

# Sistemas Multirrôbos

---

*Matheus Leitzke Pinto*

# Sumário

- Introdução aos sistemas multirrobo
- Taxonomia em MRS
- Pesquisas relacionadas
- Conclusão

# Introdução aos sistemas multirrobôs

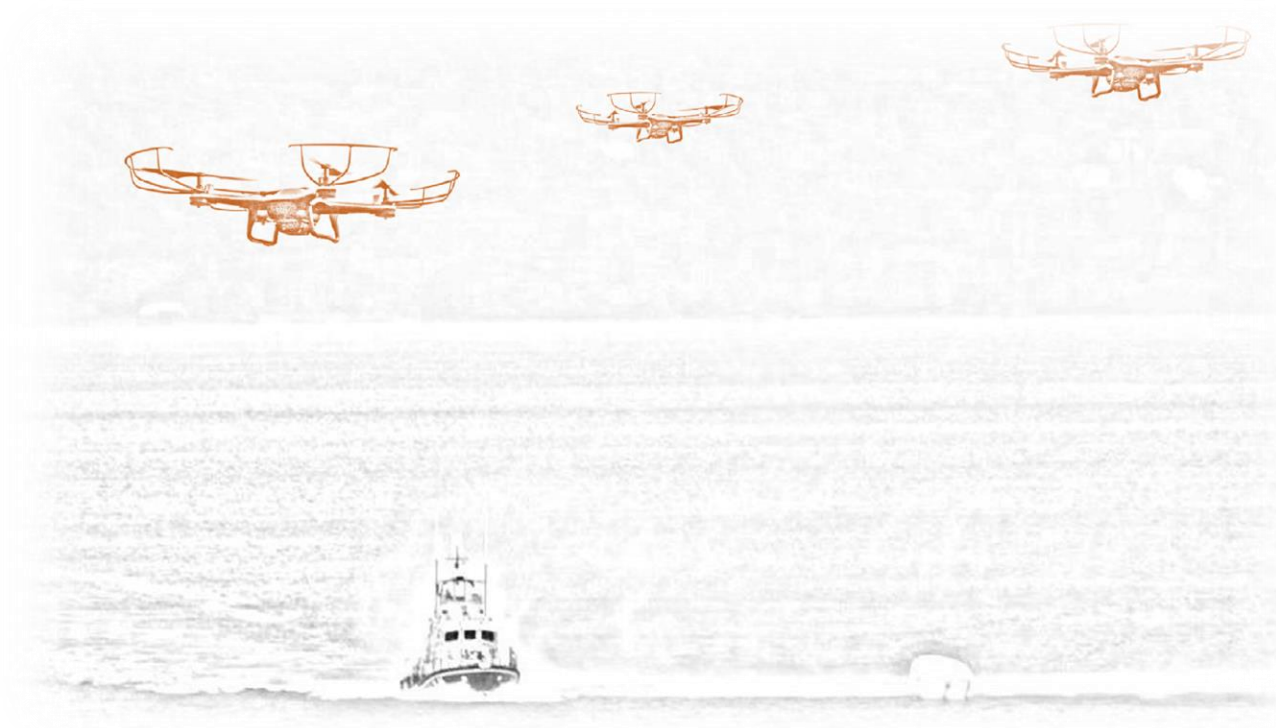
---

sistemas multirrobôs

# Introdução aos sistemas multirrobôs

## Definição

- **Sistemas multirrobôs** (*multi robot systems* - **MRS**) consistem em um grupo de dois ou mais robôs que colaboram para executar tarefas de forma distribuída ou coordenada.



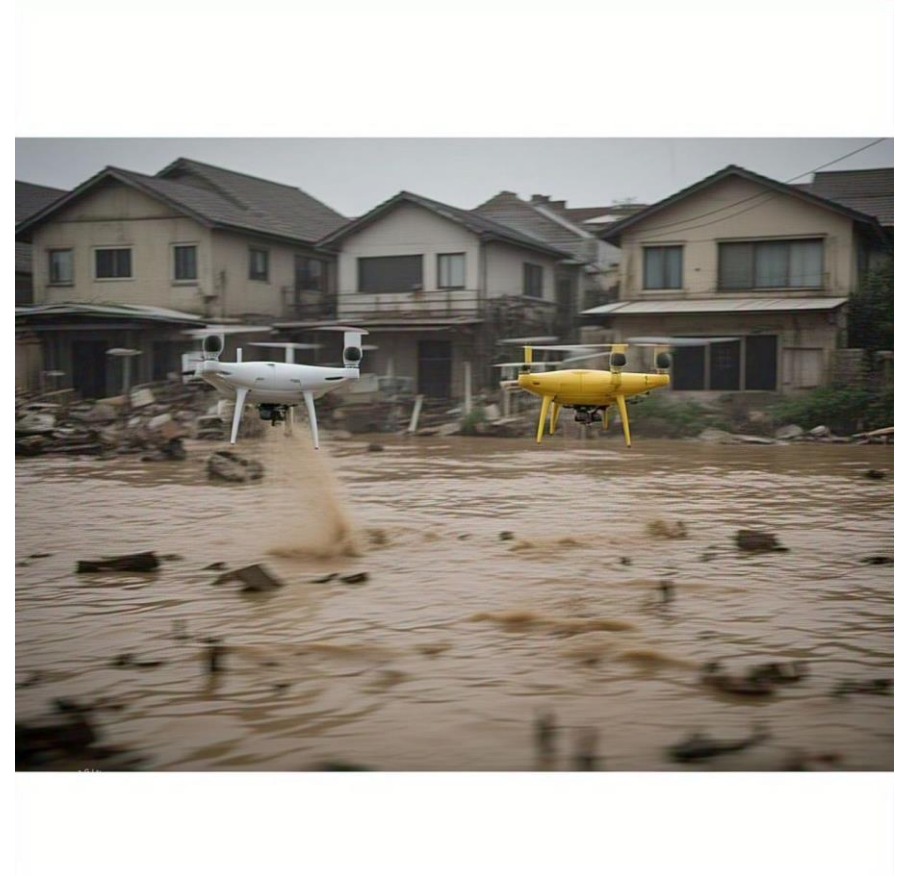
QUERALTA (2020)

# Introdução aos sistemas multirroboôs

## Aplicações

### ■ Exemplos:

- Busca e Resgate (SAR - *Search and Rescue*)
- Agricultura de Precisão
- Logística em Armazéns



# Introdução aos sistemas multirrobo

## Alguns benefícios do uso de MRS sobre um único robô

### ■ **Eficiência e Escalabilidade:**

- Tarefas complexas
- Adaptação à demanda
- Exploração e mapeamento

### ■ **Robustez e Tolerância a Falhas:**

- Redundância
- Adaptabilidade a ambientes complexos

### ■ **Flexibilidade e Adaptação**

- Heterogeneidade
- Reconfiguração

### ■ **Custo-Benefício**

- Robôs mais simples

# Introdução aos sistemas multirroboês

## Alguns desafios

- Coordenação e planejamento
- Comunicação
- A complexidade do desenvolvimento
- Controle

# Introdução aos sistemas multirrobôs

## Relação entre MAS e MRS

- Um **agente** é uma entidade lógica ou computacional.
- Um **robô** é uma entidade física que pode ser controlada por um agente.
- Um **sistema multiagente** (*multiagent system* - **MAS**) pode ser usado para gerenciar, coordenar e controlar sistemas físicos como robôs.
- Técnicas de MAS podem ser aplicadas para modelar MRS.



# Taxonomia em MRS

---

sistemas multirrobo

# Taxonomia em MRS

## Níveis hierárquicos de planejamento e controle

- **Missão:** Define o propósito geral do SMR, como realizar uma exploração ou uma operação de busca e resgate.
- **Objetivo:** São metas intermediárias que suportam a missão. Por exemplo, em uma missão de mapeamento, um objetivo pode ser coletar dados específicos de uma área.
- **Tarefa:** Refere-se às ações específicas designadas aos robôs para atingir os objetivos. Elas podem variar desde tarefas simples, como mover-se até um ponto, até atividades mais complexas, como manipular objetos.
- **Processo:** Conjunto de tarefas. Por exemplo, um processo de empilhar N caixas, pode ser realizada através de N tarefas de pegar uma caixa e colocar sobre outra.

# Taxonomia em MRS

## Tamanho

- **Sistema multirrôbo** – baixa escala
- **Enxame** (*swarm*) – média escala
- **Massivamente multirrobo** – larga escala

# Taxonomia em MRS

## Reatividade e Deliberação

- Por operar de forma autônoma, um MRS pode ser:
  - **Reativo**, tomando decisões apenas com base em estímulos diretos do ambiente;
    - Exemplos:
      - Enxame de drones para pulverização agrícola;
      - Robôs de limpeza cooperativa;
      - Robôs para separação de materiais em esteiras.
  - **Deliberativo**, incorporando capacidades como planejamento global, aprendizado de máquina, tomada de decisão distribuída e coordenação estratégica.
    - Exemplos:
      - Operações de busca e resgate inteligente;
      - Agricultura de precisão com enxame inteligente;
      - Armazéns inteligentes com robôs colaborativos.

# Taxonomia em MRS

## Comunicação

- **Implícita (Estigmergia):** Ocorre como efeito colateral de outras ações ou "através do mundo".
  - Exemplos:
    - Trilhas de feromônios em formigas
    - Robôs que deixam marcas no ambiente para indicar caminhos ou recursos
- **Explícita:** Envolve atos específicos para transmitir informações a outros robôs da equipe. Pode ser:
  - **Direta:** Utilização de dispositivos de hardware dedicados para sinalizar algo compreensível pelos outros membros da equipe.
  - **Indireta:** Uso de **estigmergia ativa** ou **passiva**.

# Taxonomia em MRS

## Níveis de Cooperação

- **Sistemas Cooperativos:** Vários robôs operam juntos para realizar uma tarefa que não pode ser realizada por um único robô ou cuja execução pode ser aprimorada com o uso de vários robôs.
- **Sistemas Não Cooperativos:** Robôs operam no mesmo ambiente, mas não estão relacionados por um objetivo comum.

# Taxonomia em MRS

## Níveis de conhecimento sobre outros robôs

- **Cientes:** Robôs possuem conhecimento sobre a presença de outros robôs em sua equipe.
- **Inconscientes:** Robôs ignoram a existência de outros membros da equipe.

# Taxonomia em MRS

## Níveis de Coordenação

- **Fortemente Coordenados:** Robôs seguem um protocolo de coordenação para evitar interferências e garantir a realização da tarefa global. Podem ser centralizados ou distribuídos.
- **Fracamente Coordenados:** Robôs podem coordenar ações em situações específicas, mas não seguem um protocolo rígido.
- **Não Coordenados:** Robôs agem de forma independente, sem coordenação explícita.



# Taxonomia em MRS

## Organização do sistema

- **Centralizada:** Um robô líder organiza o trabalho dos outros robôs. Pode ser:
  - **Fortemente Centralizada:** O líder permanece o mesmo durante toda a missão
  - **Fracamente Centralizada:** A liderança pode ser transferida entre os robôs
- **Distribuída:** Robôs são autônomos na tomada de decisões

# Taxonomia em MRS

## Composição do robôs

- **Homogênea:** Robôs idênticos em hardware e software
- **Heterogênea:** Robôs com diferenças em hardware e/ou software

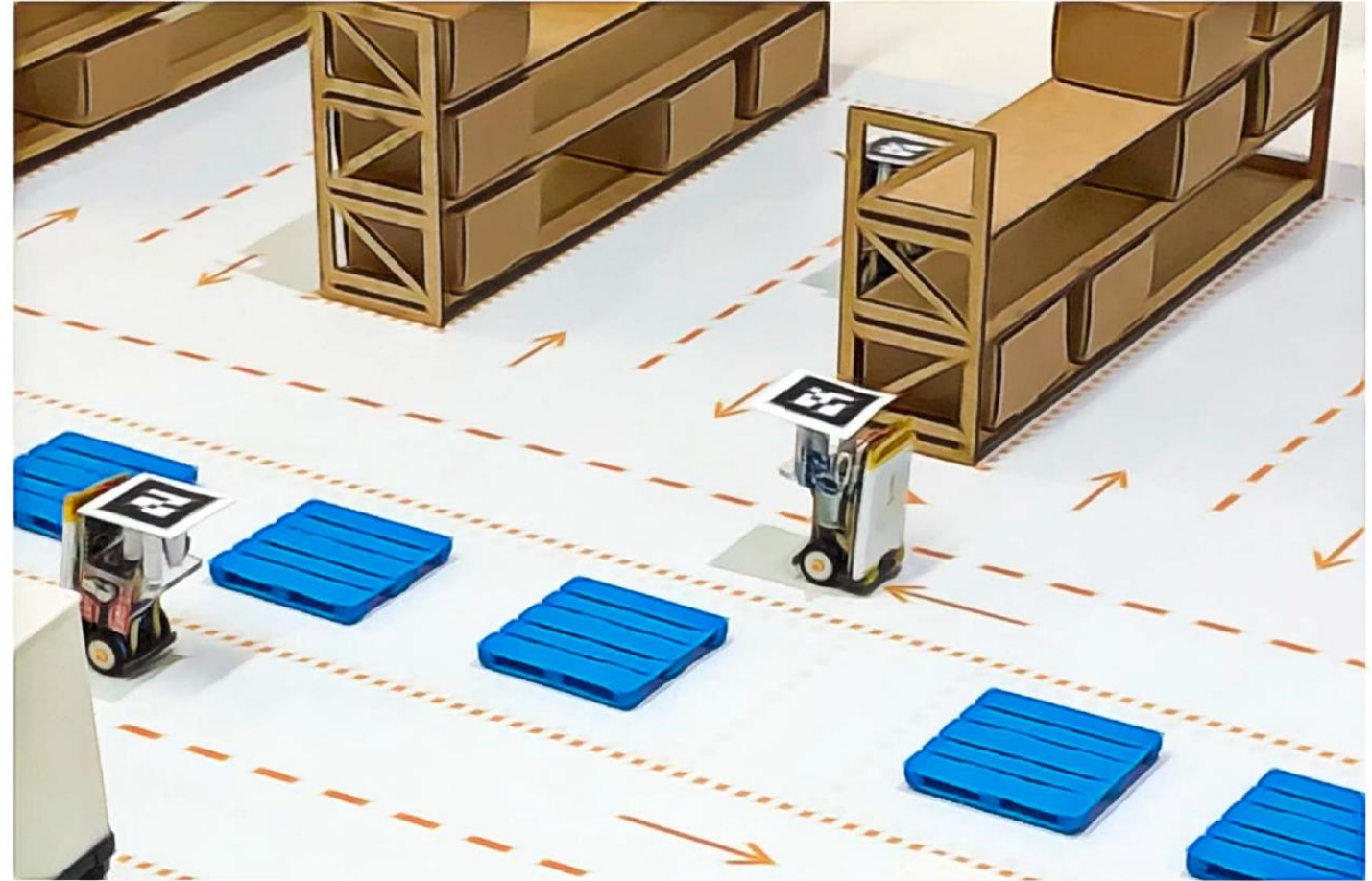
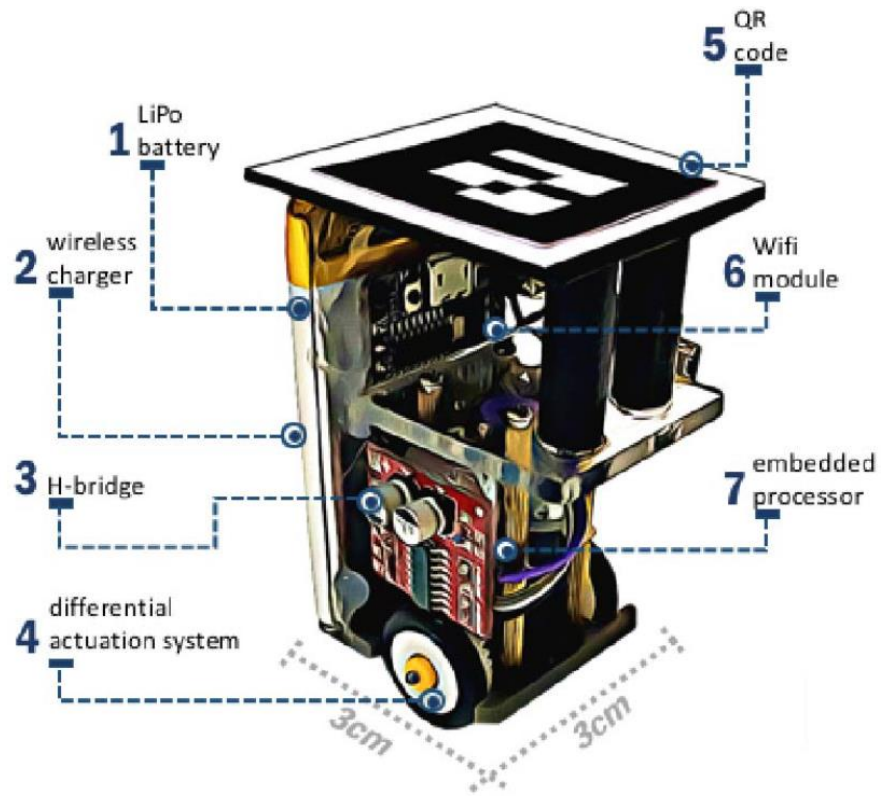
# Pesquisas relacionadas

---

sistemas multirrobo

# Pesquisas relacionadas

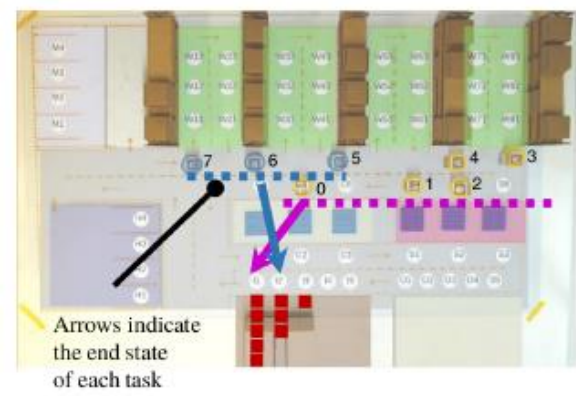
*"WsBot: A Tiny, Low-Cost Swarm Robot for Experimentation on Industry 4.0"*



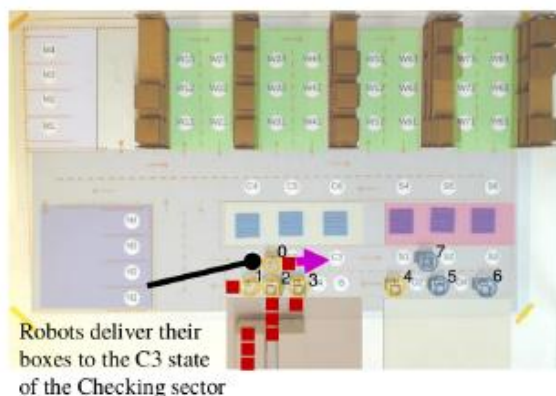


# "Multi-Robot Preemptive Task Scheduling with Fault Recovery:

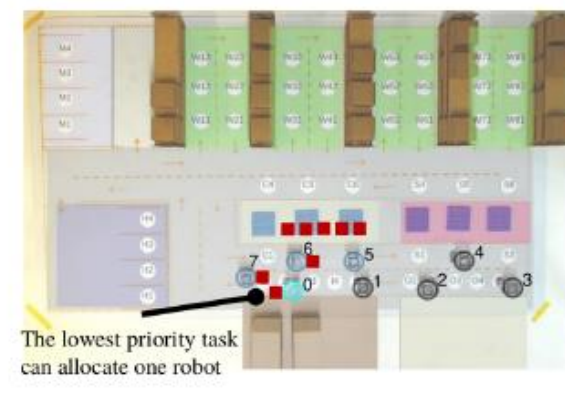
A Novel Approach to Automatic Logistics of Smart Factories"



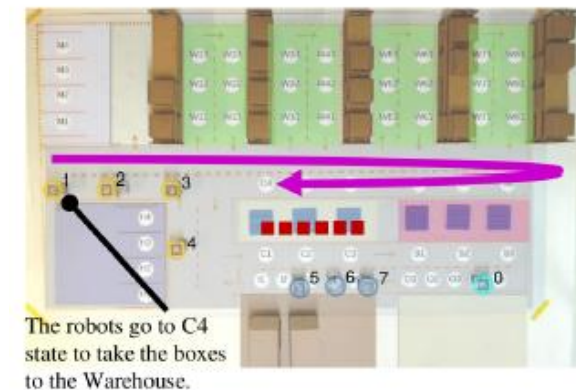
(a)



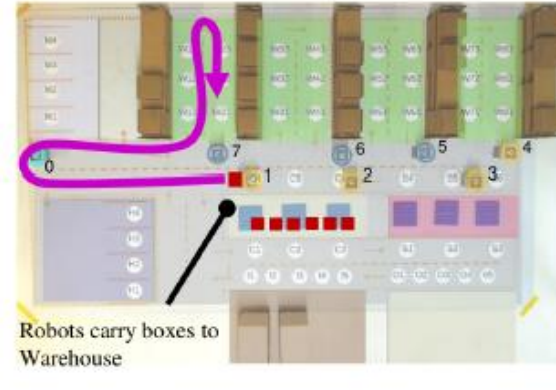
(b)



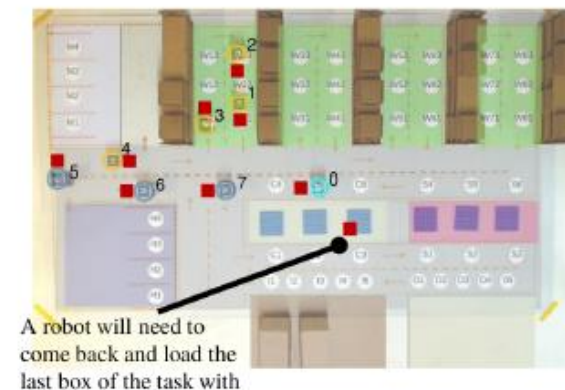
(c)



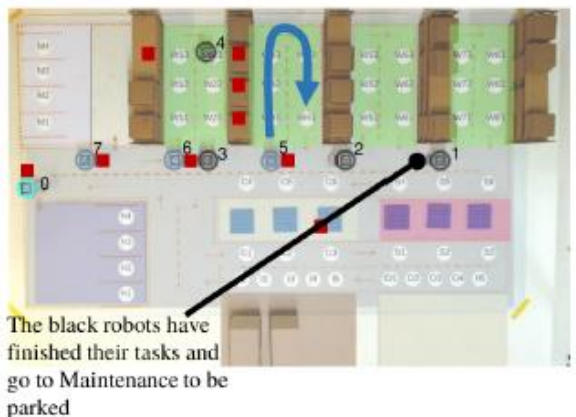
(d)



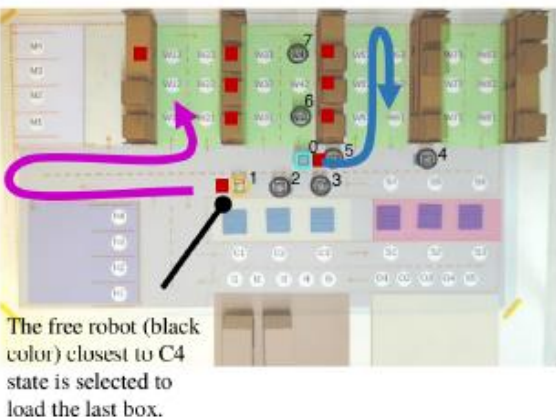
(e)



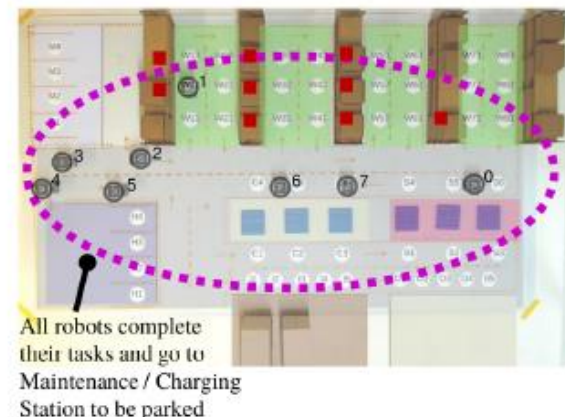
(f)



(g)



(h)

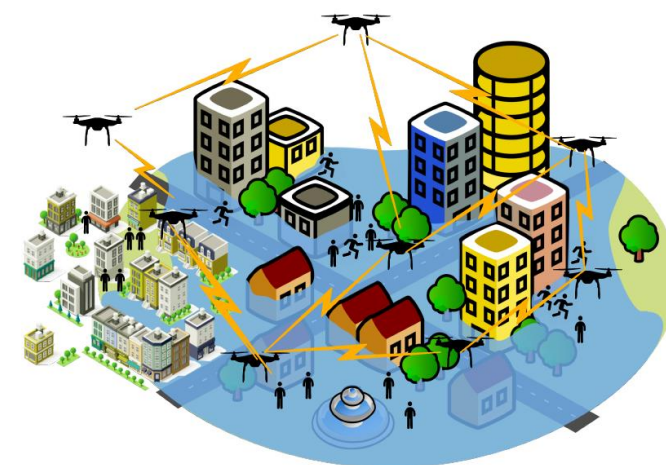
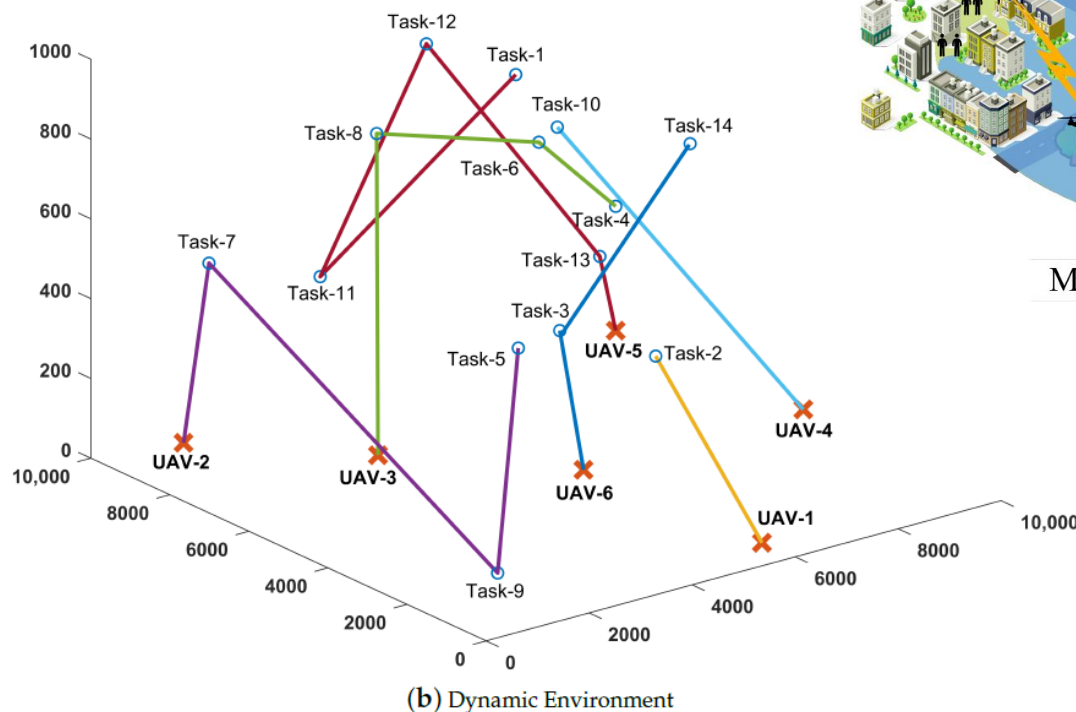
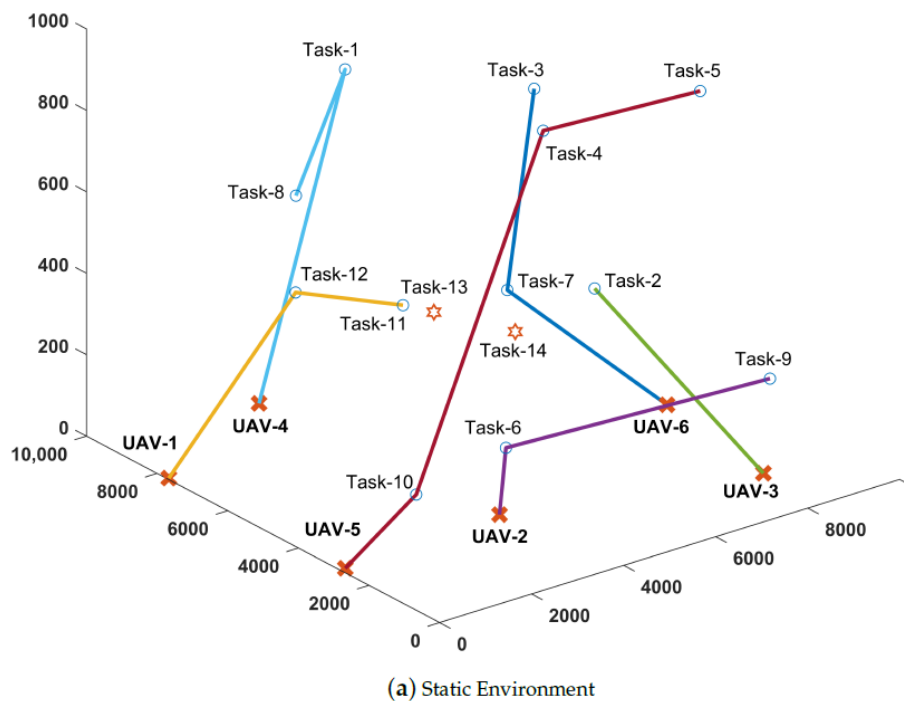


(i)

Principais cenas do experimento 1: Escalonamento por Prioridade. Cena (a) sendo a inicial, cena (i) a final e as cenas (b–h) as intermediárias.

# Pesquisas relacionadas

*"A Review of Multi-UAV Task Allocation Algorithms for a Search and Rescue Scenario"*



Multi UAV Environment



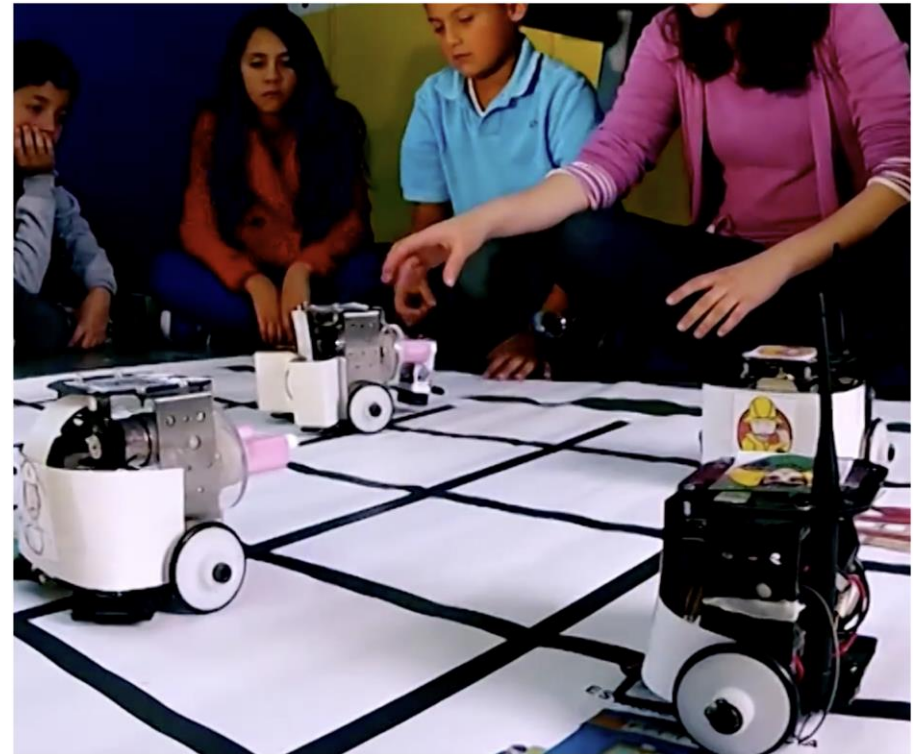
# Pesquisas relacionadas

## *"Exploring the Use of Multiagent Systems in Educational Robotics Activities"*

A plataforma **DramaBot** utiliza um MAS para controlar robôs que atuam em peças teatrais.

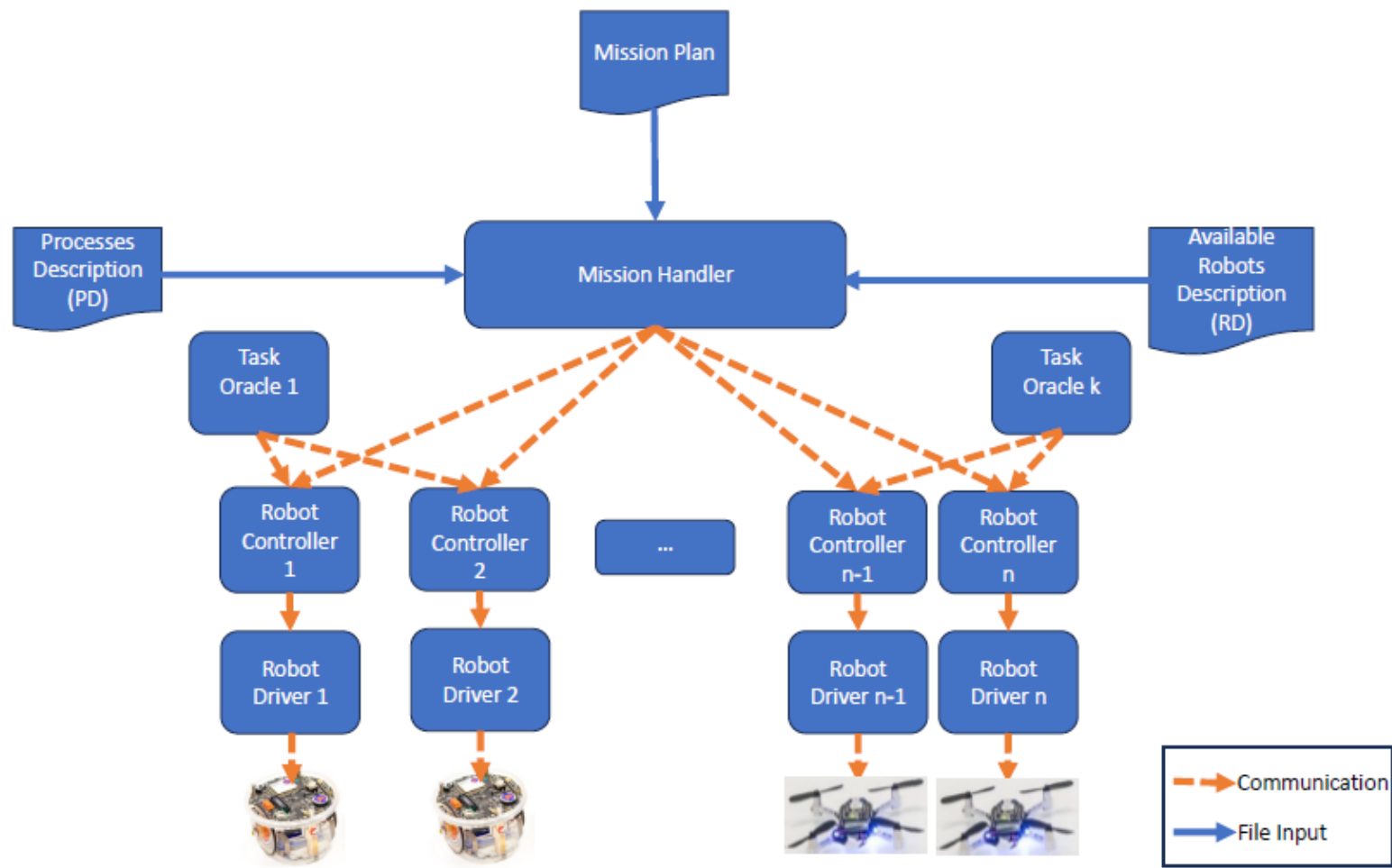
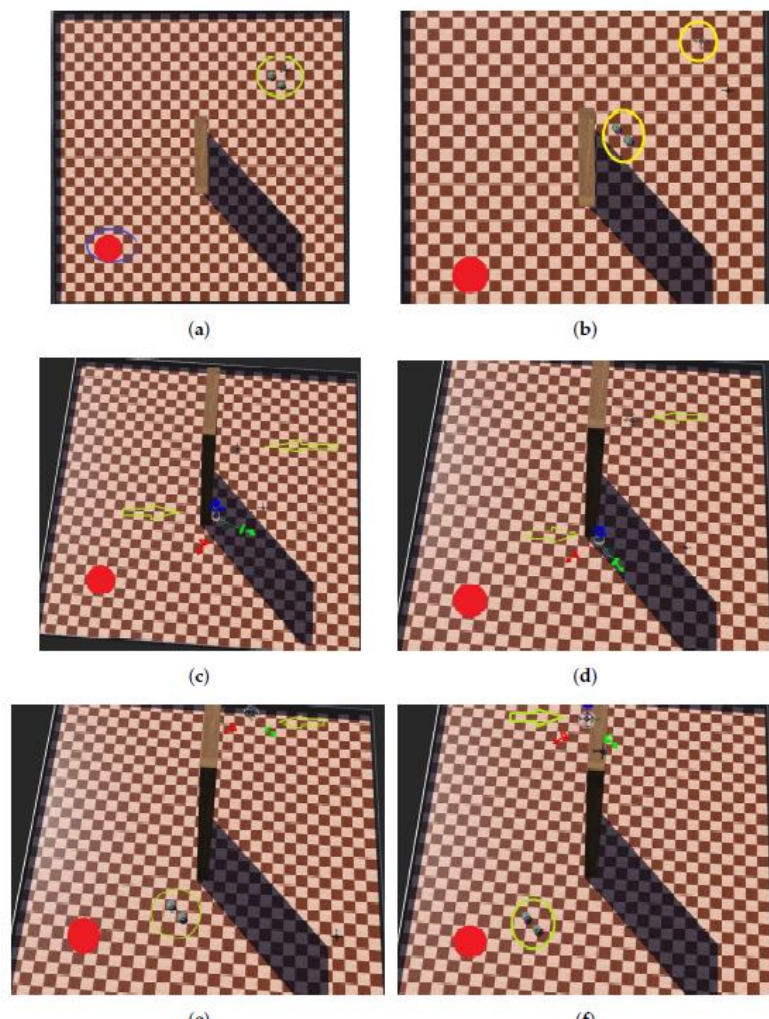


Plataforma **Quemes**, que utiliza um MAS para controlar múltiplos robôs que simulam situações de emergência em uma cidade



# Pesquisas relacionadas

*"Toward a Generic Framework for Mission Planning and Execution with a Heterogeneous Multi-Robot System"*





# Conclusão

---

sistemas multirrobo

# Conclusão

- MRS são promissores para resolver problemas complexos.
- Apresentam flexibilidade, escalabilidade e tolerância a falhas.
- Alguns desafios como coordenação, comunicação e controle devem ser enfrentados.

# Referências

- DENGUIR, Mohsen et al. Toward a Generic Framework for Mission Planning and Execution with a Heterogeneous Multi-Robot System. **Sensors**, v. 24, n. 21, p. 6881, 2024.
- KALEMPA, Vivian Cremer et al. Multi-robot preemptive task scheduling with fault recovery: A novel approach to automatic logistics of smart factories. **Sensors**, v. 21, n. 19, p. 6536, 2021.
- LIMEIRA, Marcelo A. et al. Wsbot: A tiny, low-cost swarm robot for experimentation on industry 4.0. In: **2019 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2019 Brazilian Symposium on Robotics (SBR) and 2019 Workshop on Robotics in Education (WRE)**. IEEE, 2019. p. 293-298.
- QUERALTA, Jorge Pena et al. Collaborative multi-robot search and rescue: Planning, coordination, perception, and active vision. **Ieee Access**, v. 8, p. 191617-191643, 2020.

# Referências

- MOHAN, Yogeswaran; PONNAMBALAM, S. G. An extensive review of research in swarm robotics. In: **2009 world congress on nature & biologically inspired computing (nabic)**. IEEE, 2009. p. 140-145.
- GHOURI, Sajjad A. et al. A Review of Multi-UAV Task Allocation Algorithms for a Search and Rescue Scenario. **Journal of Sensor and Actuator Networks**, v. 13, n. 5, p. 47, 2024.
- GAUTAM, Avinash; MOHAN, Sudeept. A review of research in multi-robot systems. In: **2012 IEEE 7th international conference on industrial and information systems (ICIIS)**. IEEE, 2012. p. 1-5.
- PARKER, Lynne E. Current research in multirobot systems. **Artificial life and robotics**, v. 7, p. 1-5, 2003.

# Referências

- MOYSIADIS, Vasileios et al. Mobile robotics in agricultural operations: A narrative review on planning aspects. **Applied Sciences**, v. 10, n. 10, p. 3453, 2020.
- AMMAR, Hossam Hassan et al. Design and implementation of fuzzy PID controller into multi agent smart library system prototype. In: **The International Conference on Advanced Machine Learning Technologies and Applications (AMLTA2018)**. Springer International Publishing, 2018. p. 127-137.
- HANNEBAUER, Markus; WENDLER, Jan. **Balancing reactivity and social deliberation in multi-agent systems: from RoboCup to real-world applications**. Springer Science & Business Media, 2001.
- RASHEED, Ammar Abdul Ameer; ABDULLAH, Mohammed Najm; AL-ARAJI, Ahmed Sabah. A review of multi-agent mobile robot systems applications. **International Journal of Electrical and Computer Engineering**, v. 12, n. 4, p. 3517-3529, 2022.

# Referências

- BRAVO, Flor A.; PÁEZ, John J. Exploring the use of multiagent systems in educational robotics activities. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, v. 16, n. 6, p. 970-982, 2023.
- KWA, Hian Lee; LEONG KIT, Jabez; BOUFFANAIS, Roland. Balancing collective exploration and exploitation in multi-agent and multi-robot systems: A review. **Frontiers in Robotics and AI**, v. 8, p. 771520, 2022.
- OPREA, M. Agent-based modelling of multi-robot systems. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2018. p. 052026.
- OTA, Jun. Multi-agent robot systems as distributed autonomous systems. **Advanced engineering informatics**, v. 20, n. 1, p. 59-70, 2006.
- ORR, James; DUTTA, Ayan. Multi-agent deep reinforcement learning for multi-robot applications: A survey. **Sensors**, v. 23, n. 7, p. 3625, 2023.