

**ESTRATÉGIAS COLABORATIVAS EM SISTEMAS MULTIRROBÔS**

Daniel Giraldi Michels, Dieisson Martinelli, Vivian Cremer Kalempa

**INTRODUÇÃO**

A inteligência artificial (IA) revolucionou a robótica ao permitir que robôs realizem tarefas complexas e imprevisíveis, superando as limitações dos sistemas tradicionais com comportamentos pré-programados (Adebayo; Ajayi; Chukwurah, 2024). Nesse contexto, o desenvolvimento de estratégias de navegação, manipulação e controle, tornou-se uma área promissora de pesquisa em IA (Costa; Ferdiansyah; Ariessanti, 2024).

Competições de futebol de robôs se destacam como ambiente ideal para estudar e validar essas estratégias, pois exigem que os agentes tomem decisões sequenciais em cenários de cooperação e competição, com regras complexas e dinâmicas imprevisíveis (Hong *et al.*, 2021; Spinelli *et al.*, 2024). O aprendizado por reforço (RL) tem se mostrado eficaz para a criar habilidades complexas, permitindo que os agentes aprendam por tentativa e erro sem programação explícita para cada situação (Abdelnabi; Rabadi, 2024).

Este trabalho se apresenta como uma contribuição ao *framework* rSoccer (Martins *et al.*, 2021) criado pela equipe RobôCIn, avançando na aplicação do RL em ambientes de robôs de Very Small Size Soccer (VSSS). Inicialmente, investigou-se a modificação da função de recompensa em um ambiente de agente único para incentivar a marcação de gols, mas os resultados não mostraram uma evolução consistente. Diante disso, o foco foi redirecionado para a criação de um novo ambiente multiagentes e uma nova arquitetura de treinamento adaptada ao algoritmo Multi-Agent Deep Deterministic Policy Gradient (MADDPG). Para isso, o ambiente foi integrado ao PettingZoo, um *framework* utilizado para o desenvolvimento e padronização de ambientes de RL multiagentes, que organiza as interações entre agentes e permite um controle individualizado de cada robô. Assim, o objetivo deste trabalho é desenvolver e avaliar um ambiente multiagentes no rSoccer, adaptado ao PettingZoo, para treinar robôs VSSS utilizando o algoritmo MADDPG e investigar sua eficácia na criação de estratégias colaborativas.

**DESENVOLVIMENTO**

A metodologia de treinamento foi construída de forma sistemática e iterativa, tendo como objetivo adaptar e aplicar o algoritmo MADDPG no ambiente de futebol de robôs VSSS. O trabalho partiu do *framework* rSoccer, que originalmente não suportava abordagens multiagentes, sendo necessário adaptá-lo para a estrutura PettingZoo, possibilitando o controle individualizado de cada robô.

O treinamento iniciou-se com uma configuração baseada no Deep Deterministic Policy Gradient (DPPG) em agente único, posteriormente substituída pelo MADDPG para permitir a interação simultânea de múltiplos agentes. A arquitetura implementada utilizou atores descentralizados, responsáveis pelas ações de cada robô, e um crítico centralizado, com acesso à visão global do jogo, fornecendo *feedback* de aprendizado consistente para toda a equipe.

O monitoramento do treinamento foi realizado com o TensorBoard, registrando métricas como a média móvel e a cumulativa de gols. Os modelos foram salvos periodicamente em arquivos *.pth*, um formato de arquivo padrão do *framework* PyTorch para modelos de redes neurais, enquanto os dados de progresso foram armazenados em arquivos *.pkl*, um formato de serialização de objetos Python, possibilitando a análise posterior do aprendizado.

## RESULTADOS

Os resultados indicaram que a adaptação do rSoccer ao PettingZoo, em conjunto com o algoritmo MADDPG, estabeleceu um processo de aprendizado para a coordenação entre robôs, conforme ilustrado na Figura 1a. As métricas monitoradas no TensorBoard mostraram maior estabilidade e desempenho a longo prazo em relação à configuração inicial de agente único, conforme apresentado na Figura 1b.

A arquitetura ator-crítico mostrou-se eficaz ao fomentar a colaboração entre os agentes, permitindo a definição de estratégias coletivas emergentes. Esse fato confirma que o uso de abordagens multiagentes é adequado para cenários como o futebol de robôs VSSS, alinhando-se à literatura que destaca o RL como ferramenta para coordenação em sistemas complexos.

Como limitação, observa-se que os experimentos foram realizados exclusivamente em ambiente simulado, o que restringe a validação em cenários reais. Ainda assim, a metodologia proposta abre espaço para o desenvolvimento de estratégias mais sofisticadas e aplicáveis a situações reais de cooperação entre robôs.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho alcançou seu objetivo principal ao estabelecer uma metodologia eficaz para o aprendizado de estratégias de coordenação em um ambiente de robôs de futebol VSSS. A adoção da arquitetura MADDPG e da biblioteca PettingZoo validou um novo caminho de pesquisa para o desenvolvimento de comportamentos cooperativos. Os resultados obtidos confirmam a viabilidade da abordagem e reforçam seu potencial como base para pesquisas futuras.

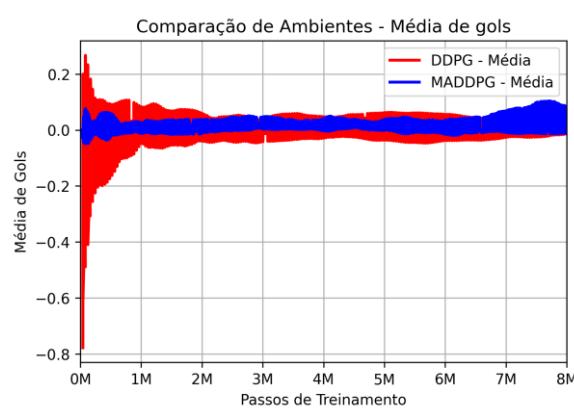
O projeto abre caminho para futuras inovações, como a exploração de funções de recompensa mais sofisticadas e o desenvolvimento de novas técnicas para o VSSS, que poderão ampliar a complexidade e a eficácia das estratégias colaborativas entre robôs.

**Palavras-chave:** futebol robótico; Multi-Agent Deep Deterministic Policy Gradient; Reinforcement Learning; Very Small Size Soccer.

## ILUSTRAÇÕES



a) Ambiente virtual adaptado para MADDPG



b) Comparação de média de gols entre ambientes

**Figura 1.** Desempenho do algoritmo MADDPG em ambiente virtual.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELNABI, Ahmad A. Bany; RABADI, Ghaith. Robots Path Planning in RoboCup Competitions: A Literature Review. In: **2024 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions (ICTMOD)**. IEEE, 2024. p. 1-6.

ADEBAYO, Abiodun Sunday; AJAYI, Olanrewaju Oluwaseun; CHUKWURAH, Naomi. Explainable AI in robotics: A critical review and implementation strategies for transparent decision-making. **Journal of Robotics and AI Systems**, v. 12, n. 4, p. 101-118, 2024.

COSTA, Pedro; FERDIANSYAH, Januri; ARIESSANTI, Hani Dewi. Integrating artificial intelligence for autonomous navigation in robotics. **International Transactions on Artificial Intelligence**, v. 3, n. 1, p. 64-75, 2024.

HONG, Chansol *et al.* AI world cup: robot-soccer-based competitions. **IEEE Transactions on Games**, v. 13, n. 4, p. 330-341, 2021.

MARTINS, Felipe B. *et al.* rsoccer: A framework for studying reinforcement learning in small and very small size robot soccer. In: **Robot World Cup**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 165-176.

SPINELLI, Filippo A. *et al.* A Sampling-Based Algorithm for Multi-Agent Coordination in RoboCup Soccer. In: **Workshop on Humanoid Soccer Robots 2024**. 2024.

---

## DADOS CADASTRAIS

---

**BOLSISTA:** Daniel Giraldi Michels

**MODALIDADE DE BOLSA:** PROIP/UDESC (IP)

**VIGÊNCIA:** 09/2024 a 08/2025 – Total: 12 meses

**ORIENTADOR(A):** Vivian Cremer Kalempa

**CENTRO DE ENSINO:** CEPLAN

**DEPARTAMENTO:** Departamento de Sistemas de Informação - CEPLAN

**ÁREAS DE CONHECIMENTO:** Ciências Exatas e da Terra / Ciência da Computação

**TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA:** Coordenação e colaboração em Sistemas Multirrobôs

**Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA:** NPP3262-2022