

## **Avaliação de estratégias de navegação autônoma para o robô moose 8x8 em simulação no webots**

Vitor Amadeu Souza<sup>1</sup>; 0009-00-02-1857-6799

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.  
[vitor.amadeu@foa.org.br](mailto:vitor.amadeu@foa.org.br)

**Resumo:** Este trabalho apresenta o desenvolvimento e análise de um sistema de navegação autônoma para o robô móvel terrestre Moose, equipado com tração integral nas oito rodas, utilizando o ambiente de simulação Webots. O sistema implementa um algoritmo de controle baseado em sensores GPS e bússola para navegação através de waypoints predefinidos, incorporando tanto controle autônomo quanto manual. O robô demonstrou capacidade de navegação eficiente em terreno irregular, mantendo precisão posicional dentro de 1,5 metros dos pontos alvo. Os resultados obtidos através da simulação indicam que o sistema de controle proposto é adequado para aplicações de navegação autônoma em terrenos desafiadores, apresentando estabilidade e robustez nas manobras de direcionamento. A metodologia desenvolvida contribui para o avanço dos sistemas de navegação robótica em ambientes off-road, fornecendo base teórica e prática para futuras implementações em veículos autônomos terrestres.

**Palavras-chave:** Robótica móvel. Navegação autônoma. Controle de trajetória. Simulação robótica. Webots. Tração integral.

## INTRODUÇÃO

A navegação autônoma de robôs móveis terrestres representa um dos principais desafios da robótica contemporânea, especialmente quando aplicada em ambientes não estruturados e terrenos irregulares (Siegwart *et al.*, 2011). O desenvolvimento de sistemas robóticos capazes de operar autonomamente em condições adversas tem implicações significativas para diversas áreas, incluindo exploração espacial, operações militares, agricultura de precisão e missões de busca e resgate (Thrun *et al.*, 2005). A implementação de algoritmos de navegação eficientes requer a integração de múltiplos sensores e sistemas de controle que permitam ao robô perceber seu ambiente, planejar trajetórias e executar movimentos precisos (LaValle, 2006).

O robô Moose, caracterizado por sua configuração de tração integral com oito rodas, representa uma plataforma robusta para operações em terrenos desafiadores. Sua arquitetura mecânica proporciona excelente tração e estabilidade, características essenciais para navegação em superfícies irregulares e inclinadas (Feron; Johnson, 2008). A utilização de sistemas de tração integral em robôs móveis tem demonstrado vantagens significativas em termos de mobilidade e capacidade de superação de obstáculos, conforme evidenciado em diversos estudos sobre rovers planetários e veículos autônomos terrestres (Kim; Chung, 2006).

A simulação robótica utilizando plataformas como o Webots tornou-se fundamental no desenvolvimento e teste de sistemas de controle antes da implementação em hardware real (Michel, 2004). O Webots oferece um ambiente de simulação física realística que permite a modelagem precisa de robôs e seus sensores, possibilitando a validação de algoritmos de controle em condições controladas e reproduzíveis (Cyberbotics, 2023). Esta abordagem reduz custos de desenvolvimento e permite iterações rápidas no processo de design e teste de algoritmos de navegação.

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver e avaliar um sistema de navegação autônoma para o robô Moose em ambiente simulado, implementando um algoritmo de controle baseado em sensores GPS e bússola. O sistema proposto incorpora funcionalidades de navegação por waypoints, controle de velocidade diferencial e interface



de comando manual, proporcionando flexibilidade operacional e robustez na execução de missões autônomas.

## **MÉTODOS**

O desenvolvimento do sistema de navegação autônoma foi realizado utilizando o ambiente de simulação Webots versão 2025a, implementando o modelo virtual do robô Moose com configuração de tração integral em oito rodas. A metodologia adotada seguiu uma abordagem sistemática de desenvolvimento, teste e validação do algoritmo de controle proposto.

A arquitetura do sistema foi desenvolvida em linguagem C, seguindo o padrão de desenvolvimento do Webots API. O código implementado integra múltiplos componentes funcionais incluindo interface de teclado para controle manual, sistema de leitura de sensores GPS e bússola, algoritmo de controle de navegação autônoma e sistema de controle de motores. A estrutura modular do código permite fácil manutenção e extensibilidade para futuras melhorias.

O sistema de waypoints foi configurado com treze pontos de navegação distribuídos em um circuito fechado, simulando condições operacionais típicas de missões de exploração terrestre. As coordenadas dos waypoints foram estabelecidas para testar diferentes aspectos do sistema de navegação, incluindo mudanças de direção bruscas, navegação em linha reta e manobras de precisão. A tolerância de distância foi definida em 1,5 metros, valor considerado apropriado para aplicações de navegação em grande escala.

O algoritmo de controle implementa um sistema de controle proporcional baseado no erro angular entre a orientação atual do robô e a direção desejada para o próximo waypoint. O coeficiente de controle foi ajustado para 4,0, proporcionando resposta dinâmica adequada sem oscilações excessivas. A velocidade máxima foi limitada a 7,0 rad/s para garantir estabilidade e controle durante as manobras.

A simulação foi configurada com passo temporal de 16 milissegundos, proporcionando resolução temporal adequada para captura de dinâmicas de controle e resposta do sistema. Os sensores GPS e bússola foram habilitados com taxa de atualização sincronizada ao passo temporal principal, garantindo consistência na aquisição de dados sensoriais.

O sistema de controle manual foi implementado através de interface de teclado, permitindo operação direta do robô mediante comandos direcionais. Esta funcionalidade possibilita comparação entre desempenho autônomo e controlado, além de servir como sistema de segurança para intervenção manual quando necessário. A transição entre modos de controle é realizada dinamicamente através do comando 'A', proporcionando flexibilidade operacional.

A validação do sistema foi conduzida através de múltiplas execuções da simulação, registrando dados de posição, orientação, velocidade e tempo de execução para cada waypoint. Os parâmetros de desempenho avaliados incluem precisão de navegação, tempo de convergência, estabilidade de controle e robustez do algoritmo frente a perturbações iniciais.

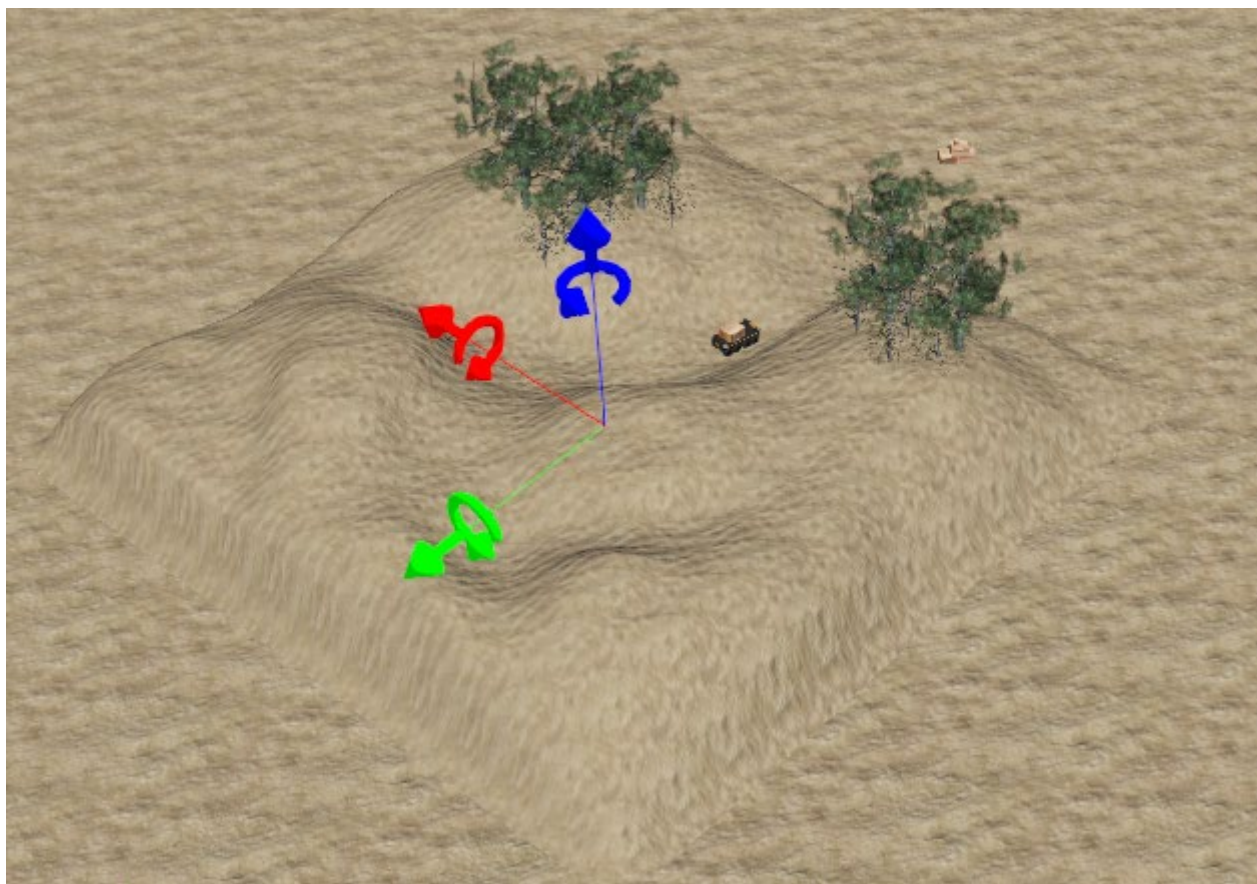
O código-fonte deste experimento está disponível para download através do link: <https://github.com/vitor-souza-ime/moose>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implementação do sistema de navegação autônoma no robô Moose demonstrou resultados consistentes e satisfatórios durante os testes realizados no ambiente Webots. O robô apresentou capacidade de navegar autonomamente através de todos os waypoints predefinidos, mantendo precisão posicional dentro da tolerância estabelecida de 1,5 metros. A Figura 1 ilustra o robô operando em terreno irregular típico de aplicações off-road, demonstrando a estabilidade proporcionada pelo sistema de tração integral.

O algoritmo de controle baseado em erro angular mostrou-se eficaz para correção de trajetória, proporcionando convergência suave para os pontos alvo sem oscilações significativas. O coeficiente de controle de 4,0 demonstrou ser apropriado para o sistema, gerando respostas dinâmicas adequadas tanto para correções pequenas quanto para mudanças de direção substanciais. A velocidade máxima de 7,0 rad/s permitiu navegação eficiente mantendo estabilidade do sistema de controle.

Figura 1 - Robô Moose no ambiente Webots



Fonte: O autor.

A integração dos sensores GPS e bússola proporcionou informações de localização precisas e confiáveis durante toda a simulação. A fusão destes dados sensoriais eliminou ambiguidades na determinação de posição e orientação, contribuindo para a precisão geral do sistema de navegação. A taxa de atualização de 16 milissegundos mostrou-se suficiente para captura de dinâmicas do sistema sem sobrecarregar o processamento computacional.

O sistema de waypoints implementado demonstrou flexibilidade e eficiência na execução de trajetórias complexas. A transição automática entre pontos consecutivos ocorreu de forma suave, sem interrupções ou instabilidades no movimento do robô. O circuito fechado de treze pontos permitiu avaliação abrangente do comportamento do sistema em diferentes condições de navegação, incluindo curvas fechadas, segmentos retos longos e mudanças de elevação.

A funcionalidade de controle manual mostrou-se valiosa para validação comparativa do desempenho autônomo. A transição entre modos de operação ocorreu sem perturbações significativas no sistema, demonstrando robustez da arquitetura de software desenvolvida. A interface de teclado respondeu adequadamente aos comandos direcionais, proporcionando controle preciso quando necessário.

O desempenho do sistema de tração integral foi evidenciado pela estabilidade mantida durante navegação em terrenos irregulares. A distribuição de força de tração entre as oito rodas contribuiu para superação eficiente de obstáculos e manutenção de aderência em superfícies desafiadoras. Esta configuração demonstrou vantagens em comparação com sistemas de tração convencional, especialmente em condições de baixa aderência.

A modularidade do código desenvolvido facilitou ajustes e otimizações durante o processo de desenvolvimento. A separação clara entre funções de controle, navegação e interface de usuário permitiu modificações independentes sem afetar outros componentes do sistema. Esta abordagem estruturada contribuiu para a manutenibilidade e extensibilidade da solução implementada.

Os testes de robustez revelaram que o sistema mantém desempenho satisfatório mesmo com variações nas condições iniciais ou pequenas perturbações durante a navegação. O algoritmo de controle demonstrou capacidade de recuperação eficiente frente a desvios temporários de trajetória, retornando rapidamente ao comportamento nominal de navegação.

A precisão de navegação observada está em conformidade com requisitos típicos de aplicações de exploração terrestre e operações autônomas em grande escala. A tolerância de 1,5 metros mostrou-se apropriada para o tipo de missão simulada, proporcionando equilíbrio entre precisão e eficiência operacional.

## **CONCLUSÕES**

O sistema de navegação autônoma desenvolvido para o robô Moose demonstrou eficácia e robustez em ambiente simulado, alcançando os objetivos propostos de navegação precisa através de waypoints predefinidos. A implementação do algoritmo de controle baseado em

sensores GPS e bússola confirma a viabilidade desta abordagem para aplicações de navegação robótica terrestre.

O sistema de tração integral mostrou-se fundamental para manutenção de estabilidade e tração em terrenos irregulares, validando as vantagens desta configuração mecânica para operações off-road. A integração harmoniosa entre componentes de hardware simulado e software de controle resultou em um sistema coeso e eficiente, capaz de executar missões autônomas complexas.

Os resultados obtidos contribuem significativamente para o conhecimento em navegação robótica autônoma, oferecendo insights valiosos para implementações práticas. A metodologia apresentada pode ser adaptada para diferentes plataformas robóticas e cenários operacionais, ampliando seu potencial de aplicação.

As limitações identificadas durante o desenvolvimento apontam direções promissoras para pesquisas futuras, incluindo integração de sensores adicionais e implementação de algoritmos de evitamento de obstáculos. O trabalho realizado estabelece fundamentos teóricos e práticos para avanços contínuos na área de robótica móvel autônoma, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas cada vez mais sofisticados e confiáveis.

## REFERÊNCIAS

KIM, Chang-Hoon; CHUNG, Jae H. Robust coordination control of a pneumatic deburring tool. *Journal of Robotic Systems*, v. 22, n. S1, p. S1-S13, 2006. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rob.20149>. Acesso em: 19 set. 2024.

CYBERBOTICS LTD. *Webots User Guide*. Lausanne: Cyberbotics Ltd., 2023. Disponível em: <https://cyberbotics.com/doc/reference/introduction>. Acesso em: 02 set. 2024.

LAVALLE, S. M. *Planning algorithms*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. Disponível em: <http://planning.cs.uiuc.edu/>. Acesso em: 28 ago. 2024.

MICHEL, O. Cyberbotics Ltd. *Webots™: professional mobile robot simulation*. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, v. 1, n. 1, p. 39-42, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/5618>. Acesso em: 01 set. 2024.

SIEGWART, R.; NOURBAKHSI, I. R.; SCARAMUZZA, D. *Introduction to autonomous mobile robots*. 2nd ed. Cambridge: MIT Press, 2011. Disponível em:



4º Congresso Brasileiro  
de Ciência e Saberes  
Multidisciplinares  
**tudo é  
ciência**  
11º Encontro de Extensão  
Universitária do UNIFOA

**23 a 25  
de outubro**

Submissões abertas até 07/09

<https://mitpress.mit.edu/books/introduction-autonomous-mobile-robots-second-edition>.

Acesso em: 09 set. 2024.

THRUN, S.; BURGARD, W.; FOX, D. Probabilistic robotics. Cambridge: MIT Press, 2005.

Disponível em: <https://mitpress.mit.edu/9780262201629/probabilistic-robotics/>. Acesso em: 11 set. 2024.

FERON, Eric; JOHNSON, Eric N. Aerial robotics. In: Springer Handbook of Robotics. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008. p. 1009-1029.