste contexto, este projeto propõe a validação da arquitetura de um console portátil em FPGA que integra jogos e teleoperação de robôs. A solução inclui entrada por joystick, comunicação bidirecional com o robô e integração com o middleware *Robot Operating System 2* (ROS 2), além de interface gráfica aprimorada e comunicação sem fio via Wi-Fi. Assim, busca-se oferecer uma plataforma educacional robusta, capaz de integrar teoria e prática, estimulando o aprendizado em sistemas embarcados, redes, robótica e programação para ambientes reconfiguráveis.

MATERIAL E MÉTODOS OU METODOLOGIA (ou equivalente)

A presente pesquisa foi conduzida a partir de uma abordagem experimental aplicada ao desenvolvimento de um console portátil em FPGA para jogos de realidade aumentada e

teleoperação de robôs. O ambiente experimental considerou tanto a implementação em hardware reconfigurável quanto a integração com um *middleware* de controle distribuído, possibilitando a validação prática da arquitetura proposta em cenários reais e virtuais.

O desenvolvimento do sistema foi realizado em uma placa FPGA, utilizando o software Quartus Prime Lite 23.1 para a síntese do projeto. A arquitetura contou com o processador *softcore Nios II/e*, módulos nativos fornecidos pela Intel e GPU desenvolvida por Alves et al. (2022). Essa infraestrutura favoreceu a prototipagem rápida de módulos digitais, permitindo ajustes incrementais ao longo do processo de implementação. Para a etapa de verificação, as simulações de hardware foram conduzidas no ambiente ModelSim. Por fim, foi realizada a integração completa do sistema e sua execução prática na FPGA DE0-Nano. A Figura 1 apresenta a arquitetura completa do console portátil.

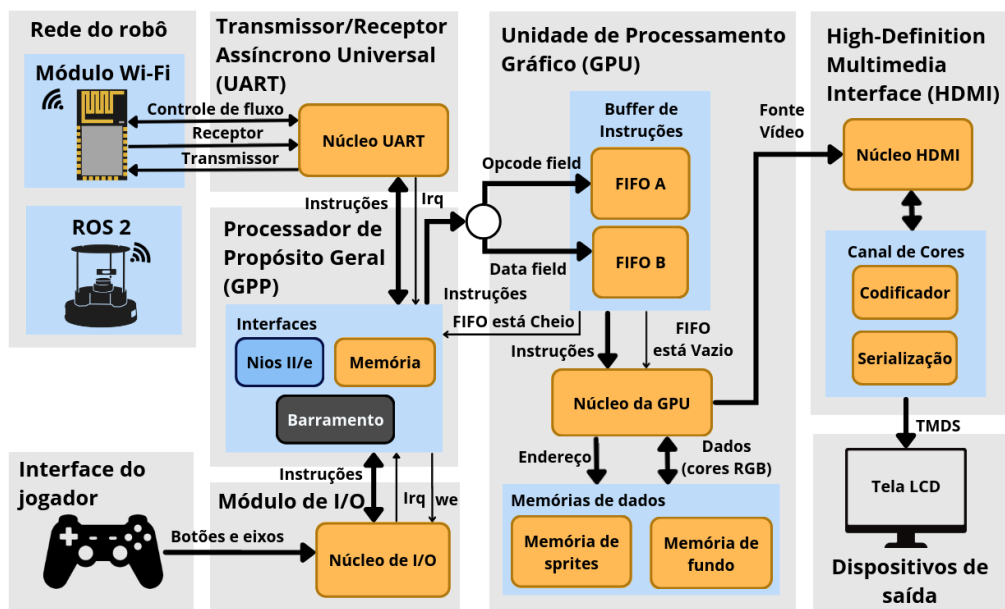


Figura 1: Arquitetura do console portátil em FPGA.

Foram concebidos três módulos principais em hardware. O primeiro, destinado ao controle de entradas, foi responsável pela captura de sinais provenientes de botões e joystick, incorporando técnicas de *debouncing*, detecção de bordas e *edge capture* a fim de assegurar a confiabilidade dos sinais. O segundo módulo atualizou a unidade de processamento gráfico, que passou a utilizar saída HDMI baseada em codificação Sinalização Diferencial Minimizado por Transição (TMDS), garantindo compatibilidade com monitores modernos e eliminando a necessidade de conversão analógica. O terceiro módulo correspondeu à interface Receptor/Transmissor Assíncrono Universal (UART), utilizada para comunicação entre a FPGA e o módulo ESP8266. A UART foi configurada para operar a 115.200 bps e validada por meio de máquinas de estados finitos dedicadas à transmissão e recepção de dados, assegurando conformidade com o protocolo e robustez contra erros de enquadramento (Pedroni, 2008). A comunicação sem fio foi estabelecida por meio do módulo ESP8266 ESP-07, configurado por

comandos AT, o que permitiu a integração da FPGA a uma rede Wi-Fi local. Para padronizar a troca de informações entre o console e o robô, adotou-se o formato JSON, no qual os pacotes enviados continham os valores de velocidade linear e angular, enquanto os pacotes recebidos forneciam dados de posição, orientação e detecção de colisões.

No lado do software, a integração com o *middleware* ROS 2 Jazzy viabilizou o controle distribuído do robô utilizado, o TurtleBot 4, empregando a biblioteca Navigation 2 (Nav2) para navegação autônoma e assistida (The Nav2 Development Team, 2025). Foram analisados diferentes modos de operação, como Waypoint Following, Navigate Through Poses e Assistive Teleop.

Por fim, a validação da proposta foi realizada por meio de simulações no ambiente Gazebo, no qual uma pista tridimensional foi modelada para reproduzir fielmente o cenário experimental. Essa etapa possibilitou não apenas verificar a correspondência entre os elementos do jogo e o ambiente físico, mas também coletar métricas relacionadas ao atraso de resposta e à frequência de comandos processados durante a teleoperação.

RESULTADOS E/OU DISCUSSÃO (ou Análise e discussão dos resultados)

A atualização da saída gráfica para o padrão HDMI permitiu avaliar o desempenho do transmissor implementado em hardware. Os testes mostraram geração estável de imagens na resolução de 640×480 pixels, sem perda de sincronismo, garantindo maior qualidade visual e compatibilidade com monitores atuais. Essa melhoria, além de eliminar a dependência de visores analógicos, ampliou a atratividade da plataforma como recurso educacional.

A integração com o ROS 2 possibilitou avaliar diferentes modos de navegação. O *Waypoint Following* e o *Navigate Through Poses* mostraram-se adequados para trajetórias pré definidas, mas o modo *Assistive Teleop* destacou-se pela maior responsividade, garantindo movimentos mais ágeis e seguros em tempo real. A validação final no ambiente Gazebo evidenciou a interação bidimensional entre o cenário virtual e o mundo físico, confirmando a coerência entre eles. A pista tridimensional modelada no simulador permitiu verificar a sincronização entre o jogo e o robô real, possibilitando identificar atrasos de comunicação e avaliar a correspondência dos movimentos. O ponto inicial definido no jogo foi confrontado com o ponto de partida no ambiente físico, demonstrando consistência na representação do espaço. Além disso, os obstáculos presentes na pista real influenciam diretamente o comportamento do jogo: ao encontrar um obstáculo físico, o robô aciona restrições correspondentes na interface, bloqueando movimentos e atualizando o ambiente virtual, os blocos azuis representam objetos que não fazem parte do jogo. De forma análoga, a visualização de obstáculos e moedas no jogo (Figura 2) apresenta correspondência direta com os elementos dispostos na pista, evidenciando que ações no mundo virtual também refletem efeitos sobre a movimentação do robô.

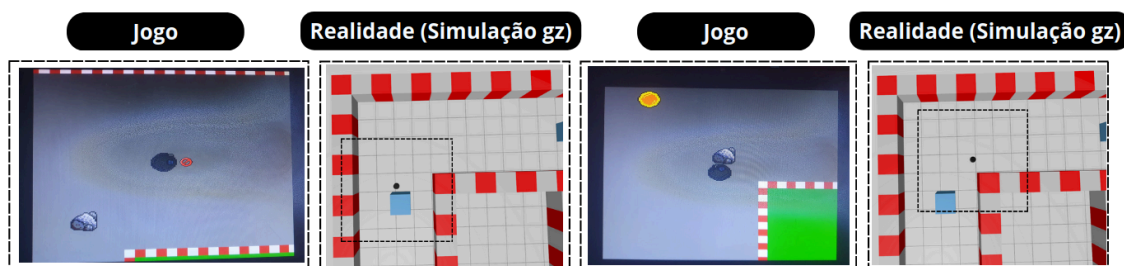


Figura 2: Validação do sistema no simulador Gazebo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS (ou Conclusão)

O console portátil em FPGA demonstrou a viabilidade da teleoperação de robôs em ambiente de realidade aumentada, integrando hardware reconfigurável, comunicação sem fio e middleware ROS 2. A validação no Gazebo evidenciou interação bidimensional entre mundo físico e virtual, com obstáculos reais influenciando o jogo e ações virtuais afetando o robô, garantindo sincronização e coerência entre os ambientes. O sistema apresentou resposta estável a comandos e variações de velocidade, atualizações gráficas confiáveis e comunicação eficiente, mostrando-se adequado para aplicações educacionais, experimentais e de entretenimento, consolidando conceitos de sistemas embarcados, ensino de hardware reconfigurável, redes, robótica e jogos interativos.

REFERÊNCIAS

- MONIRUZZAMAN, M. D.; RASSAU, A.; CHAI, D.; ISLAM, S. M. S. (2022). Teleoperation methods and enhancement techniques for mobile robots: A comprehensive survey. *Robotics and Autonomous Systems*, 150, 103973. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2021.103973> (Acesso em: 28 de janeiro de 2025).
- MACHADO, R. J. S. (2010). Biblioteca de módulos Verilog para interface de FPGAs com periféricos I/O. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 150p.
- ALVES, G. A.; DIAS, A. M.; SARINHO, V. T. (2022). Desenvolvimento de uma Arquitetura Baseada em Sprites para criação de Jogos 2D em Ambientes Reconfiguráveis utilizando dispositivos FPGA. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual de Feira de Santana.
- PEDRONI, V. A. (2008). *FPGA Prototyping by Verilog Examples: Xilinx Spartan-3 Version* (1ª ed.). Wiley-Interscience. Hoboken.
- THE NAV2 DEVELOPMENT TEAM (2025). Configuring the Waypoint Follower. Disponível em: <https://docs.nav2.org/configuration/packages/configuring-waypoint-follower.html> (Acesso em: 08 de setembro de 2025).
- EVANGELISTA, D. M.; CAVALCANTE, P. B.; FONTES NETO SEGUNDO, A. H. (2022). Aplicação de ROS como ferramenta de ensino a robótica. arXiv preprint arXiv:2203.16923. <https://arxiv.org/abs/2203.16923>