

PLATAFORMA BASEADA EM ROS2 E GAZEBO PARA AVALIAÇÃO DE CONTROLADORES EM ROBÓTICA MÓVEL COM VISÃO COMPUTACIONAL E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

1. PROBLEMA E MOTIVAÇÃO

- Necessidade de avaliação reprodutível e comparável de algoritmos de controle.
- Ausência de padronização em ambientes, robôs e condições de teste.
- Células de combustível e robôs móveis possuem dinâmica lenta e custos elevados.
- Simulação reduz custos, riscos e contribui para a redução do impacto ambiental.

OBJETIVO:

Desenvolver uma plataforma integrada baseada em ROS 2 e Gazebo para avaliar controladores em robótica móvel usando visão computacional e IA sob as mesmas condições experimentais.

2. ARQUITETURA DA PLATAFORMA



3. METODOLOGIA PROPOSTA

- Captura de imagens pela câmera embarcada.
 - Processamento da imagem (detecção da linha).
 - Cálculo do erro de rastreamento (posição da linha).
 - Controlador (PID ou TD3) gera comandos.
 - Envio de comandos de velocidade ao robô.
 - Registro de dados e cálculo de métricas quantitativas.
- Ciclo fechado de percepção-ação para o seguimento de linha.

4. MODELAGEM DO SISTEMA

ROBÔ E PLATAFORMA

- Modelo TurtleBot3 Waffle
- Câmera e IMU
- Dinâmica das rodas ajustada para resposta realista
- Limites de velocidade angular e saturação

VISÃO COMPUTACIONAL

- Pré-processamento da imagem
- Região de interesse (ROI)
- Detecção da linha (centróide)
- Estimativa de erro lateral

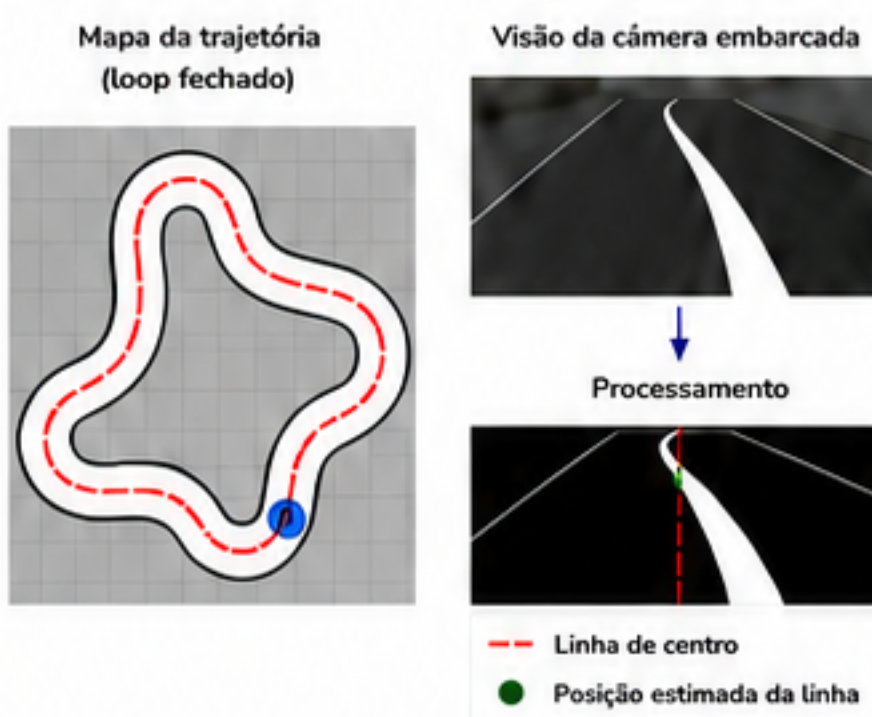
CONTROLE E IA

- Controle clássico (PID)
- Aprendizado por reforço profundo (TD3)
- Mesma interface para todos os controladores

Independente do modelo do robô: permite substituições sem impacto na arquitetura do sistema.

5. AMBIENTE EXPERIMENTAL

Tarefa de seguimento de linha em pista fechada complexa.



Dados adquiridos

- Imagens
- IMU
- Odometria
- Velocidades
- Tempo

Todos os controladores são avaliados nas mesmas condições de ambiente e parâmetros.

6. MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO

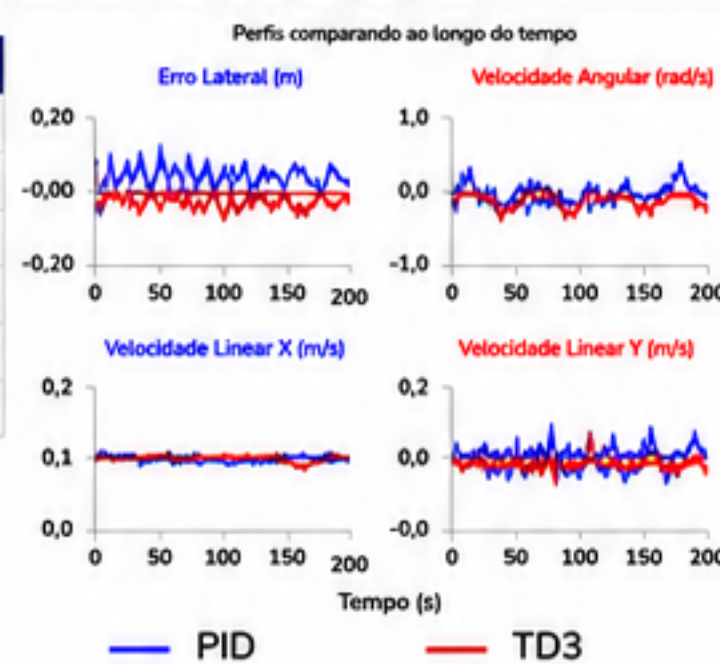
- Erro Médio Absoluto (MAE)
Erro lateral médio.
- Erro Quadrático Médio (RMSE)
Erro de magnitude.
- Overshoot
Desvio máximo da trajetória.
- Esforço de Controle
Soma da velocidade angular absoluta.
- Desvio Padrão
Estabilidade do controlador.
- Taxa de Sucesso
Percentual de execuções válidas.

Métricas calculadas automaticamente e de forma reprodutível para comparação justa entre métodos.

7. RESULTADOS: COMPARAÇÃO PID vs TD3

MÉTRICA	PID	TD3	Unid.
MAE (m)	18.68	16.91	m
RMSE (m)	28.77	28.51	m
Overshoot (m)	113.80	127.20	m
Esforço de Controle	35401.40	31939.80	-
Desvio Padrão	26.47	27.31	-
Tempo médio (s)	148	149	s

- TD3 apresenta menores erros, menos overshoot e menor esforço de controle.
- Rastreamento mais suave e comportamento mais estável.



8. CONCLUSÕES

- A plataforma proposta permite avaliação reprodutível e comparável de controladores.
- Métricas quantitativas consistentes são geradas automaticamente.
- TD3 supera o PID em precisão, estabilidade e esforço de controle.
- A arquitetura modular facilita a integração de novos algoritmos e sensores.
- A plataforma suporta a transferência para robôs reais, reduzindo o gap sim-to-real.
- Contribui para o desenvolvimento de benchmarks e pesquisas em robótica móvel.



FINANCIAMENTO

Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e do Projeto RoboPatos (APQ-02616-22)

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

DISPONIBILIDADE DE DADOS

Os dados foram publicados no próprio artigo. Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo está incluído no corpo do artigo.

LICENÇA

Este trabalho está licenciado sob Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0).

A ROS2 AND GAZEBO-BASED PLATFORM FOR THE EVALUATION OF CONTROLLERS IN MOBILE ROBOTICS WITH COMPUTER VISION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

1. PROBLEM AND MOTIVATION



Need for reproducible and comparable evaluation of control algorithms.



Lack of standardization in environments, robots and test conditions.



Mobile robots have slow dynamics and high costs.



Simulation reduces costs, risks and contributes to reducing environmental impact.



OBJECTIVE:

To develop an integrated platform based on ROS 2 and Gazebo to evaluate mobile robot controllers using computer vision and AI under the same experimental conditions.

2. PLATFORM ARCHITECTURE

INPUTS



Camera images



Environment (Gazebo)



Reference trajectory

HYBRID PLATFORM

ROS 2

CONTROL MODULE

PID or TD3 (RL)

ROBOT MODEL

TurtleBot3 Waffle

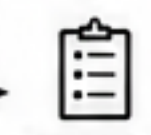
OUTPUTS



Performance metrics



Recorded data



Comparative reports



Modular architecture: controller can be swapped without changing the rest of the system.

3. PROPOSED METHODOLOGY

1



Image capture using the onboard camera

2



Image processing (line detection)

3



Calculation of trajectory tracking error (line position)

4



Controller (PID or TD3) generates commands

5



Velocity commands sent to the robot

6



Data logging and computation of quantitative metrics



Closed-loop perception-action cycle for line tracking.

4. SYSTEM MODELING

ROBOT AND PLATFORM



- TurtleBot3 Waffle model
- Camera and IMU
- Adjustable wheel dynamics for realistic response
- Limits on linear and angular velocity

COMPUTER VISION



- Image pre-processing
- Region of interest (ROI)
- Line detection (centroid)
- Lateral error estimation

CONTROL AND AI



- Classical control (PID)
- Deep reinforcement learning (TD3)
- Same interface for all controllers



Independent robot model: allows substitutions without impacting system architecture.

5. EXPERIMENTAL ENVIRONMENT

Line tracking task on a complex closed-loop track.

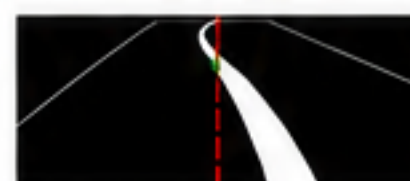
Trajectory map (closed loop)



Onboard camera view



Processing

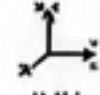


-- Center line
● Estimated line position

Collected data



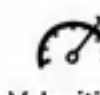
Images



IMU



Odometry



Velocities



Time

All controllers are evaluated under the same environmental conditions and parameters.

6. EVALUATION METRICS



Mean Absolute Error (MAE)
Mean lateral error.



Root Mean Square Error (RMSE)
Magnitude of the error.



Overshoot
Maximum deviation from the trajectory.



Control Effort
Sum of absolute angular velocity.



Standard Deviation
Controller stability.



Success Rate
Percentage of valid executions.



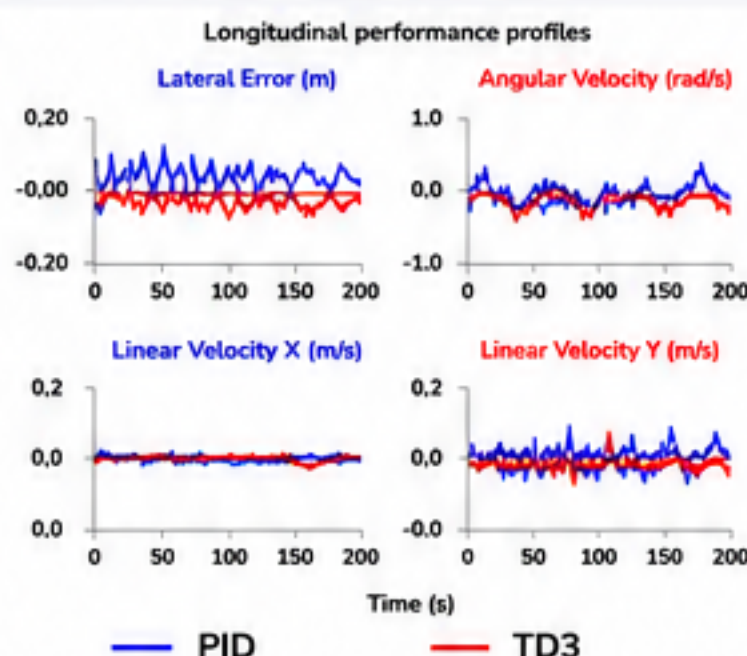
Metrics are computed automatically and reproducibly for fair comparison between methods.

7. RESULTS: PID vs TD3 COMPARISON

METRIC	PID	TD3	Unit
MAE	18.68	16.91	m
RMSE	28.77	28.51	m
Overshoot	113.80	127.20	m
Control Effort	35401.40	31939.80	-
Standard Deviation	26.47	27.31	-
Average Time (s)	148	149	s

TD3 shows lower errors, less overshoot and lower control effort.

Trajectory tracking is smoother and more stable.



8. CONCLUSIONS

- The proposed platform enables reproducible and comparable evaluation of controllers.
- Consistent quantitative metrics are generated automatically.
- TD3 outperforms PID in terms of precision, stability and control effort.
- The modular architecture facilitates the integration of new algorithms and sensors.
- The platform supports real robot transfer, reducing the sim-to-real gap.
- Contributes to the development of benchmarks and research in mobile robotics.

HYBRID PLATFORM

ROS 2

GAZEBO



RELIABLE EVALUATION
BETTER ALGORITHMS
REAL-WORLD APPLICATIONS



PREPRINTS
The manuscript is not a preprint.



FUNDING

This study was supported by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Financing Code 001, and by the RoboPatos Project (APQ-02616-22).



CONFLICT OF INTEREST
The authors declare no conflict of interest.



DATA AVAILABILITY

The data were published in the article itself. The entire dataset that supports the results of this study is included in the body of the article.



LICENSE
This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0).