

COMPARATIVO DE PLANEJAMENTO DE TRAJETÓRIAS DE ROBÔS TERRESTRES AUTÔNOMOS COM PRECURSOR DE I.A. VERSUS TELEGUIADOS APLICADOS EM RESGATE DE VÍTIMAS

Data de aceite: 02/05/2023

Márcio Mendonça

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná. PPGEM-CP - Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica PP/
CP
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Francisco de Assis Scannavino Junior

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná. Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica UTFPR - Cornélio
Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/4513330681918118>

Vicente de Lima Gongora

Faculdade da Indústria SENAI Londrina
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica- Londrina -PR
<http://lattes.cnpq.br/6784595388183195>

Janáina Fracaro de Souza Gonçalves

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná. PPGEM-CP - Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica PP/
CP
<http://lattes.cnpq.br/1857241899832038>

Wagner Fontes Godoy

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná. Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica UTFPR - Cornélio
Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/7337482631688459>

Carlos Alberto Paschoalino

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná. Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica UTFPR - Cornélio
Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/1518815195539638>

Luiz Henrique Geromel

IFSP Instituto Federal de São Paulo
-Campus Piracicaba - SP
<http://lattes.cnpq.br/3945660888230811>

Guilherme Cyrino Geromel

IFSP Instituto Federal de São Paulo
-Campus Piracicaba - SP
[linkedin.com/in/guilherme-cyrino-geromel-
9391a5245](https://www.linkedin.com/in/guilherme-cyrino-geromel-9391a5245)

Rodrigo Rodrigues Sumar

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná. Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica UTFPR - Cornélio
Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/1461760661483683>

Marco Antônio Ferreira Finocchio

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná. Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica UTFPR - Cornélio
Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/8619727190271505>

Andressa Haiduk

Dimension Engenharia - Ponta Grossa - PR
<http://lattes.cnpq.br/2786786167224165>

Gustavo Henrique Bazan

Instituto Federal do Paraná, Campus Jacarezinho - PR
<http://lattes.cnpq.br/7076940949764767>

Fabio Rodrigo Milanez

Faculdade da Indústria SENAI Londrina
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica- Londrina -PR
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

Fabio Nogueira de Queiroz

Centro Paula Souza
Faculdade de Tecnologia (FATEC)
<http://lattes.cnpq.br/4466493001956276>

Matheus Gil Bovolenta

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Acadêmico - departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica (DAELE) - Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/1518815195539638>

RESUMO: Os avanços tecnológicos possibilitam a criação de máquinas cada vez mais complexas, capazes de tomar decisões autônomas com base nos dados fornecidos ao sistema. Esses avanços geram questionamentos sobre a viabilidade desses processos em comparação com a ação humana. Este trabalho tem como objetivo comparar o planejamento de trajetórias de um robô móvel guiado por sensores aplicando metodologias de diferentes lógicas multivaloradas, com o planejamento de trajetórias de um robô móvel teleguiado pela habilidade humana. Ao final da análise dos dados obtidos, ainda que iniciais, observou-se que ambos os casos apresentam vantagens e desvantagens no processo, e de acordo com experimentos simulados para essa pesquisa os robôs teleguiados obtiveram vantagem. Deste modo, sugere-se a realização de futuros trabalhos com a implementação de sistemas inteligentes mais robustos para o planejamento de trajetórias. Esse trabalho se encerra com uma conclusão e sugere futuros trabalhos.

PALAVRAS-CHAVE: Robótica, Comparação de trajetórias, Lógica multivalorada.

COMPARISON OF PATH PLANNING OF AUTONOMOUS GROUND ROBOTS WITH AI PRECURSOR VS. TELEOPERATED ROBOTS APPLIED IN VICTIM RESCUE

ABSTRACT: Technological advancements enable the creation of increasingly complex machines capable of making autonomous decisions based on the data provided to the system. These advancements raise questions about the viability of these processes compared to

human action. This study aims to compare the trajectory planning of a mobile robot guided by computer vision, following methodologies of different multivalued logics, with the trajectory planning of a mobile robot remotely controlled by human skill. At the end of the analysis of the obtained data, although initial, it was observed that both cases have advantages and disadvantages in the process, and according to simulated experiments for this research, teleoperated robots had an advantage. Therefore, the implementation of more robust intelligent systems for trajectory planning is suggested for future work. This study concludes with a summary and suggestions for further research.

KEYWORDS: Robotics, Comparison of trajectories, Multivalued logic.

1 | INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade, a ideia de criar máquinas capazes de tomar decisões tem sido um sonho perseguido. Com o avanço da tecnologia, essa possibilidade está se tornando cada vez mais realidade. Hoje em dia, robôs já são amplamente utilizados na indústria e, em breve, espera-se que eles sejam tão comuns em nosso cotidiano quanto os celulares. Como destaca siciliano (2010), os robôs deixarão de ser apenas máquinas e se tornarão parte de nossas vidas de uma forma mais pessoal.

De acordo com Montana e Ben-Ari (2018), um robô pode ser definido como uma máquina capaz de realizar automaticamente uma série de ações programáveis por um computador. A robótica é uma área interdisciplinar que envolve conhecimentos das engenharias mecânica, elétrica, computação e outras áreas para o desenvolvimento de robôs para empreendimentos humanos. Os robôs e sistemas robóticos têm impactado significativamente a vida moderna em diversos aspectos, desde a produção industrial até a exploração aquática e espacial, passando pela área hospitalar, educação e entretenimento (Niku, 2001).

Desde o meio do século XX, houve as primeiras conexões entre a inteligência humana e as máquinas, originando as primeiras pesquisas em inteligência artificial (Siciliano, 2010). A inteligência artificial é o resultado tecnológico de sistemas baseados na inteligência humana, tendo como resultado a capacidade de tomar decisões autônomas, baseadas em um banco de dados pré-estabelecido e constantemente atualizado (Russell, 2016)

A disputa entre seres humanos e inteligência artificial é um tema que tem ganhado cada vez mais destaque nos últimos anos. Embora a ideia de que as máquinas podem superar as habilidades humanas em diversas áreas possa parecer futurista ou até mesmo ficção científica, a verdade é que já estamos vivenciando a crescente presença e influência da inteligência artificial em nossas vidas (BOSTROM, 2014).

A disputa entre a inteligência artificial e a humana tem sido um tema de interesse em diversas áreas, desde a ciência da computação até a filosofia. Essa questão pode ser exemplificada por meio de batalhas entre humanos e máquinas em jogos de tabuleiro.

Um exemplo clássico dessa disputa foi a partida de xadrez entre Garry Kasparov, o então campeão mundial de xadrez, e o computador *Deep Blue*, desenvolvido pela IBM. Em 1996, a primeira partida foi vencida por Kasparov, mas em 1997, o computador venceu a disputa. Segundo (Hsu et al., 2002), a derrota de Kasparov foi resultado de um conjunto de fatores, incluindo a pressão da mídia e a estratégia adotada pelo programa de computador.

Outro exemplo foi a partida de Go entre o campeão mundial Lee Sedol e o programa de inteligência artificial *AlphaGo*, desenvolvido pelo Google *DeepMind*. Em 2016, em uma série de cinco partidas, o programa venceu quatro vezes. De acordo com (Silver et al., 2017), a vitória de *AlphaGo* foi resultado de uma combinação de técnicas de aprendizado de máquina e redes neurais profundas.

Esses exemplos evidenciam como a inteligência artificial tem avançado no campo dos jogos de tabuleiro, superando jogadores humanos em algumas ocasiões. No entanto, a inteligência artificial ainda não é capaz de igualar a capacidade cognitiva e criativa dos seres humanos em outros campos, como na interpretação de contextos e na resolução de problemas complexos fora de ambientes controlados.

Por um lado, a inteligência artificial tem demonstrado um enorme potencial em áreas como medicina, finanças, transporte, entre outras. Algoritmos de aprendizado de máquina e redes neurais, por exemplo, têm sido usados para analisar grandes quantidades de dados e encontrar padrões que seriam difíceis ou impossíveis para os seres humanos identificarem sozinhos. Isso pode levar a descobertas importantes e impactar positivamente a vida das pessoas.

Por outro lado, há preocupações de que a inteligência artificial possa substituir seres humanos em muitos trabalhos, o que poderia levar a um aumento do desemprego e a uma desigualdade econômica ainda maior. Além disso, há preocupações éticas em relação à maneira como a inteligência artificial é usada, especialmente quando se trata de tomar decisões importantes que afetam a vida das pessoas, como a liberdade condicional ou a concessão de empréstimos (RUSSEL, NORVIG, 2016)

No entanto, muitos especialistas argumentam que a competição entre seres humanos e inteligência artificial não deve ser vista como uma batalha pela supremacia, mas sim como uma parceria em que os seres humanos e a inteligência artificial trabalham juntos para alcançar objetivos comuns. Embora a inteligência artificial possa ser capaz de realizar tarefas específicas com mais eficiência do que os seres humanos, ela ainda carece da capacidade de tomada de decisão e compreensão do contexto que os seres humanos possuem naturalmente. Dessa forma, a colaboração entre seres humanos e máquinas pode levar a resultados ainda melhores do que quando trabalhamos separadamente (TEGMARK, 2017).

A motivação deste trabalho é com a evolução tecnológica, os processos manuais estão sendo substituídos por robôs autônomos, resultando em uma melhoria na execução das atividades e redução do tempo gasto. Porém, é necessário avaliar até que ponto é

viável a utilização desses sistemas em um processo. E, de acordo com o título, os alvos podem ser diversos, entretanto, podem ser vítimas de um acidente que precisam de resgate em áreas inóspitas Mendonça et all (2019).

Como identificar os limites de eficiência dos sistemas autônomos em relação aos controlados pela inteligência humana? Essa é uma questão que se levanta diante do crescente uso de processos automatizados e de inteligência artificial. É importante comparar o desempenho de um processo autônomo com um controlado por humanos em um mesmo ambiente para avaliar até que ponto a ação autônoma pode se aproximar da ação controlada por seres humanos.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: na seção 2, fundamentos de tópicos circunscritos a pesquisa, como por exemplo a cinemática. Já a seção 3 apresenta alguns detalhes da construção do protótipo incluindo alguns detalhes de visão robótica e sobre o cenário empregados para os experimentos. A seção 4 apresenta uma discussão dos resultados obtidos. E, finalmente, a seção 5, conclui e endereça futuros trabalhos.

2 | FUNDAMENTOS

2.1 Cinemática

Para o projeto será utilizado um robô móvel, sendo que para a especificação de sua posição é necessário estabelecer uma relação entre o mapa de referência do campo de teste e o mapa de referência local do robô. A Figura 1 mostra a pose do robô, coordenadas do baricentro, exemplo, e o ângulo formado para localização do mesmo. O conceito de pose é um fundamento da robótica. Nessa figura também é possível identificar o eixo XY global e do robô autônomo terrestre.

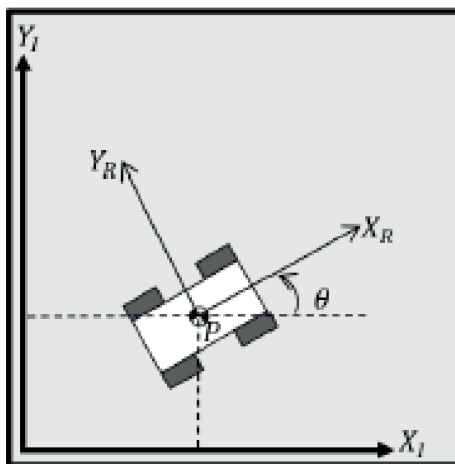


Figura 1 – Pose do robô no plano

2.2 Visão Computacional

Uma área que clássica na robótica (FAUGUERAS,2003); cresce exponencialmente nos últimos anos, apesar de não ter sido empregada nessa pesquisa. A visão computacional é uma área da computação que busca modelar a visão humana em máquinas, permitindo que computadores enxerguem e compreendam o mundo visual de forma similar a nós seres humanos. Essa área envolve a captura de imagens e o processamento dessas, a fim de extrair informações relevantes para reconhecer, manipular e analisar objetos e cenas presentes nas imagens (GONZALEZ; WOODS, 2000).

As etapas da visão computacional incluem a aquisição da imagem, o pré-processamento, a segmentação de regiões da imagem, a extração de características e o processamento de dados. Essas etapas são divididas em dois grupos: o processamento digital de imagens e a análise de dados de imagens (Figura 4) (SILVA; MONTEIRO; RIBEIRO, 2018).

A aquisição de imagens digitais é feita por meio de sensores presentes nas câmeras digitais. No pré-processamento, são aplicados métodos de processamento de imagens para facilitar a extração de características, como realçar o contorno de objetos na imagem (GOMES, 2001). A segmentação é a etapa em que se separa as partes da imagem que interessam para a análise posterior.

Em alguns casos, é necessário o pós-processamento para corrigir os defeitos da segmentação. A extração de características é onde são levantadas as informações relevantes obtidas na imagem. Por fim, essas características são usadas no reconhecimento de padrões e na classificação dos elementos desejados na análise (GOMES, 2001).

Como demonstrado no fluxograma apresentado na Figura 4, a combinação dessas etapas permite a extração de dados a partir de uma imagem, possibilitando o funcionamento da visão computacional

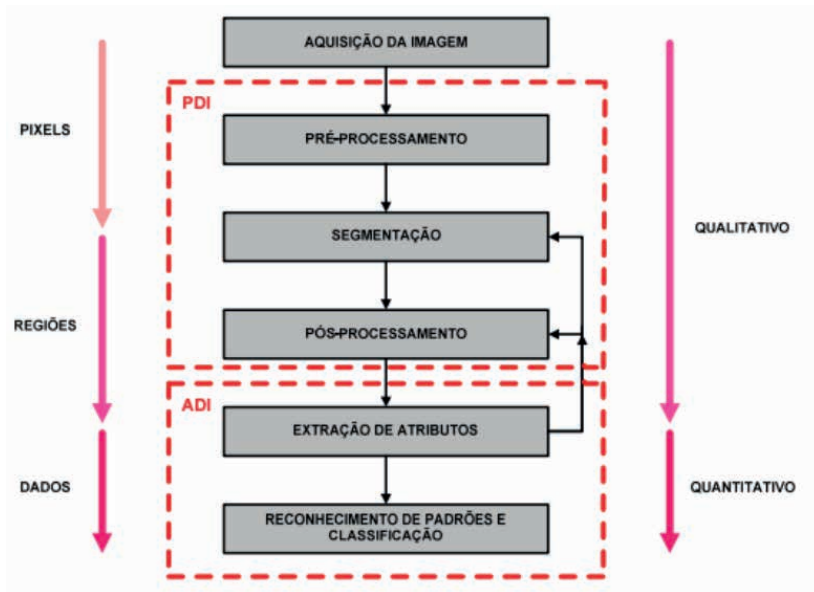


Figura 2 – Etapas da Visão Computacional

2.3 sensores ultrassom

Um tipo de sensor de grande utilidade em automação, sensoriamento de obstáculos para robô, de objetos em linhas de montagem é o sensor ultrassônico. Sem precisar de contacto físico com o objeto ou ainda de propriedades especiais desse objeto, ele não só detecta sua presença como ainda tem recursos para determinar a distância em que ele se encontra. Em diversos projetos dessa revista temos mostrado robôs que fazem uso de sensores ultrassônicos. Formados por um emissor e um receptor, eles podem detectar a presença de objetos ou obstáculos e indicar a distância em que eles se encontram se for necessário. Esses sensores, como o da foto acima, podem ser encontrados numa ampla variedade de formas, dependendo da aplicação, sendo usados também na indústria e na automação de diversos tipos de equipamentos. O princípio de funcionamento deste tipo de sensor tem algo a ver com a biônica, pois se baseia no sonar dos morcegos, que já abordamos em outros artigos que escrevemos. Para entender bem o funcionamento desses sensores será importante partirmos das próprias propriedades dos sons. A Figura 3 mostramos um modelo usado em robótica



Figura 3– sensor ultrassom

3 I DESENVOLVIMENTO

A figura 3 mostra uma visão global do desenvolvimento de uma pesquisa de trabalho de conclusão de curso, na qual foi baseado esse artigo, entretanto, não será escopo desse artigo explorar todos os itens importantes e relevantes, e sim os resultados e as conclusões do mesmo de acordo com a proposta científica do confronto entre I.A. x I.H. (inteligência humana). A figura 4 mostra escopo simplista projeto.

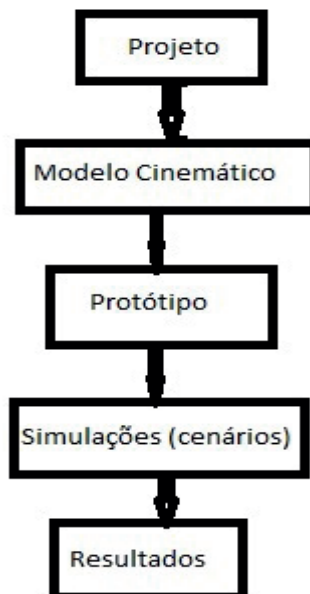


Figura 4–Estrutura de desenvolvimento

3.1 Plataforma Arduino

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto, criada na Itália em 2005 por Banzi e Cuartielles. É fácil de usar, mesmo para iniciantes, e oferece uma ampla gama de opções de entrada e saída, como portas analógicas, digitais e de comunicação, além de interfaces para módulos externos. Com o Arduino, é possível construir uma variedade de dispositivos eletrônicos, desde projetos simples até projetos mais complexos, como robôs controlados por dispositivos móveis. Além disso, o Arduino conta com uma grande comunidade on-line, que compartilha fóruns, tutoriais e projetos, tornando o aprendizado e o desenvolvimento de projetos com Arduino mais fácil e acessível para todos.

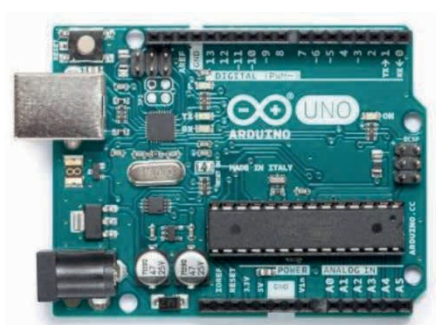


Figura 5: Arduino Uno - microprocessador empregado protótipo

Para desenvolvimento de um protótipo além do microprocessador são necessárias baterias, as chamadas ponte - H, módulo para conectar o Arduino nos atuadores, as rodas, controladas por um sinal de PWM, que apesar dos motores usados foram de corrente contínua, teve resultados satisfatórios, com um bom controle de velocidade do mesmo.

Módulo de comunicação *bluetooth serial port* HC-06, o sensor ideal seria de visão robótica, entretanto. Figura 6 mostra um robô com sensores ultrassom, simulados nessa pesquisa o que aliás é recorrente em pesquisas com técnicas de I.A. Mendonça, et all (2019),

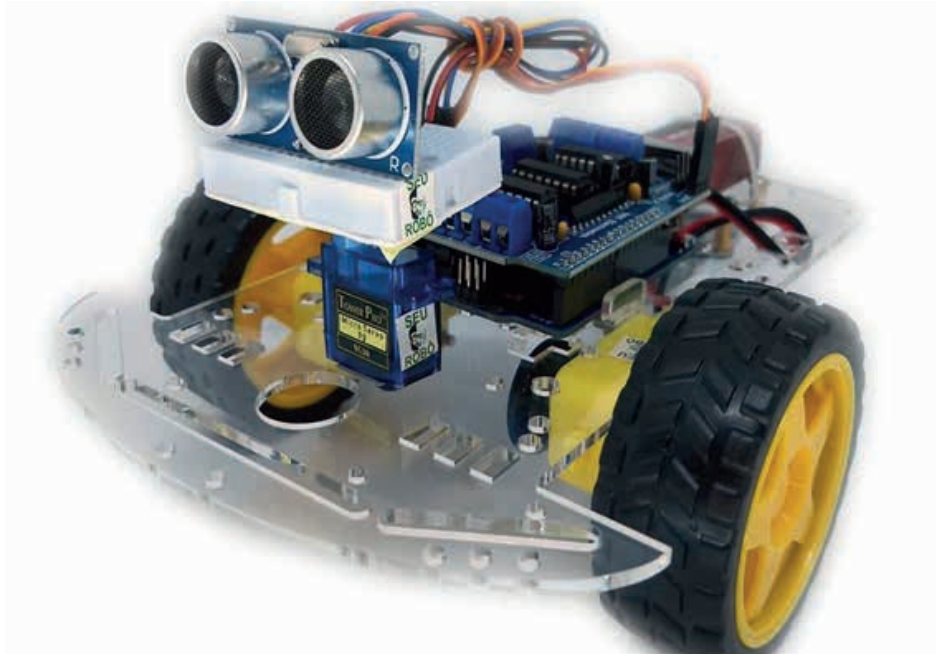


Figura 6: robô terrestre genérico com Arduino

3.2 Lógica Multivalorada

A lógica multivalorada é uma abordagem lógica que permite a existência de mais de dois valores de verdade, diferentemente da lógica clássica binária que trabalha apenas com valores verdadeiros e falsos. Essa lógica é considerada precursora da lógica fuzzy, pois ambas lidam com a incerteza e a imprecisão de dados e são aplicadas em diversas áreas, desde a robótica e inteligência artificial até a economia e a medicina.

De acordo com Avron e Zamansky (2019), a lógica multivalorada surgiu como uma alternativa à lógica clássica binária para lidar com problemas que envolvem graus de verdade diferentes de verdadeiro e falso. Já a lógica fuzzy, que foi desenvolvida por Lotfi Zadeh na década de 1960, expande ainda mais essa ideia, permitindo que as variáveis tenham graus de pertinência a um determinado conjunto.

Em comparação com a lógica clássica binária, a lógica multivalorada é considerada mais adequada para lidar com problemas complexos e incertos, uma vez que permite que as variáveis tenham mais de dois valores de verdade. Segundo Novak (2013), essa abordagem permite que sejam modeladas situações em que as informações disponíveis são imprecisas ou incertas, o que é comum em diversos problemas do mundo real.

Portanto, a lógica multivalorada é uma abordagem lógica importante e precursora da lógica fuzzy, sendo considerada mais adequada para lidar com problemas complexos e incertos do que a lógica clássica binária. Essa abordagem tem sido amplamente utilizada

em diversas áreas, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas inteligentes e soluções em diversas áreas.

4 | RESULTADOS

A simulação em robótica é uma técnica amplamente utilizada para testar algoritmos, estratégias de controle, programação de movimento, entre outras aplicações, antes de implantá-los em robôs reais. Essa técnica pode ser realizada em diferentes tipos de ambientes, como simulações em computador, testes em bancadas de laboratório ou em ambientes externos.

Existem diversos softwares de simulação de robôs disponíveis no mercado, como o Gazebo, V-REP, ROS, entre outros. Esses softwares permitem a criação de modelos virtuais de robôs e a simulação de suas interações com o ambiente em que estão inseridos. Além disso, permitem a programação de movimentos e a execução de tarefas específicas.

Uma das vantagens da simulação em robótica é a possibilidade de testar diferentes cenários e condições em um ambiente controlado e seguro. Além disso, a simulação pode ser utilizada para treinar algoritmos de aprendizado de máquina e redes neurais, permitindo que o robô aprenda a realizar tarefas complexas de forma autônoma.

Dentre as referências que abordam a simulação em robótica, podemos citar Lynch, K., & Park, F. (2017). Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R., & Scaramuzza, D. (2021). Quigley, M., Conley, K., Gerkey, B., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., & Wheeler, R. (2009). Koenig, N., & Howard, A. (2004).

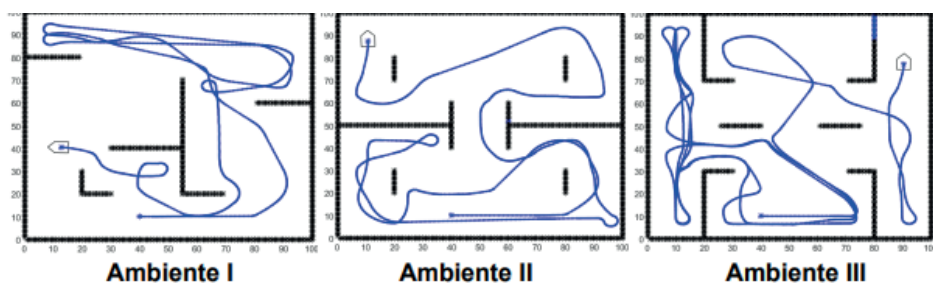


Figura 7: Resultados nos três cenários com lógica multivalorada

Os resultados foram comparados em um ambiente de simulação em três ambientes idênticos para que se possa sugerir autonomia no caso do robô controlado por lógica, como mostra a Figura 7, e o robô teleguiado como mostra a figura 8. Já a figura 9 mostra o robô teleguiado por humano, pode-se observar que os resultados teleguiados foram mais objetivos e não fizeram manobras em “falso” como pode-se observar nos resultados com a lógica. O que sugere melhores resultados nessa disputa por meio de experimentos

simulados, a prototipação deverá ser empregada com robô utilizado no artigo Mendonca et all (2020).

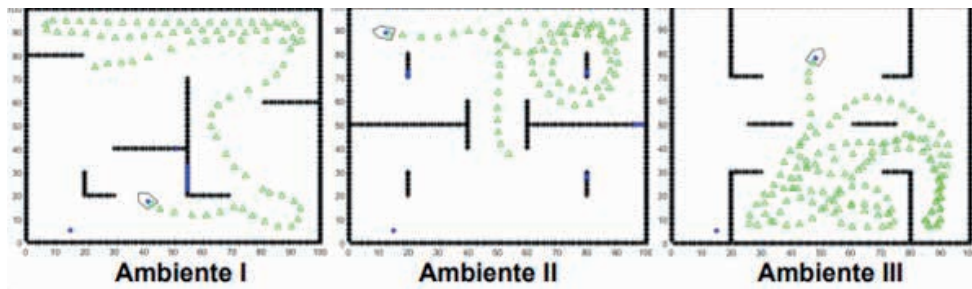


Figura 8: Resultados nos três cenários teleguiados

Uma próxima etapa, após experimentos simulados será um robô do laboratório AARLAB empregado uma variação do robô como mostra figura 7, empregado no trabalho de Mendonça et all (2020).

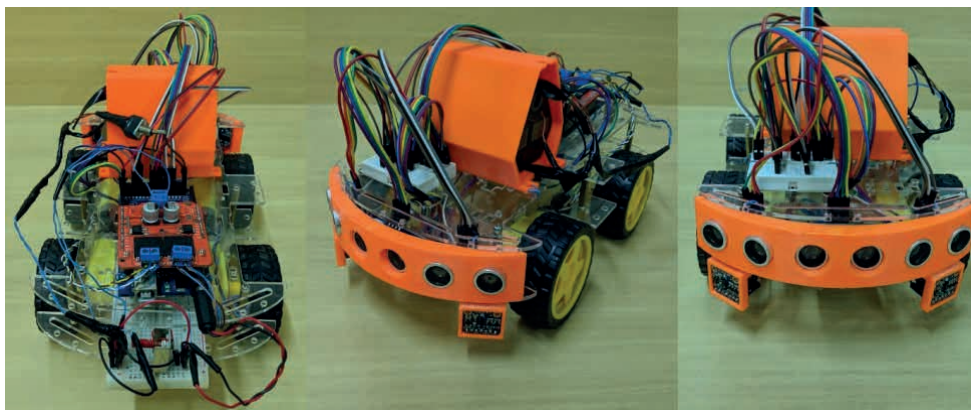


Figura 9: Protótipo em fase conclusiva

5 | CONCLUSÃO

Este trabalho comparou o desempenho de um robô teleguiado com o de um robô controlado por sensores e robôs simulados. Um cenário foi projetado para fornecer posição necessária e um algoritmo foi desenvolvido para calcular a cinemática necessária para que o robô siga o caminho correto. A otimização da trajetória foi feita com um algoritmo A* que simulou todos os caminhos possíveis e determinou o caminho mais otimizado. Foram testadas duas lógicas multivaloradas diferentes para controlar o movimento do robô. Os resultados mostraram que o robô controlado por visão computacional foi mais preciso e menos propenso a erros, enquanto a habilidade do operador de controle do robô teleguiado

foi o principal diferencial no tempo de percurso.

Nos três cenários idênticos comparados houve uma vantagem média de acima de 50% para os robôs teleguiados. Ressalta-se que essa ampla vantagem não deve ser generalizada e sim contextualizada nessa investigação científica,

Para trabalhos futuros, pretende-se construir um sistema autônomo baseado em *fuzzy cognitive maps* adaptados, sistemas computacionais inteligentes mais robustos como supracitados, para uma comparação mais equiparada,

É sugerida a construção de um cenário maior para uma coleta de dados mais precisa e análise de desempenho das lógicas de decisão adotadas. Além disso, no caso de experimentos com protótipos é recomendado o uso de uma fonte de alimentação mais adequada com menor peso e tensão de 7,4V para melhorar a durabilidade do sistema. Por fim, é sugerido o uso de motores de passo para melhorar a precisão e o controle de posição do robô.

Uma última possível contribuição futura, neste contexto com de robôs autônomos e teleguiados (o que aliás já está em andamento) é uma combinação das duas técnicas de forma semelhante ao pulverizador da JACTO o Arbus 4000 JAV, o qual é autônomo, mas em situações drásticas, como uma árvore no caminho, pode deixar de ser autônomo e voltar a ser teleguiado, para a posteriori retor a condição inicial.

REFERÊNCIAS

- Banzi, M., & Cuartielles, D. (2005). Getting Started with Arduino. Retrieved from <https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage>.
- BOSTROM, Nick. Superintelligence: paths, dangers, strategies. Oxford University Press, 2014.
- FAUGERAS, O. (1993). Three-Dimensional Computer Vision, A Geometric Viewpoint. [S.l.]: MIT Press. ISBN 0-262-06158-9.
- GOMES, J. Visão Computacional: Conceitos e Fundamentos. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2001.
- HSU, Feng-hsiung et al. Behind Deep Blue: Building the Computer that Defeated the World Chess Champion. Princeton University Press, 2002.
- MENDONÇA, M. et al. Semi-Unknown Environments Exploration Inspired by Swarm Robotics using Fuzzy Cognitive Maps. In: 2019 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), New Orleans, LA, USA, 2019. p. 1-8. DOI: 10.1109/FUZZ-IEEE.2019.8858847.
- MENDONÇA, M.; PALÁCIOS, R. H. C.; PAPAGEORGIOU, E. I.; SOUZA, L. B. de. Multi-robot exploration using Dynamic Fuzzy Cognitive Maps and Ant Colony Optimization. In: 2020 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), Glasgow, UK, 2020. Proceedings... Glasgow, UK: IEEE, 2020. p. 1-8. DOI: 10.1109/FUZZ48607.2020.9177814.
- NIKU, B. S. Introduction to robotics: Analysis, systems, applications. New Jersey: Prentice Hall, 2001

QUIGLEY, M., Conley, K., Gerkey, B., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., & Wheeler, R. (2009). "ROS: An Open-Source Robot Operating System." In ICRA Workshop on Open-Source Software.

RUSSELL, Stuart J.; NORVIG, Peter. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson Education Limited, 2016.

SICILIANO, B.; KHATIB, O. **Handbook of Robotics**. Springer, 2010

SIEGWART, R., Nourbakhsh, I. R., & Scaramuzza, D. (2021). Introduction to Autonomous Robots: Mechanics and Control (2^a ed.). MIT Press.

SILVA, L. C. S.; MONTEIRO, C. B. M.; RIBEIRO, M. A. C. Introdução à Visão Computacional. 2018. Disponível em: <https://www.ic.unicamp.br/~mc102/2018/projeto-visao/pdfs/VisaoComputacional.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2023.

SILVER, David et al. Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search. Nature, v. 529, n. 7587, p. 484-489, 2016.

TEGMARK, Max. Life 3.0: Being Human in the Age of Artificial Intelligence. Alfred A.