

# Mapeamento e Navegação de Veículos Terrestres em Ambientes Externos

Jhorlen Souza Bianor<sup>1</sup>, Felipe Gomes de Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia (ICET) - Universidade Federal do Amazonas (UFAM) - Itacoatiara - AM - Brasil

jhorlen.bianor@ufam.edu.br, felipeoliveira@ufam.edu.br

**Resumo.** *A navegação autônoma de veículos terrestres em ambientes externos é um desafio crucial, especialmente em regiões desconhecidas. Este estudo propõe um sistema de navegação para veículos terrestres com rodas que integra os algoritmos RRT e Dijkstra. O algoritmo RRT gera uma árvore probabilística que representa possíveis trajetórias para o robô alcançar seu objetivo. Enquanto o algoritmo Dijkstra encontra a trajetória ótima dentre o conjunto de possíveis caminhos gerados pelo algoritmo RRT. Experimentos em ambientes simulados demonstraram que essa abordagem navega com precisão e eficiência em ambientes externos complexos e evitando colisões.*

## 1. Introdução

A robótica, ciência e tecnologia do desenvolvimento de sistemas robóticos autônomos, vem evoluindo desde a década de 60, resultando em robôs cada vez mais sofisticados. Inicialmente voltados para tarefas industriais, agora são capazes de executar uma ampla gama de atividades, desde as simples até as complexas. Além de movimentos precisos, modernos robôs detectam obstáculos e interagem com seres humanos de maneira segura, possibilitando uma navegação de alto desempenho [Lynch et al., 2015].

O mapeamento e a navegação autônoma de veículos com rodas em ambientes desconhecidos são desafios complexos na robótica, uma vez que podem conter superfícies acidentadas, obstáculos variados e terrenos íngremes. Com o intuito de superar esses desafios e garantir a segurança e eficiência da navegação, utilizamos tecnologias como modelagem cinemática, sensores avançados, mapeamento preciso, controle adaptativo, tração nas rodas e planejamento de trajetória [Thrun et al., 2005].

O sucesso do projeto viabiliza a aplicação potencialmente benéfica do veículo em tarefas de natureza industrial. Por exemplo, o veículo poderia ser utilizado para transportar materiais em fábricas ou para realizar inspeções em locais de difícil acesso.

Este projeto visa criar uma navegação autônoma segura para veículos em ambientes desconhecidos, utilizando algoritmos de mapeamento e planejamento de rota. Diferentes técnicas serão combinadas para otimizar o desempenho, com foco inicial na navegação e planejamento de rota usando um simulador preciso para fornecer a localização do veículo e o mapa do ambiente.

## 2. Trabalhos Relacionados

LaValle et al. (2015) propõem um algoritmo de planejamento de movimento para rovers de seis rodas em terrenos irregulares, usando campos potenciais. Ao considerar forças de atração, repulsão, tangencial e gradiente, o método calcula a força de gradiente com

base nos ângulos do veículo. Comparando trajetos gerados, concluíram que o método proposto é mais eficaz em terrenos irregulares.

Jeddisaravi et al. (2016) propõem um algoritmo A\* multi-objetivo para robôs móveis em exploração planetária. O algoritmo busca caminhos curtos e seguros, considerando métricas como distância, dificuldade do terreno e risco de colisão. Os autores introduzem uma função de custo ponderada, confirmada por simulações em dois cenários distintos.

Nascimento (2020) otimiza a logística de transporte de soja do Mato Grosso para os portos, destacando aprimoramentos no algoritmo de Dijkstra para reduzir custos logísticos no transporte rodoviário. Utiliza a teoria dos grafos para identificar cidades produtoras, aplicando o algoritmo de Dijkstra na otimização da malha rodoviária até os portos de exportação.

### **3. Metodologia**

A robótica, fascinante na criação e aplicação de robôs em diversas tarefas, torna-se cada vez mais presente em nosso dia a dia, abrangendo desde a limpeza doméstica até procedimentos cirúrgicos. As aplicações de robôs móveis despertam interesse na indústria, impulsionando a exploração de técnicas de navegação autônoma. Este trabalho aborda o mapeamento e planejamento de caminhos para a navegação autônoma de veículos terrestres, passando por cinco etapas visualizadas abaixo.

#### **3.1. Percepção**

A percepção é crucial na robótica, permitindo que os robôs obtenham informações sobre o ambiente através de sensores. Em veículos móveis, os sensores atuam como "sentidos", essenciais para estimar a localização do robô. Embora sensores como GPS, IMU, Encoder, Laser e Câmera possam ser usados no projeto, inicialmente, a percepção não foi considerada, mesmo que seja uma ferramenta vital para o funcionamento global do veículo [Wilson, J. S. 2005].

#### **3.2. Localização**

A localização é essencial para robôs móveis, tanto para navegação quanto para tarefas específicas. Ela é realizada por meio da combinação de diferentes sensores como encoder, IMU e laser [Bailey, T. 2002]. Mas nesta fase do processo a localização do robô é fornecida pelo simulador.

#### **3.3. Mapeamento**

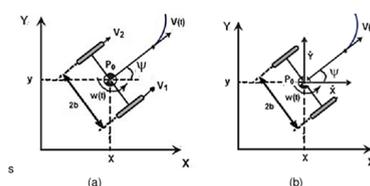
O mapeamento do robô móvel cria uma representação métrica do ambiente. Inicialmente, o mapa é manualmente elaborado em ferramentas de design, gerando uma imagem em "jpg/png" que é convertida para o formato PGM (Portable Graymap). O PGM armazena imagens 2D em escala de cinza, onde preto indica obstáculos, cinza representa áreas desconhecidas e branco indica caminho livre. Futuramente, o mapeamento será realizado por sensores de distância (laser e câmera), usando a técnica de Grade de Ocupação, que divide o ambiente em células classificadas como livre, ocupada ou desconhecida [Stachniss, C., & Burgard, W., 2008].

#### **3.4. Planejamento de Caminho**

O planejamento de caminho é crucial para a locomoção eficiente e segura de robôs móveis. Neste trabalho, são utilizadas as técnicas: i) Árvore aleatória de exploração rápida (RRT), para gerar pontos e formar o grafo de navegação do robô [Correll et al., 2019]; e ii) o algoritmo Dijkstra, que encontra o caminho mais curto entre dois pontos no grafo [Cormen et al., 2009]. O RRT explora aleatoriamente o espaço, criando uma árvore de trajetórias até o ponto desejado, enquanto o Dijkstra procura o caminho ótimo dentro dessa estrutura [Laumond, J. P., 2018].

### 3.5. Controle

O controle é um aspecto crucial da robótica, pois permite que os robôs naveguem e se movam com precisão em seu ambiente. No contexto deste trabalho, o controle é baseado no modelo cinemático diferencial, que descreve o movimento de um veículo terrestre com rodas. A Figura 1 apresenta um exemplo de representação do modelo cinemático diferencial.



**Figura 1. Representação do modelo cinemático diferencial.**

O modelo cinemático diferencial é um método matemático que permite calcular como o robô deve ajustar as velocidades de suas rodas para realizar movimentos desejados. É essencial para a navegação autônoma, pois permite que o robô evite colisões e execute manobras complexas [Spong et al., 2006].

Para otimizar o desempenho do veículo, desenvolvemos códigos para planejamento de caminho e navegação na linguagem de programação Python, e criamos mapas específicos. Os códigos são modulares e usam uma biblioteca com funções fundamentais, como renderização de mapas, identificação de caminhos livres e obstruídos, e criação de grafos.

O planejamento de caminho segue os passos: i) Ler e transformar o mapa em um mapa de bits; ii) Mapear o mapa de bits em um plano cartesiano; iii) Identificar espaços livres e obstruídos no plano; iv) Gerar pontos aleatórios nos espaços livres e construir um grafo; v) Aplicar o algoritmo de Dijkstra para determinar o melhor caminho. O resultado é um grafo com a rota ideal para a navegação.

Para começar a navegação, uma automação é criada para inicializar o ROS, carregar o mapa e os códigos, fornecendo as coordenadas de início e fim da trajetória. Isso inicia a simulação, permitindo que o veículo siga o caminho determinado pelo algoritmo de Dijkstra.

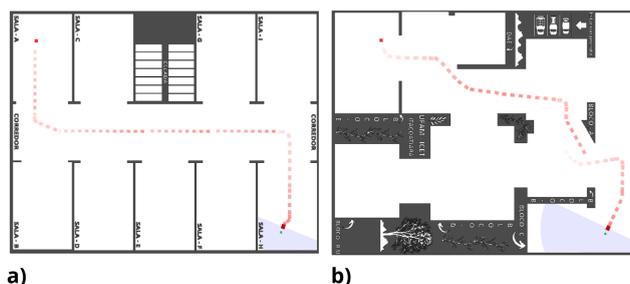
## 5. Resultados e Discussões

Para validar a metodologia proposta foram realizados experimentos simulados que visam reproduzir condições e cenários reais de navegação. Nos ambientes simulados foram utilizados mapas criados para reproduzir ambientes internos e externos do

Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia (ICET). Os experimentos foram conduzidos utilizando o framework ROS, que fornece recursos essenciais para criar software para robôs. No caso deste trabalho, foi utilizado o simulador Stage, que permite trabalhar com um mapa fornecido. Mesmo com o mapa fornecido, é importante observar cuidadosamente as etapas a serem seguidas para a execução bem-sucedida do processo.

Nos experimentos foram avaliados os comportamentos do robô terrestre durante sua navegação autônoma. Para isso, foram definidas coordenadas de início e fim da navegação, onde o veículo deveria executar todo o conjunto de ações proposto na metodologia. Em ambos os experimentos, o planejamento de caminho foi realizado com as técnicas RRT e Dijkstra, e o modelo cinemático diferencial foi usado para controlar o veículo ao longo da trajetória planejada. Após a execução dos experimentos foi possível observar a viabilidade de aplicação, onde o veículo foi capaz de se deslocar de maneira autônoma e eficiente em diferentes cenários.

A Figura 2 mostra o exemplo sequencial do deslocamento do veículo, ilustrando o uso do RRT em conjunto com o Dijkstra e a aplicação do modelo cinemático diferencial desde a posição de partida até a posição de chegada.



**Figura 2. Desempenho do modelo cinemático diferencial com origens e destinos variados, em cenários diferentes.**

Em um conjunto de experimentos utilizando o simulador Stage no ambiente ROS, foi desenvolvido um método para planejamento de trajetórias e controle de veículos de rodas. O método utiliza o modelo cinemático diferencial e métodos como o RRT e o algoritmo de Dijkstra para otimizar a navegação do veículo e garantir que ele siga de maneira precisa os pontos da trajetória estabelecida.

## 6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Os experimentos solidificaram a compreensão teórica e sua aplicação prática, validando a viabilidade do método e gerando conhecimento operacional para cenários reais. O algoritmo demonstra amplo potencial em várias áreas da indústria e sociedade, promovendo aumento da produtividade, segurança e eficiência. Os experimentos no ROS validaram a robustez da metodologia, estabelecendo uma base sólida para implementação prática na navegação autônoma de veículos terrestres. A atenção meticulosa às etapas é crucial para garantir o sucesso da transição da teoria para a prática. Como trabalhos futuros, os algoritmos implementados serão aplicados em cenários reais para navegação autônoma, e o algoritmo SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) será empregado para mapeamento e estimação de localização em ambientes reais.

## Referências

- Bailey, T. (2002) “Mobile Robot Localisation and Mapping in Extensive Outdoor Environments”. PhD thesis, University of Sydney.
- Choset, H.; Lynch, K. M.; Hutchinson, S.; Kantor, G. A.; Burgard, W.; Kavraki, L. E. & Thrun, S. (2005) “Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations”. MIT Press.
- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. (2009) “Introduction to Algorithms (3<sup>a</sup> ed.)”. MIT Press.
- Correll, N., Hayes, B., & Klaptocz, A. (2019) “Introduction to autonomous robots”. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Jeddisaravi, K., Alitappeh, R., and Guimarães, F. (2016) “Multi-objective mobile robot path planning based on A\* search. In Computer and Knowledge Engineering (ICCKE)”, 2016 6th International Conference on, 7–12. IEEE.
- Laumond, J. P. (2018) “Robot motion planning and control”. Cham, Switzerland: Springer.
- LaValle, S. M., & Kuffner Jr, J. J. (2015) “Sampling-Based Algorithms for Optimal Motion Planning”. Morgan Kaufmann Publishers.
- Nascimento, R. A. (2020) “Implementação de um algoritmo para solução do caminho de custo mínimo na logística aplicada ao transporte rodoviário de soja do estado de Mato Grosso”. Brazilian Journal of Business, Curitiba, 2(3), 3128-3141.
- Spong, M. W., Hutchinson, S., & Vidyasagar, M. (2006) “Robot Modeling and Control”. John Wiley & Sons.
- Stachniss, C., & Burgard, W. (2008) “Robot mapping: A survey”. Foundations and Trends® in Robotics, 1(1–2), 1-233.
- Thrun, S., Burgard, W., & Fox, D. (2005) “Probabilistic robotics. Cambridge”. MA: MIT Press.
- Wilson, J. S. (2005) “Sensor technology handbook”. Oxford, UK: Elsevier.