

# DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE CONTROLADOR PARA MANUTENÇÃO DE FAIXA NA FORMAÇÃO DE COMBOIO

<sup>1</sup>Vinicius Pereira Silva, <sup>2</sup>André de Souza Mendes

<sup>1,2</sup>Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Universitário FEI

[unievinsilva@fei.edu.br](mailto:unievinsilva@fei.edu.br), [asmendes@fei.edu.br](mailto:asmendes@fei.edu.br)

**Resumo:** Esta pesquisa tem como objetivo implementar o controle lateral de veículos automatizados que trafegam em formação de comboio. O foco deste projeto é desenvolver o controle da dinâmica lateral do veículo para manutenção de faixa. A plataforma consiste em um carro rádio controlado modificado para funcionar como um veículo autônomo, uma esteira e um microcontrolador, além de sensores de distância fixados no chassi do veículo. A análise de desempenho é realizada em uma esteira ergométrica.

## 1. Introdução

No Brasil, uma grande parte do transporte de cargas é realizada por rodovias, com mais de 2 milhões de veículos autorizados para esse fim [1]. Atualmente, as indústrias automotivas têm intensificado seus esforços para desenvolver tecnologias que reduzam ou eliminem essas emissões excessivas de CO<sub>2</sub>. A formação de comboios veiculares está entre as medidas comercialmente viáveis para atender às demandas de transporte de mercadoria [2]. A coordenação de veículos em um comboio consiste no planejamento prévio para que diferentes veículos entrem em formação ou deixem o comboio levando em consideração as suas rotas e destino final, essa configuração proporciona uma significativa redução no consumo de combustível, devido à pequena distância longitudinal de tráfego entre os veículos juntamente ao alinhamento lateral dos componentes do comboio, que permite melhorar a eficiência do fluxo de ar no conjunto, reduzindo o coeficiente de arrasto aerodinâmico [3].

## 2. Revisão Bibliográfica

O controlador lateral é projetado para melhorar a estabilidade, a segurança e condução dos veículos, em [4] são apresentados três tipos de sistemas de controladores laterais, desenvolvidos com intuito de auxiliar o sistema de direção. O primeiro deles é o sistema de aviso de saída de faixa (LDWS), trata-se de um sistema que é responsável por monitorar a posição de um veículo em relação a sua faixa de rodagem fornecendo um aviso caso o veículo estiver prestes a sair dela. O segundo é o sistema de manutenção de faixa (LKS), este por sua vez controla automaticamente a direção do veículo para mantê-lo dentro da faixa e fazer ajustes contínuos conforme o veículo percorra o trajeto proposto. Por fim, temos o sistema de controle de estabilidade em curvatura, este controlador auxilia na manutenção da estabilidade do veículo durante curvas, prevenindo derrapagens e giros excessivos.

Uma aplicação é vista em [5], onde é desenvolvido uma estratégia para melhorar o sistema de aviso de saída de faixa (LDWS) determinando o ângulo e a direção de desvio para prever a saída de faixa da trajetória do

veículo autônomo. Em [6] é apresentada uma plataforma de baixo custo utilizando um veículo de pequena escala para a tarefa de *obstacle avoidance using firefly algorithm*. A plataforma conta com sensores ultrassônicos de distância na dianteira e lateral do carro, e um microcontrolador Arduino é responsável pelos comandos da lei de controle.

## 3. Metodologia

O veículo proposto conta com a montagem de um protótipo em escala (1/10). Para tal, será utilizado um carro rádio controlado modificado para funcionar como um veículo autônomo. O modelo escolhido foi o Traxxas Slash 4x4 Ultimate, que dispõe de um chassi com motor e sistema de direção, além de uma alimentação com bateria embarcada.

Como controlador principal, foi utilizado o Arduino MEGA, junto com dois sensores de distâncias ultrassônicas posicionados na lateral do veículo. Esses sensores fornecem informações de distância em tempo real, permitindo a aplicação do controlador lateral através do microcontrolador. Dessa maneira, é possível obter a posição lateral e a orientação em relação ao anteparo. A posição é obtida através da média das distâncias medidas pelos dois sensores ultrassônicos, enquanto a orientação do veículo é descrita pela diferença entre as duas distâncias medidas pelos dois sensores. A figura 1 mostra a disposição dos componentes junto com as principais grandezas monitoradas.

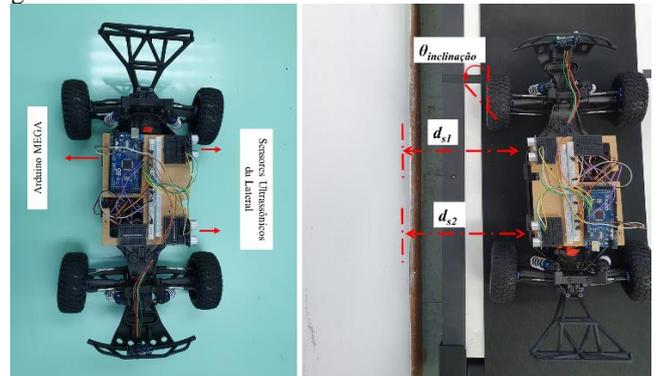


Figura 1 - Disposição dos componentes e principais grandezas.

As análises de desempenho foram feitas com o auxílio de uma esteira ergométrica. A avaliação do controlador lateral visa um estudo da manutenção da distância do veículo em relação a uma barreira lateral contínua. Utilizando esta metodologia, o veículo deve ser capaz de manter uma distância pré-determinada ( $d_{des}$ ) e constante da barreira para a tarefa de manutenção de faixa em um comboio.

O controle lateral é realizado considerando duas grandezas importantes: a distância lateral entre o veículo e a parede e o ângulo da inclinação do carro em relação ao anteparo. A equação 1 influencia a estabilidade e a trajetória do veículo.

$$u = (K_{\text{ângulo}} \cdot \theta_{\text{inclinação}}) + (K_{\text{lateral}} \cdot e) \quad (1)$$

Essa equação determina a posição do servo motor ( $u$ ) do veículo, onde  $K_{\text{ângulo}}$  é o ganho ajustado associado ao ângulo de inclinação,  $\theta_{\text{inclinação}}$  é a medida desse ângulo conforme o veículo se afasta ou se aproxima do obstáculo,  $K_{\text{lateral}}$  é o ganho ajustado associado as distâncias medidas pelos dois sensores dispostos na lateral do veículo, e  $e$  é a diferença entre a distância pré-determinada ( $d_{\text{des}}$ ) e a média das distâncias ( $d$ ) medidas pelos dois sensores laterais. Com base nessa equação, o veículo pode ajustar sua trajetória e manter uma posição de equilíbrio.

Adicionalmente, com intuito de acomodar os componentes e circuitos eletrônicos na estrutura do veículo, também foi projetado uma plataforma elevada (Figura 2) no chassi, de modo que os elementos de controle estejam situados logo acima dos elementos originais do veículo.

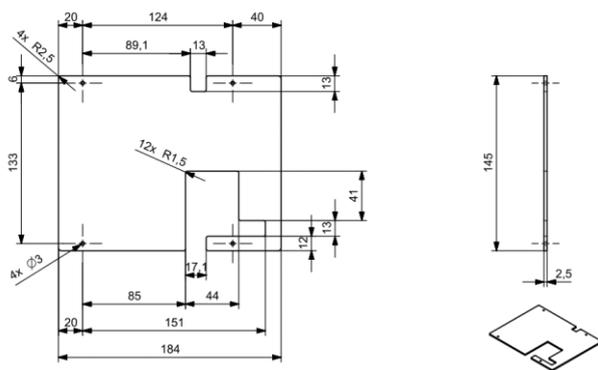


Figura 2 - Plataforma elevada.

#### 4. Resultados Parciais

Para avaliar o desempenho do controlador, foram realizados diversos testes em bancada e na esteira. Inicialmente, os testes em bancada tiveram como principal objetivo validar o código implementado no Arduino e confirmar a precisão das leituras dos sensores ultrassônicos durante a aproximação e afastamento de obstáculos. Além disso, buscou-se compreender a influência dos parâmetros de ganho sobre o controlador lateral, permitindo a determinação de valores empíricos adequados.

As verificações foram conduzidas com o veículo suspenso sobre uma mesa, onde, à medida que se aproximava ou se afastava da parede, o controlador acionava o servomotor para corrigir a trajetória. O vídeo correspondente ao experimento pode ser acessado em: <https://youtu.be/GOmfkKqGo0Y>.

Os testes em bancada apresentaram um desempenho satisfatório, e após a calibração do código, foram realizados experimentos com o veículo sobre a esteira ergométrica em diferentes velocidades. Observou-se que

o veículo conseguia manter uma posição de equilíbrio, demonstrando bom desempenho na tarefa de seguimento de referência.

No entanto, ao enfrentar perturbações, como pequenos deslocamentos laterais, o sistema mostrou limitações em sua capacidade de corrigir a trajetória de maneira eficaz. Um exemplo desses ensaios pode ser visto em: <https://youtu.be/kA1ShC1N-TI>.

Esses resultados apontam para a necessidade de um refinamento nos parâmetros de controle. Nas próximas etapas da pesquisa, esses ajustes serão realizados para aprimorar o desempenho do sistema.

#### 5. Conclusões

Apesar dos resultados iniciais serem satisfatórios, uma análise mais detalhada revela a necessidade de várias melhorias para tornar o controlador do veículo mais confiável e eficiente.

Como etapas futuras da pesquisa, pretende-se aprimorar o controle lateral por meio de um estudo aprofundado de controladores que representem com o comportamento lateral do veículo. Além disso, os parâmetros de ganho devem ser refinados para melhorar a resposta do controlador em diferentes condições de perturbação.

É fundamental incorporar dispositivos que permitam a coleta de dados para verificações dos resultados obtidos. Além disso, é importante melhorar o hardware do sistema, incluindo uma fixação adequada dos sensores e do microcontrolador no chassi, a fim de minimizar vibrações que possam comprometer a precisão das leituras de distância. A esteira ergométrica também deve ser ajustada ou ampliada para garantir uma movimentação mais estável, proporcionando condições mais representativas para a operação do veículo.

#### 6. Referências

- [1] Confederação Nacional do Transporte. (2021) *ANUÁRIO CNT DO TRANSPORTE 2021*.
- [2] Liang, K.-Y., Deng, Q., Martensson, J., Ma, X., & Johansson, K. H. (2015). *2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, 150–155.
- [3] Mendes, A. S.; Ackermann, M.; Leonardi, Fabrizio. and Fleury, A. T. (2017). *Heavy-duty truck platooning: A review*. 24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering.
- [4] R. RAJAMANI. *Vehicle Dynamics and Control*. [S.l.]: Springer, 2006.
- [5] Anbalagan, S.; Srividya, P.; Thilaksurya, B.; Senthivel, S.G.; Suganeshwari, G.; Raja, G. (2023). *Vision-Based Ingenious Lane Departure Warning System for Autonomous Vehicles*. *Sustainability* 2023, 15, 3535.
- [6] I. Bogrekci, P. Demircioglu, and M. Y. Goren. (2024). *Low-Cost Small Scale Autonomous Vehicle*. *Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent*.

#### Agradecimentos

À instituição FEI pelo auxílio financeiro e por toda a infraestrutura necessária para a realização do projeto.

<sup>1</sup> Aluno de IC do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 02/2024 a 01/2025.