


# AMBIENTE DE EXPERIMENTOS PARA ROBÓTICA MÓVEL COM FRAMEWORK ROS

## *EXPERIMENT ENVIRONMENT FOR MOBILE ROBOTICS WITH ROS FRAMEWORK*

Carlos Eduardo Angelini<sup>1</sup> 

Héber Renato Fadel de Moraes<sup>2</sup> 

Fernando Sabino Fontequê Ribeiro<sup>3</sup> 

André Luiz Salvat Moscato<sup>4</sup> 

João Paulo Lima Silva de Almeida<sup>5</sup> 

**Resumo:** Neste trabalho é apresentado um ambiente de experimentos para robótica móvel baseado no *framework Robot Operating System (ROS)*, que é uma ferramenta computacional amplamente utilizada na área da robótica. O ambiente possui elementos virtuais e reais que compartilham o espaço de navegação. A principal proposta deste ambiente é oferecer flexibilidade para a realização de experimentos na robótica móvel, permitindo a utilização de diferentes tipos de robôs móveis e elementos adicionais, como alvos e obstáculos, com implementação facilitada, uma vez que os elementos virtuais podem ser configurados e inseridos usando os recursos do ROS. Experimentos com robôs móveis reais em escala laboratorial foram conduzidos para validar a proposta, demonstrando a característica do ambiente em suportar diferentes configurações de experimentos, incluindo a utilização de um ou mais robôs em sincronia. O ambiente descrito permite a inserção de diversos tipos de robôs móveis, desde que possuam um marcador único do tipo ARTag para sua identificação visual, e que também sejam compatíveis com o ROS. A metodologia considerada envolve a centralização de tópicos ROS no computador, permitindo que robôs e outros elementos virtuais acessem e publiquem informações, estabelecendo assim uma comunicação eficaz entre o computador e os robôs. Além disso, o sistema possibilita a inserção de informações como a localização do robô, a presença de alvos a serem alcançados e as suas coordenadas de posição no ambiente. O

---

<sup>1</sup>Discente do curso de Engenharia de Controle e Automação, Instituto Federal do Paraná (IFPR), Jacarezinho, Paraná, e-mail: caduangelini@gmail.com.

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia Elétrica, Instituto Federal do Paraná (IFPR), Jacarezinho, Paraná, e-mail: heber.morais@ifpr.edu.br.

<sup>3</sup> Mestre em Engenharia Mecânica, Instituto Federal do Paraná (IFPR), Jacarezinho, Paraná, e-mail: fernando.ribeiro@ifpr.edu.br.

<sup>4</sup> Doutor em Engenharia Mecânica, Instituto Federal do Paraná (IFPR), Jacarezinho, Paraná, e-mail: andre.moscato@ifpr.edu.br.

<sup>5</sup> Doutor em Engenharia Elétrica, Instituto Federal do Paraná (IFPR), Jacarezinho, Paraná, e-mail: joao.almeida@ifpr.edu.br.

ambiente também suporta a utilização de alvos reais e virtuais, promovendo uma abordagem de realidade mista. Os resultados apresentados neste artigo ressaltam a flexibilidade do ambiente proposto e indicam uma metodologia promissora para experimentos com robótica móvel.

**Palavras-chave:** *Robot Operating System*. Robótica móvel. Realidade mista. Ambiente compartilhado.

**Abstract:** This work presents an experimental environment for mobile robotics based on the Robot Operating System (ROS) framework, which is computational tool widely used in the robotics field. The environment has virtual and real elements that share the navigation space. The main proposal of this environment is to offer flexibility for carrying out experiments in mobile robotics, allowing the use of different types of mobile robots and additional elements, such as targets and obstacles, with easier implementation, since virtual elements can be configured and inserted using ROS resources. Experiments with real mobile robots on a laboratory scale were conducted to validate the proposal, demonstrating the environment's feature to support different experimental configurations, including the use of one or more robots in synchrony. The described environment allows the insertion of different types of mobile robots, since they have a unique marker of ARTag type for visual identification and are also compatible with ROS. The considered methodology involves centralizing ROS topics on the computer, allowing robots and other virtual elements to access and publish information, thus establishing effective communication between the computer and robots. Furthermore, the system allows the insertion of information such as the location of the robot, the presence of targets to be reached and its position coordinates in the environment. The environment also supports the use of real and virtual targets, promoting a mixed reality approach. The results presented in this paper highlight the flexibility of the proposed environment and indicate a promising methodology for experiments with mobile robotics.

**Keywords:** *Robot Operating System*. Mobile robotics. Mixed reality. Shared environment.

## 1 INTRODUÇÃO

A robótica móvel é cada vez mais explorada pela academia e pela indústria. A cada ano que passa vem surgindo cada vez mais produções científicas relevantes, onde, de acordo com pesquisas no Portal de Periódicos CAPES, a partir dos anos 90, esse campo de estudo teve um aumento exponencial de produções científicas relevantes e, conseqüentemente, houve uma maior implementação na indústria. Em resumo, atualmente a robótica móvel está presente em diversas tarefas, simples ou complexas, com cada vez mais eficiência e com tomadas de decisão inteligentes (Ren *et. al*, 2023).

Diversas pesquisas recentes apontam que o *framework Robot Operating System* (ROS) é uma ferramenta amplamente utilizada na área da robótica, desde seu uso em pesquisas até nas demandas industriais (Albonico *et. al*, 2023; Alajami *et. al*, 2023; Almeida *et. al*, 2019). Em geral, o ROS consiste em um sistema operacional onde o foco é a robótica, por onde é possível comandar robôs manipuladores, robôs móveis, reconhecimento de ARTags (Fiala, 2005), realizar o mapeamento de um ambiente, controle de drones, entre outros. Alguns exemplos do uso do ROS, que também serviram de base para este trabalho, são descritos conforme segue. No trabalho de (Morais *et. al.*, 2022), o ROS foi considerado para constituir um ambiente de realidade mista para múltiplos robôs, onde o objetivo é que os robôs façam o segmento e a interceptação de alvos móveis enquanto navegam em um ambiente semi-desconhecido, na presença de obstáculos fixos e móveis. Os autores ressaltam que um ambiente de realidade mista consiste na possibilidade de integrar elementos virtuais e reais em um ambiente compartilhado. Outro exemplo é visto no trabalho de (Pereira, 2023), em que o ROS foi instalado em *hardwares* distintos, além do computador, para suportar as funcionalidades de um andador robótico inteligente.

Em face ao exposto, o objetivo do presente trabalho foi de utilizar as bases tecnológicas exploradas pelos autores em Morais *et. al.* (2022) (uso do ROS para robótica móvel, realidade mista e confecção de robôs móveis) e expandir para novos experimentos, ressaltando a flexibilidade do ambiente. Para isso, foram

utilizados robôs móveis independentes com habilidades de locomoção, com algoritmo de navegação embarcado em seu próprio *hardware* que, por sua vez, se comunica com um computador central gerenciador de tarefas. O ambiente experimental é capaz de conferir diferentes habilidades aos robôs, principalmente a de localização, realizada por meio de marcadores visuais do tipo ARTag (W. Li et al., 2023), amplamente utilizado para aplicações de realidade aumentada.

Este artigo está organizado da seguinte forma: na seção de “Descrição do ambiente e dos robôs móveis” são apresentadas as principais características do ambiente experimental; na “Metodologia” são mostrados os principais métodos, materiais e etapas de desenvolvimento do trabalho; em “Resultados e Discussões” são mostrados dois tipos de experimentos que podem ser conduzidos no ambiente em estudo; e as principais conclusões do trabalho são apresentadas nas “Considerações Finais”.

## 2 DESCRIÇÃO DO AMBIENTE E DOS ROBÔS MÓVEIS

O ambiente é composto por uma mesa, com uma tábua de MDF branco com medidas de 1,5m x 1,5m, como é mostrado na Figura 1. Nesta figura também é possível notar elementos no interior da área de experimentos (robôs móveis e alvos). Também são considerados um roteador WiFi, uma câmera comum USB e um computador com o *framework* ROS instalado. Cada robô móvel, ou alvo, a ser considerado em um experimento neste ambiente deve ser identificado com um marcador do tipo ARTag. Assim, a câmera USB é posicionada acima da área de experimentos de tal forma a capturar as imagens da área experimental, principalmente os marcadores ARTag. O computador, por sua vez, recebe as imagens capturadas pela câmera, gerencia informações e se comunica com os robôs por meio de tópicos ROS. Toda a parte estrutural do ambiente foi desenvolvida com o apoio do laboratório Garagem dos Jacarezinhos (GaJac), do IFPR – Jacarezinho.

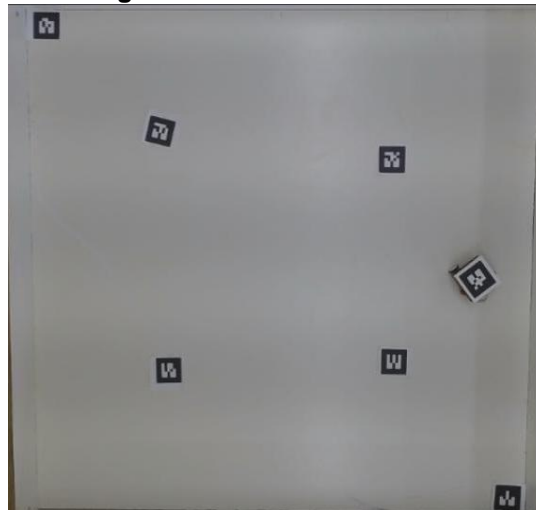
**Figura 1 - Ambiente de experimentos.**



Fonte: Dos autores.

Na Figura 2 é mostrada uma imagem do ambiente do ponto de vista da câmera USB. Neste caso, é visto que a mesa de experimentos é um plano cartesiano, onde o canto inferior esquerdo é o ponto de origem ( $X = 0$  e  $Y = 0$ ).

**Figura 2 - Vista da câmera USB.**

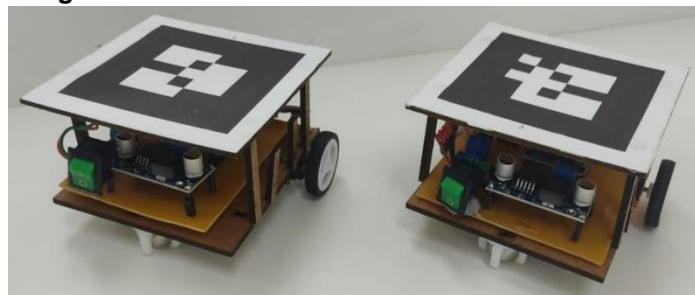


Fonte: Dos autores.

O ambiente descrito comporta a inserção de diferentes tipos de robôs móveis, desde que ele tenha uma ARTag visível para a câmera e que também

tenha compatibilidade com o ROS, como é o exemplo do robô móvel considerado neste trabalho, mostrado na Figura 3. Trata-se de um robô com estrutura simples, dotado de um microcontrolador ESP32, um regulador de tensão, 2 motores DC de 6V e 30 RPM com roda acoplada em seu eixo, uma roda de apoio, *driver* de acionamento dos motores e uma bateria de 9V para a alimentação eletrônica do circuito. Mais detalhes acerca dos robôs móveis podem ser obtidos em (Morais et. al., 2022).

**Figura 3** - Robôs móveis considerados neste trabalho.



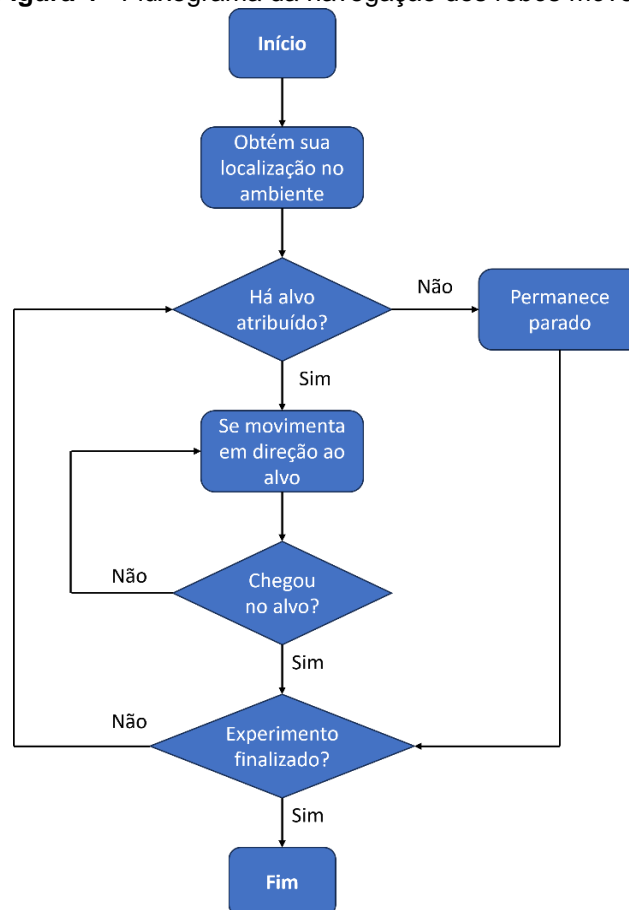
**Fonte:** Dos autores.

### 3 METODOLOGIA

A fim de possibilitar a integração entre o computador e os robôs, o computador serviu como um centralizador de tópicos ROS, em que o robô é autorizado a acessar. Em resumo, estes tópicos compreendem: i) a sua localização no ambiente, obtidos por meio da imagem capturada pela câmera, continuamente; ii) a informação se há algum alvo a ser alcançado, ou posição objetivo, atribuído ao robô; e iii) coordenadas de seu alvo (posição objetivo). Para este trabalho o robô não persegue o alvo, mas o sistema permite que o alvo se movimente, sendo possível a implementação em trabalhos futuros, tais como rastreamento de alvos e outras que envolvam ambientes dinâmicos. Outras informações podem ser inseridas em tópicos ROS pelo computador central, a depender do experimento a ser realizado no ambiente. Vale ressaltar que um alvo pode ser uma ARTag real inserida no ambiente (elemento real) ou um alvo virtual (elemento virtual), inserido via computador central, assim consolidando a ideia de realidade mista em que o ambiente se propõe.

Cada robô possui embarcado em seu *hardware* programas que acessam os tópicos ROS do computador central e executam suas ações de navegação, programados em linguagem *Python*. O funcionamento de sua navegação segue a lógica do fluxograma apresentado na Figura 4.

**Figura 4** - Fluxograma da navegação dos robôs móveis.



**Fonte:** Dos autores.

Em relação a sua movimentação em direção ao alvo, é embarcado no robô um algoritmo de controle do tipo Proporcional-Derivativo (PD), muito utilizado na robótica (Régis, 2013) com o objetivo de controlar sua velocidade angular (se alinhar em direção ao alvo), ao passo que sua velocidade linear é fixa (não há variações significativas na velocidade linear, devido às características do motor utilizado). Neste caso, o controlador PD recebe o erro angular, isto é, o quanto à frente do robô está desalinhada em relação ao seu

alvo, e emite uma ação de controle aplicada aos motores do robô, a fim de reduzir o erro angular. Os ganhos do controlador ( $K_p = 2,5$  e  $K_d = 0,5$ ) foram estabelecidos conforme observações experimentais. A verificação se o robô chegou, ou não, ao seu alvo é realizada por meio de uma estrutura simples de verificação (*se-então*) da distância linear entre a posição atual do robô e o seu alvo, admitindo-se uma tolerância de aproximação.

Por fim, para experimentos no ambiente proposto neste trabalho, consideram-se robôs móveis como exemplificados na Figura 3, que possuem em seu hardware a estratégia de navegação representada pelo fluxograma da Figura 4, na área experimental do sistema mostrado na Figura 1.

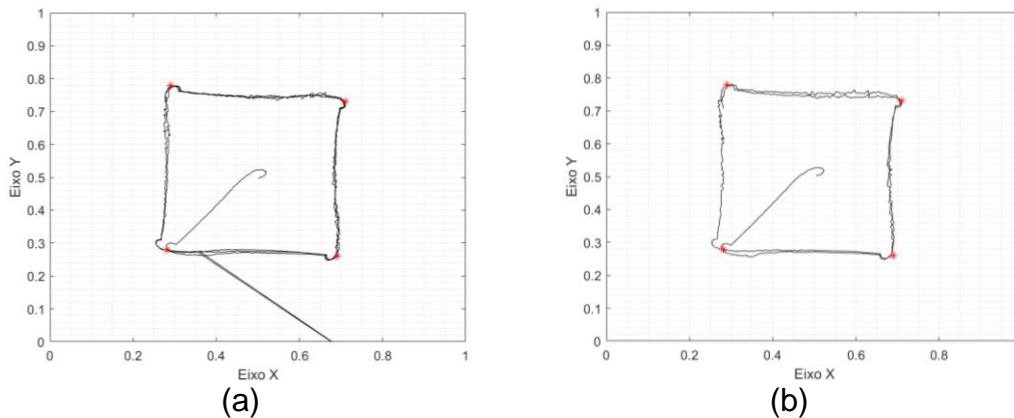
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a validação do ambiente de experimentos proposto neste trabalho, foram conduzidos 2 experimentos distintos, ambos com o objetivo comum de verificar a comunicação entre o computador central e os robôs, para assim garantir que eles estão sendo detectados pela câmera, e estão se comunicando de forma eficaz, mas também com objetivos secundários distintos, sendo que o primeiro verifica se o ambiente é capaz de estabelecer a interação entre elementos virtual e real, enquanto o segundo valida a interação entre elementos reais.

No primeiro experimento, considerou-se uma lista de alvos virtuais para um robô móvel (inseridos manualmente no computador central), em sequência, que assume os vértices de uma forma aproximada de um quadrado. O objetivo é verificar se o ambiente fornece as informações necessárias ao robô para que ele possa chegar aos alvos em sequência, perfazendo a trajetória desejada. Foram realizados dois experimentos, com o robô partindo, aproximadamente, do centro do ambiente, com a mesma sequência de alvos, e o resultado destes são mostrados na Figura 5 por meio de uma visualização gerada via Matlab, advinda de dados gravados pelo computador central. Especificamente, o experimento mostrado na Figura 5 (a) apresenta uma situação indesejada de leitura da

posição do robô no ambiente, devido a fatores não controlados que dificultam a identificação da ARTag no ambiente (sombras, atrasos de processamento, ajustes de foco da câmera, etc.), mas que retornou à normalidade em tempo de execução.

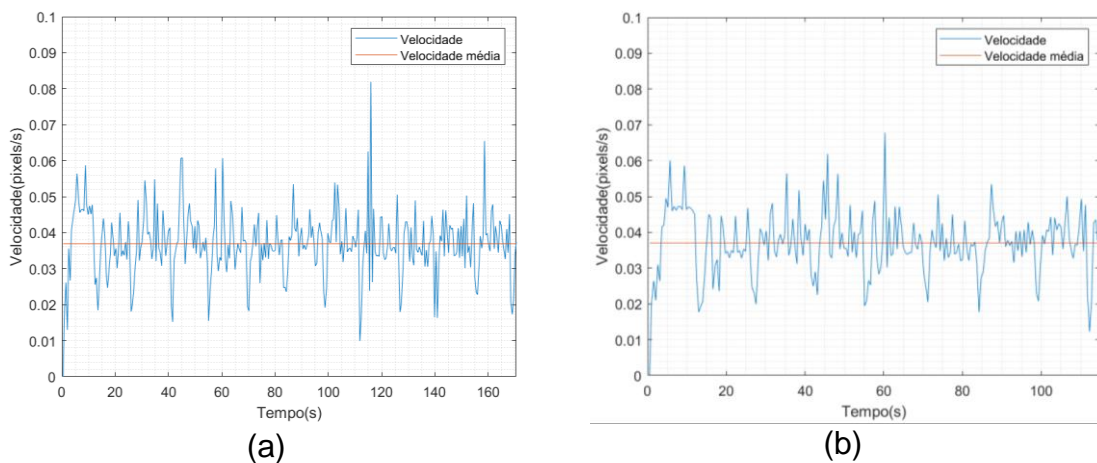
**Figura 5** - Trajetória do robô no primeiro experimento: (a) Primeira execução; (b) Segunda execução.



Fonte: Dos autores.

Além disso, também foi possível adquirir do computador central os dados de deslocamento do robô no ambiente, em pontos da imagem da câmera (em *pixels*). A partir disso, foi possível estimar a velocidade que o robô desempenhou ao longo do experimento e sua velocidade média, as quais podem ser conferidas na Figura 6.

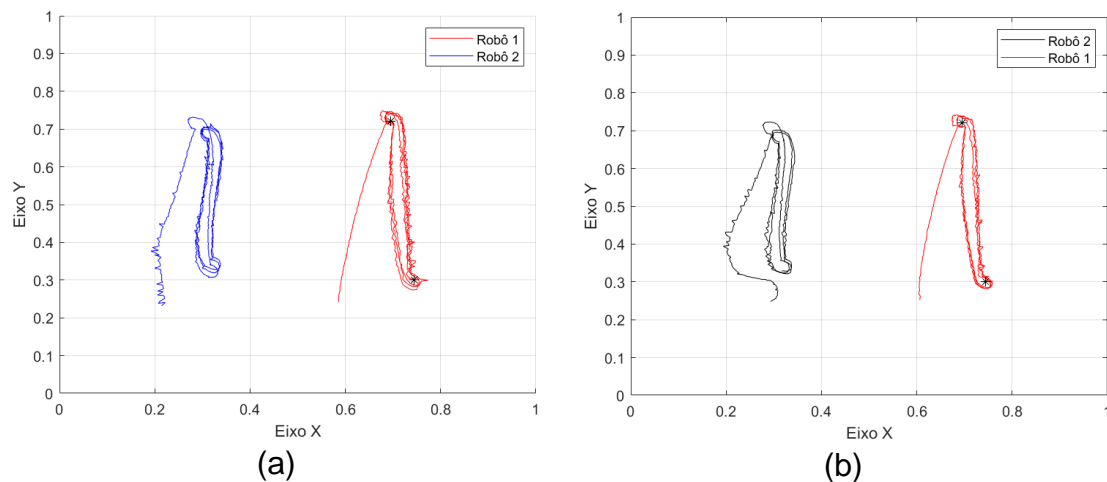
**Figura 6** - Velocidade do robô: (a) Primeira execução; (b) Segunda execução.



Fonte: Dos autores.

No segundo experimento, foram considerados os dois robôs móveis mostrados na Figura 3, no mesmo ambiente. Para o robô 1 foi definida uma lista sequencial de 2 alvos virtuais, a fim de formar uma linha na vertical (deslocamento na projeção do “Eixo Y”), enquanto para o robô 2, seu alvo consiste na posição atual do robô 1 com a adição de um *offset* no “Eixo X”, a fim de que o robô 2 desempenhe um movimento semelhante ao do robô 1, porém, baseado na leitura de ARTag (elemento real). Os resultados são mostrados na Figura 7.

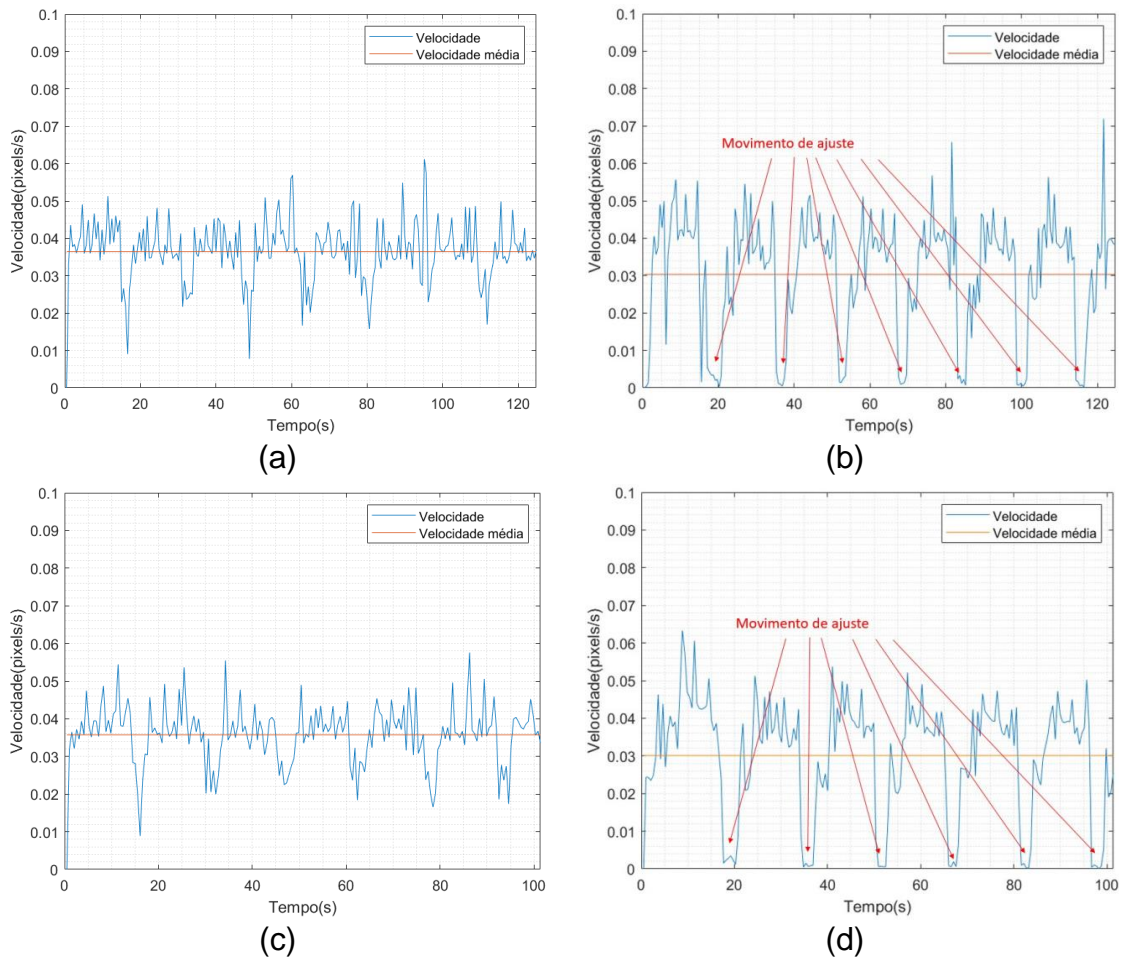
**Figura 7** - Trajetória dos robôs no segundo experimento: (a) Primeira execução; (b) Segunda execução.



Fonte: Dos autores.

De forma semelhante às velocidades mostradas na Figura 6, na Figura 8 são apresentadas as velocidades dos robôs 1 e 2 em relação ao segundo experimento (trajetórias mostradas na Figura 7). Um fato interessante é que o robô 1, quando chega ao seu alvo (virtual), ele deve realizar uma manobra de retorno (na prática, um giro abrupto, mas com velocidade linear muito baixa) para que siga ao seu próximo alvo. Nestes movimentos de manobras na troca de alvos do robô 1, uma vez que sua posição serve como base para a atribuição de alvos ao robô 2, a velocidade do segundo robô é praticamente nula, pois seu alvo está se movendo lentamente. Este fato pode ser observado nos destaques em vermelho da Figura 8 (b) e (d).

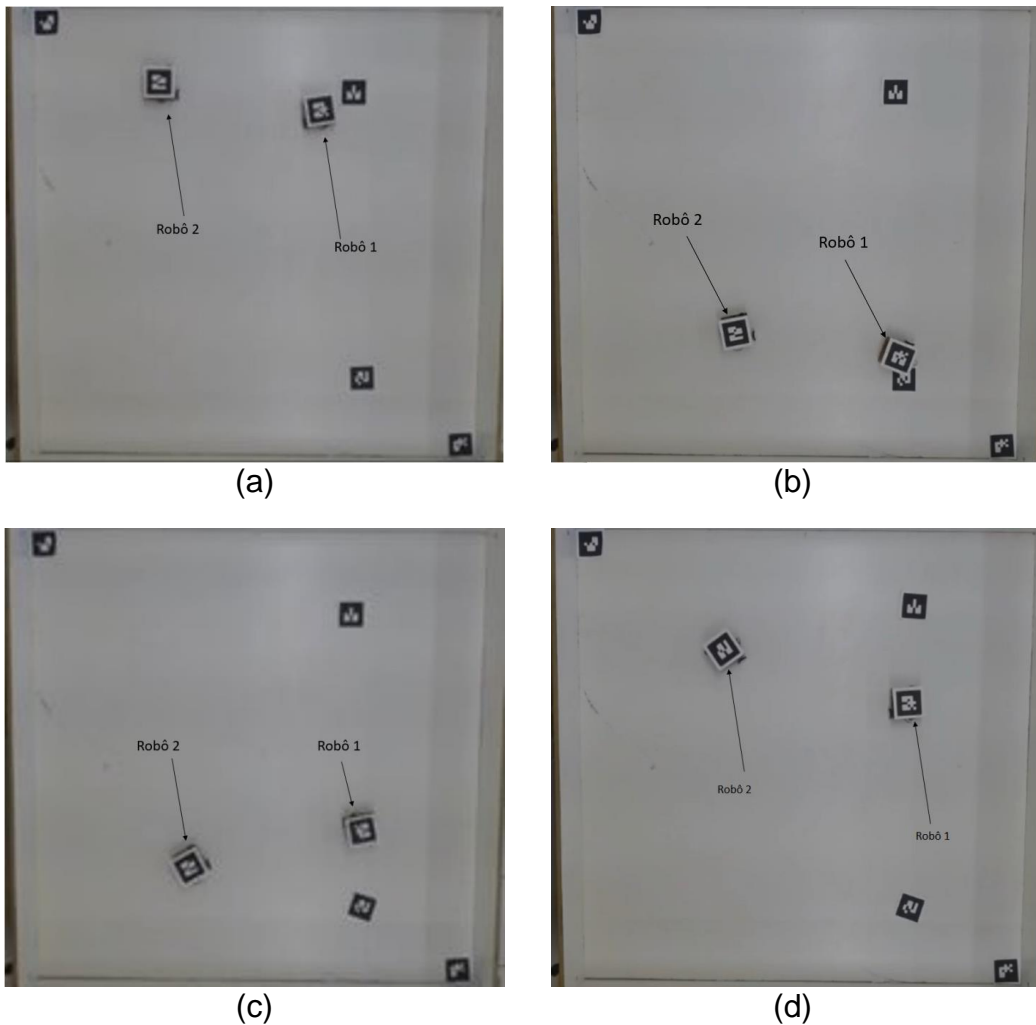
**Figura 8 - Velocidade de dois robôs: (a) Robô 1 (primeira execução); (b) Robô 2 (primeira execução); (c) Robô 1 (segunda execução); (d) Robô 2 (segunda execução).**



Fonte: Dos autores.

Na Figura 9 é mostrada uma sequência de quadros de execução do segundo experimento, gravada a partir das capturas da câmera USB. Na imagem (a), o robô 1 começa a se locomover e, devido ao raio de tolerância para que o robô 2 considere que está junto aos movimentos do robô 1, o robô 2 ainda leva um tempo para iniciar seu deslocamento. Na parte (b) é visto que o robô 1 chegou ao alvo inferior e inicia a manobra para retornar ao alvo superior, enquanto o robô 2 se mantém na posição de rastreamento do robô 1 até que haja uma distância significativa para retomar seus movimentos. Na imagem (c), ambos os robôs estão se movendo em direção à posição de objetivo superior. Na imagem (d), o deslocamento entre alvos está se repetindo do início.

**Figura 9** - Visão da câmera USB. (a) 5 segundos de execução; (b) 21 segundos de execução; (c) 28 segundos de execução; (d) 42 segundos de execução.



Fonte: Dos autores.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentado o desenvolvimento de um ambiente com recursos tecnológicos específicos para a realização de experimentos que envolvem robôs móveis. Tais recursos tecnológicos envolve a utilização do *framework Robot Operating System* (ROS) e de uma arquitetura virtual inspirada nos conceitos de realidade mista, em que elementos virtuais interagem com elementos reais em um cenário compartilhado.

Para a validação do ambiente, foram desenvolvidos robôs móveis de arquitetura simples, com marcadores individuais do tipo ARTag para sua identificação. Foram embarcados programas em seu *hardware* eletrônico programas que permitem o robô a acessar tópicos ROS, disponíveis por meio de um *hardware* distinto (computador central), e processar um algoritmo de navegação baseado em um controlador PD.

Foram conduzidos dois tipos de experimentos com o objetivo de mostrar a interação entre os elementos do ambiente a fim de promover um cenário capaz de suportar robôs móveis navegando e processando informações. Em resumo, os resultados contemplaram robôs se dirigindo a alvos pré-determinados, virtuais e reais.

Como trabalhos futuros, pretende-se desenvolver sistemas multirrobô no ambiente experimental desenvolvido, com o intuito de explorar tarefas cooperativas, como por exemplo, o transporte de cargas em sincronia. Uma outra possível ideia é atualizar o sistema para o uso do ROS 2, que oferece diversos novos recursos para a área da robótica.

## REFERÊNCIAS

- Li, W., Wang, M., Li, J., Su, Y. **L3 F-TOUCH: A Wireless GelSight With Decoupled Tactile and Three-Axis Force Sensing**, in IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 8, no. 8, pp. 5148-5155, Aug. 2023, doi: 10.1109/LRA.2023.3292575.
- Albonico, M., Đorđević, M., Hamer, E., & Malavolta, I. Software engineering research on the Robot Operating System: A systematic mapping study. **Journal of Systems and Software**, v. 197, p. 111574, 2023.
- Ren G, Wu H, Bao A, Lin T, Ting K-C and Ying Y (2023) **Mobile robotics platform for strawberry temporal-spatial yield monitoring within precision indoor farming systems**. *Front. Plant Sci.* 14:1162435. doi: 10.3389/fpls.2023.1162435
- Fiala, M. (2005). **Artag, a fiducial marker system using digital techniques**. In 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05), volume 2, 590–596. doi:10.1109/CVPR.2005.74.

MORAIS, H.R.F.; ALMEIDA, J.P.L.S.; and ARRUDA, L.V.R. Ambiente de realidade mista para experimentos com múltiplos robôs de baixo custo. In: **Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Automática**, 2022.

ALAJAMI, A. A. PALAU, N. S. Lopez-Soriano. POUS, R. **A ROS-based distributed multi-robot localization and orientation strategy for heterogeneous robots**. Department of Communications and Information Technology, Universitat Pompeu Fabra, Roc Boronat, 138, 08018 Barcelona, Spain.

ALMEIDA, J.P.L.S.; NAKASHIMA, R. T.; Neves-Jr F.; and ARRUDA, L. V. R.; Navegação autônoma de múltiplos robôs baseada em realidade aumentada. Em: **Anais do 14º Simpósio Brasileira de Automação Inteligente**, Ouro Preto. Campinas, Galoá, 2019.

PEREIRA, L. S. **Solução em nuvem para o processamento e armazenamento de dados de um andador robótico inteligente**. 2023. 33f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Natal, 2023.

RÉGIS, Laís P. **Projeto de um controlador PD adaptativo via alocação de polos aplicado em um robô manipulador de dois graus de liberdade planar**. Dissertação de mestrado em engenharia mecânica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.