

SAVIPS: Uma Infraestrutura Veicular Autônoma em Pequena Escala para ADAS

Alexsandro Coelho
Centro de Informática
Universidade Federal de Pernambuco
Recife, Brazil
afc7@cin.ufpe.br

Abel G. Silva-Filho
Centro de Informática
Universidade Federal de Pernambuco
Recife, Brazil
agsf@cin.ufpe.br

Abstract—Traffic accidents are a leading cause of global mortality, with 1.35 million fatalities and 50 million injuries annually, mainly due to human error, such as recklessness and alcohol use. This paper presents SAVIPS, a small-scale autonomous vehicle infrastructure to test Advanced Driver Assistance Systems (ADAS), enabling the validation of safety features without the costs and risks of full-scale vehicle testing. The infrastructure integrates speed sensors, cameras, and communication modules for real-time evaluation. Despite limitations in results, such as 14-hour battery life and ± 3 degrees lateral control accuracy, they validate component efficiency. Intra-vehicle communication used 0.309% of the CAN bus capacity, and inter-vehicle communication showed high reliability, with one packet lost per 250 transmitted. These results highlight the potential of scaled models in advancing autonomous technologies and improving road safety.

Index Terms—Autonomous Vehicles, Electronic Control Units (ECU), Advanced Driver Assistance Systems, Small-scale Vehicles

I. INTRODUÇÃO

Os acidentes rodoviários são uma das principais causas de morte no mundo, com cerca de 1,35 milhão de fatalidades e 50 milhões de feridos anualmente, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) [1]. No Brasil, a Confederação Nacional do Transporte (CNT) [2] registrou 64.452 acidentes e 5.391 mortes em 2022. Mais de 60% dos leitos do Sistema Único de Saúde (SUS) são ocupados por vítimas de acidentes, principalmente devido a erros humanos, como imprudência e uso de álcool [3]. Em resposta, universidades e empresas têm desenvolvido sistemas de condução autônoma e melhorias tecnológicas utilizando sistemas embarcados, comunicação sem fio e Inteligência Artificial (IA) [4].

As Unidades de Controle Eletrônico (ECU) integram componentes veiculares por meio de barramentos como CAN e *ethernet* automotiva, essenciais para o Transporte Inteligente (ITS). A literatura menciona vários tipos de comunicação entre veículos em cidades inteligentes, como V2V (*vehicle-to-vehicle*) e V2I (*vehicle-to-Infrastructure*), que melhoram significativamente o tráfego, com um aumento de até 27,3% na eficiência, conforme [5]. Veículos equipados com sensores (câmeras, GPS, LiDAR, Radar) formam os sistemas ADS (Sistemas de Direção Automatizada) e ADAS (Sistemas Avançados de Assistência ao Motorista) [6], gerando dados em tempo real para aumentar a segurança nas rodovias.

Veículos inovadores aprimoram serviços como logística e segurança, enquanto aplicações em escala reduzida oferecem menor custo e maior controle [7]. A SAE [8] classifica a automação veicular em seis níveis, de 0 a 5, variando em complexidade e sensores. Dentre as aplicações ADAS, destacam-se o Controle de Cruzeiro Adaptativo (ACC), Controle Eletrônico de Estabilidade (ESC) e o Sistema de Manutenção de Faixa (LKAS). Este trabalho apresenta o SAVIPS, uma infraestrutura veicular autônoma em escala 1/4, para testes das tecnologias ADAS e ADS de forma segura e controlada, com custos reduzidos.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Em [9], foi desenvolvido um protótipo em escala 1/20 com LiDAR, câmera Pi, sensores RGB, Arduino MEGA 2560, GPS e Raspberry Pi 3B+. O sistema usa três sensores de cor para identificar faixas e pedestres, mas sua especificidade limita a detecção de objetos, comprometendo a segurança, já que esses sensores não oferecem robustez ou confiabilidade.

Os estudos de [10] e [11] aplicam plataformas MEMS com chassis Traxxas nas escalas 1/20 e 1/10, respectivamente. Em [10], o sistema usa uma NVIDIA, Ydlidar G4 e câmera estéreo ZED, com Ubuntu 18.04 e ROS, e uma ferramenta OpenCV para gerar mapas virtuais de estacionamento e calcular o percurso do veículo.

Já em [11], foram utilizados um Jetson Xavier e Arduino MEGA 2560 com controladores PID para direção e rastreamento de faixa, além de uma câmera para reconhecimento de sinais, destacando-se pela eficiência e integração precisa dos sensores. O estudo de [12] aplicou controladores PID para direção, aceleração e frenagem em um JEEP Wrangler em escala 1/4, usando Arduino Nano e Matlab/Simulink. Embora tenha demonstrado a importância do PID, o trabalho não aplicou sistemas ADAS devido à falta de câmeras e radares, limitando sua eficácia na assistência ao motorista.

III. IMPLEMENTAÇÃO DO SAVIPS

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma infraestrutura em escala reduzida que permite a análise e validação de funções ADAS. A seguir, detalhamos as etapas de implementação do SAVIPS.

A. Definição da Plataforma do SAVIPS

Foi feito um estudo para selecionar a melhor plataforma, considerando sensores, funções ADAS, escala, Computação de Alto Desempenho (HPC) e custo. A Tab. I resume as principais características dos trabalhos sobre veículos autônomos em pequena escala, comparando-os com a proposta deste estudo.

TABELA I
COMPARATIVO DO TRABALHOS RELACIONADOS

Fonte	Sensores	ADAS	Escala	HPC
[9]	Sonares, LiDAR, GPS, Câmera	OD, LKAS	1/20	Raspberry Pi
[10]	LiDAR, Câmera, IMU	OD	1/20	Jetson TX2
[11]	Câmera, Sonares	OD	1/10	Jetson Xavier
[12]	Encoder, Potenciômetro	LKAS, AEBS	1/4	-
(Autor, 2023)	Encoder, Radar, Potenciômetro, Câmera	OD, AEBS, LKAS, ACC	1/4	Jetson Orin

Os estudos revisados utilizam sensores de baixo custo, mas enfrentam desafios de processamento de dados e limitação de velocidade, especialmente em tráfego real. Este artigo se diferencia pelo uso de sensores avançados, como câmeras estereoscópicas, radar de ondas milimétricas e sistemas de controle. O modelo Jeep Bandeirantes (Fig. 1) foi escolhido por seu espaço interno, tração traseira e capacidade de esterçamento, facilitando a integração dos circuitos para medir velocidade, ângulo de direção e funções ADAS.



Fig. 1. Veículo elétrico em escala reduzida.

B. Definição da Arquitetura do SAVIPS

A arquitetura foi definida com a seleção de componentes eletrônicos e tecnologias para veículos em diferentes escalas. A Fig. 2 ilustra a arquitetura do SAVIPS, que inclui: (i) sistema de alimentação, (ii) controle lateral e longitudinal, (iii) ECU de comunicação, (iv) sistema ADAS e (v) gateway.

C. Sistema de Alimentação

O Jeep Wrangler original possui um sistema elétrico simples, alimentado por uma bateria de chumbo-ácido de 12/7Ah, com autonomia de até 45 minutos. Para implementar o SAVIPS, foi necessário adaptar o sistema elétrico, dado o consumo estimado de 24A, que tornava a bateria original inviável.

Dessa forma, duas baterias estacionárias de 12/45Ah foram instaladas: uma para a rede 220VAC e outra para 12/5VDC. Um inversor de onda senoidal pura, com pico de 1000W e

a eficiência de até 95%, foi escolhido para a rede AC. Um conversor DC/DC *step down* reduz a tensão de 12V para 5V, alimentando as ECUs e sensores.

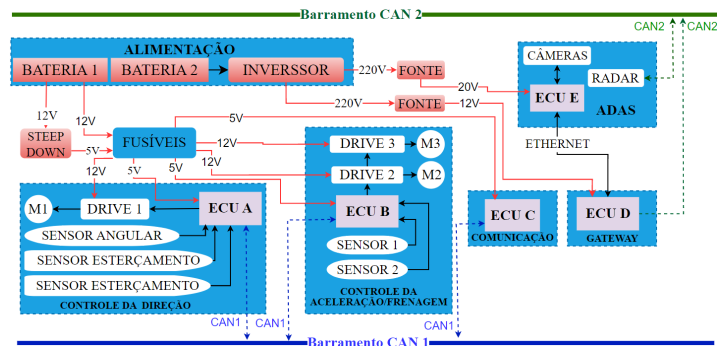


Fig. 2. Arquitetura do SAVIPS

D. Desenvolvimento das Unidades de Controle Lateral e Longitudinal

O controle lateral mantém o veículo na pista e evita colisões, enquanto o controle longitudinal gerencia aceleração e frenagem para garantir estabilidade e segurança. Foram desenvolvidas duas ECUs (Fig. 3) com a mesma estrutura de *hardware* e *softwares* distintas, ambas baseadas na plataforma Arduino Mega 2560, escolhida por sua capacidade de processamento e interfaces de comunicação. Um módulo MCP2515 foi adicionado para a comunicação CAN, e um conector automotivo de 16 vias foram incluídas para facilitar a conexão ao chicote elétrico do veículo.

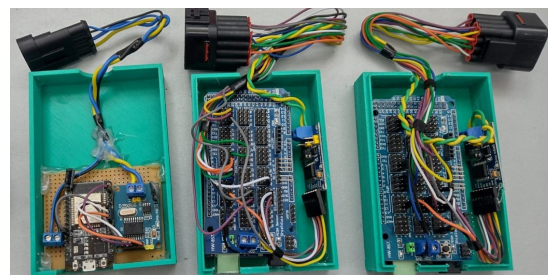


Fig. 3. ECUs desenvolvidas.

Para o controle do sistema de direção do Jeep, os relés foram substituídos pelas pontes H BTS7069, permitindo um controle do volante via sinais PWM. Chaves de fim de curso foram instaladas nas extremidades da barra de direção para detectar limites de movimento, e um potenciômetro impresso em 3D foi acoplado à caixa de redução para medir a rotação angular. As pontes H também foram usadas nas caixas de redução traseiras para controlar tração e frenagem, enquanto os encoders ópticos em discos nas rodas medem a velocidade em RPM pela ECU de controle longitudinal.

E. Desenvolvimento da Unidade Eletrônica de Comunicação

O desenvolvimento da ECU de comunicação interveicular possibilitou a comunicação entre veículos e dispositivos

próximos via rádio frequência. Essa ECU coleta e processa dados dos sensores para auxiliar na tomada de decisões sobre direção, velocidade e frenagem, enviando as informações a um computador para ajustes de parâmetros por meio do protocolo ESP-NOW.

F. Desenvolvimento da Unidade Eletrônica do ADAS

Neste trabalho, utilizou-se a NVIDIA Jetson Orin, que é ideal para processamento gráfico e suporta várias lentes de alta resolução e fusão de sensores. Ela envia comandos de ajuste de ângulo para a ECU lateral, que aciona a caixa de direção por meio do driver BTS7960 via PWM. O sistema emprega três câmeras: um ZED2i para imagens 3D e medição de distância precisa, e dois Logitech C920 para alta definição, montados em suportes impressos em 3D, proporcionando um campo de visão de visão 180 graus conforme é ilustrado na Fig. 4).

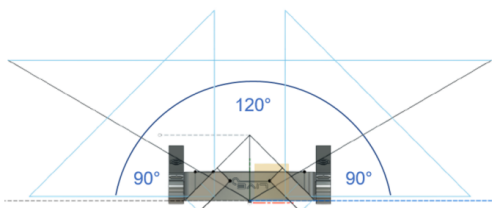


Fig. 4. Campo de visão das câmeras.

O radar ARS 404-21 é usado para detectar e monitorar objetos ao redor, fornecendo precisão de distâncias e velocidades relacionadas. Instalado na parte frontal do veículo, com 33 cm de solo, ele otimiza a detecção de obstáculos e a integração com outros sistemas de segurança.

G. Desenvolvimento da Unidade Eletrônica de Gateway

A ECU de gateway serve como interface entre diferentes sistemas eletrônicos nos veículos. Para essa função, utilizou-se o VN8912 da Vector, que integra o Jetson AGX ao barramento CAN via Ethernet, já que o Jetson não possui um driver CAN. As mensagens de Orin são enviadas ao CAN por meio do protocolo TCP. A Fig. 5 ilustra o diagrama de conexão do VN8912 como gateway.

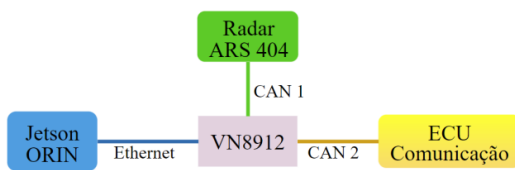


Fig. 5. Diagrama em blocos da VN8912 interligando outras ECUs.

H. Comunicação intra-veicular e interveicular

O protocolo CAN foi escolhido para a comunicação entre as ECUs devido ao seu baixo tráfego de dados e custo acessível, permitindo uma comunicação eficiente, com suporte para transmissão de dados em alta velocidade e tolerância a falhas. A Fig. 6 ilustra a rede de comunicação interna

dos veículos, composta por três barramentos, que facilitam a interação entre os diferentes sistemas do veículo espacial. O VN8912 atua como gateway, garantindo a largura de banda de comunicação entre os barramentos.

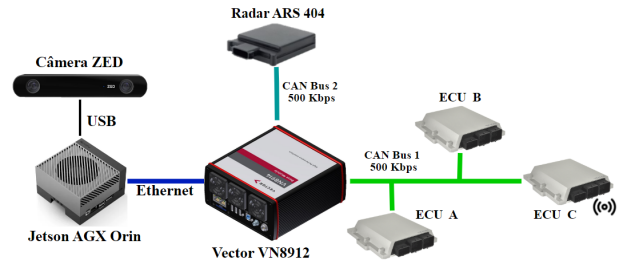


Fig. 6. Rede intra-veicular do veículo em escala reduzida.

A rede interveicular utiliza a plataforma ESP32, que transmite e recebe dados entre veículos e usuários pelo protocolo ESP-NOW, oferecendo uma taxa de transmissão de até 2 Mbps. Quando os dados são recebidos, a ECU os encaminha para o barramento CAN, alterando o ID da mensagem para interpretação adequada pelo sistema. Essa troca de IDs determina a ação da mensagem, permitindo compartilhar informações importantes como velocidade e direção.

IV. RESULTADOS

Para testar o desempenho do veículo autônomo e os algoritmos de direção, foram utilizados um circuito interno para avaliar a detecção de linhas e ajuste de direção, e um ambiente externo protegido para testar funções ADAS em condições reais [13]. Desenvolveram-se dois veículos em pequena escala, equipados com diversos sensores e um novo sistema energético em corrente contínua (CC) e alternada (CA). Os testes de autonomia demonstraram que o veículo opera na rede CC por aproximadamente 14 horas com uma velocidade de 10 RPM e 7 horas a 70 RPM, enquanto a autonomia da rede CA foi de cerca de 5,5 horas, com consumo máximo de 8,9A (Fig. 7).

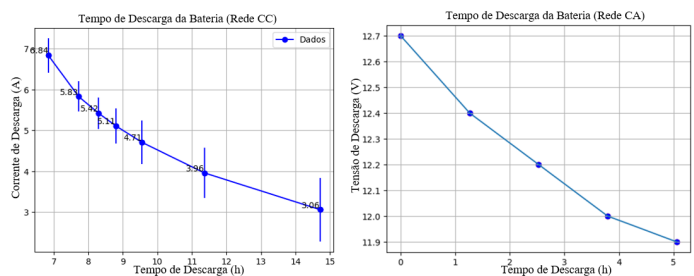


Fig. 7. Curvas de descarga das baterias.

Para validar os ângulos de direção, o veículo foi utilizando um goniômetro, efetuando 30 medições a cada 5 graus. A eficiência do driver lateral foi avaliada comparando o ângulo das rodas com o ângulo de referência de um potenciômetro linear. O controle longitudinal foi ajustado para 100 RPM via rádio, enquanto a velocidade de cada roda era monitorada

por Jetson por meio de mensagens CAN. A Fig. 8 mostra os resultados do controle lateral e longitudinal.

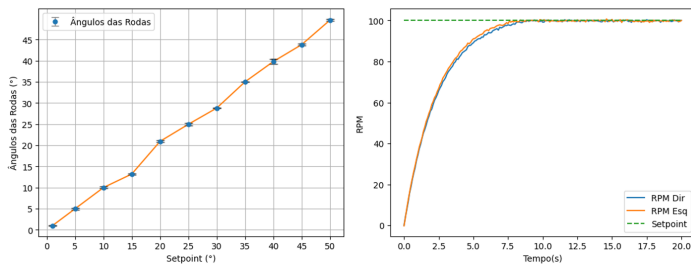


Fig. 8. Métricas da variação angular e das rotações em comparação ao setpoint.

Os dados confirmaram que o PID manteve a velocidade no setpoint. O teste de frenagem mostrou que o controle longitudinal ativa a frenagem de emergência quando necessário. A 10 RPM, o veículo freou em 2,77 segundos a uma distância de 20cm; a 50 RPM, levou 8,88 segundos para uma distância de 183 cm. A comunicação intra-veicular foi verificada através da VN8912, medindo o tráfego de dados nos barramentos CAN. Foram coletadas 18 amostras para calcular a média e o desvio padrão, representando 18 experimentos distintos. A II ilustra as métricas analisadas com o software CANoe para os barramentos CAN.

TABELA II
MÉTRICAS DOS BARRAMENTOS CAN

Métricas	CAN 1		CAN 2	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Bus Load (%)	0,309	0,001	3,774	0,112
Peak Load (%)	0,343	0,004	4,778	0,240
Std. Data (fr/s)	13	0,261	1701	8,186

Os resultados mostram que os barramentos CAN operam adequadamente, com carga de dados baixa a moderada e sem perda de pacotes. No entanto, o barramento do Radar ARS 404-21 tem uma taxa de transmissão de frames superior à do veículo, indicando um maior volume de dados transmitidos.

A análise do barramento *Ethernet* revelou desempenho aceitável, também sem perda de pacotes, priorizando mensagens de Controle Longitudinal para respostas rápidas em caso de problemas. Nos testes de comunicação com a ECU e o módulo PC RF (ESP32-S2), 250 pacotes foram monitorados e todos recebidos em menos de 10 milissegundos.

V. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou a implementação de uma infraestrutura veicular em escala reduzida para testar funções ADAS. Todos os componentes de *hardware*, como sensores de velocidade e câmeras, foram avaliados individualmente e em tempo real, resultando em uma autonomia da bateria de 14 horas, com um erro médio de controle lateral de ± 3 graus e eficácia no controle longitudinal para manter a velocidade desejada.

A comunicação intra-veicular mostrou baixa carga de dados, utilizando apenas 0,309% (CAN 1) e 3,774% (CAN 2)

da capacidade máxima, destacando a eficiência do sistema. A comunicação interveicular apresentou alta confiabilidade, com apenas um pacote perdido de 250 transmitidos via radiofrequência.

Este trabalho se diferencia dos estudos citados [9]–[12] pelo uso de sensores e componentes compatíveis com veículos em escala real. Em contraste com abordagens anteriores que utilizam sensores de baixo custo e enfrentam limitações significativas, este artigo incorpora câmeras estereoscópicas, radares de ondas milimétricas e sistemas de controle precisos, como ACC, OD, AEB e LKAS, tornando a plataforma mais robusta e eficaz para ambientes complexos e próximos ao tráfego real.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FUNDEP Programa Mover - Linha V, pelo incentivo financeiro aos projetos SegurAuto (ANP:27192*11) e SEGCOM (27192*80), assim como ao CNPq (304391/2021-2) e CAPES (88887.571378/2020-00).

REFERÊNCIAS

- [1] *Global Status Report on Road Safety 2018*. World Health Organization. [Online]. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>
- [2] *Painel CNT de Consultas Dinâmicas de Acidentes Rodoviários 2021*. Confederação Nacional do Transporte. [Online]. Available: <https://www.cnt.org.br/painel-acidente>. Accessed: 06 Feb. 2024.
- [3] *Iris: O portal de estatísticas do Observatório*. Observatório Nacional de Segurança Viária. [Online]. Available: <http://iris.onsv.org.br/>. Accessed: 06 Feb. 2024.
- [4] V. S. R. Kosuru and A. K. Venkitraman, "Avanços e desafios para alcançar veículos autônomos totalmente autônomos," *World Journal of Advanced Research and Reviews*, vol. 18, no. 1, pp. 161–167, 2023.
- [5] P. Tientrakool, Y.-C. Ho, and N. F. Maxemchuk, "Highway capacity benefits from using vehicle-to-vehicle communication and sensors for collision avoidance," in *2011 IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*, 2011, pp. 1–5.
- [6] R. Lo Cigno and M. Segata, "Cooperative driving: A comprehensive perspective, the role of communications, and its potential development," *Computer Communications*, vol. 193, pp. 82–93, 2022.
- [7] F. Caleffi *et al.*, "Carros autônomos de pequena escala: Uma revisão sistemática da literatura," *Journal of Traffic and Transportation Engineering (Edição em inglês)*, 2024.
- [8] SAE, "Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles," *SAE International*, vol. 4970, no. 724, pp. 1–5, 2018.
- [9] F. T. El-Hassan, "Experimenting with sensors of a low-cost prototype of an autonomous vehicle," *IEEE Sensors Journal*, vol. 20, no. 21, pp. 13131–13138, 2020.
- [10] T. Yu, W. Lu, Y. Luo, C. Niu, and W. Wu, "Design and Implementation of a Small-scale Autonomous Vehicle for Autonomous Parking," in *2021 6th International Conference on Automation, Control and Robotics Engineering (CACRE)*, pp. 398–402, 2021.
- [11] V. Robila, L. Paulino, M. Rao, I. Li, M. Zhu, and W. Wang, "Design and Implementation of PID-Based Steering Control for 1/10-Scale Autonomous Vehicle," in *2021 IEEE 12th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON)*, pp. 0758–0762, 2021.
- [12] J. V. C. Duarte and P. H. L. Figueiredo, *Desenvolvimento de Arquitetura Eletroeletrônica para Veículos de Pequena Escala*, Graduação em Engenharia Automotiva, Faculdade UnB Gama, Universidade de Brasília, Brasília, 2022.
- [13] VIDEO Autonomous Vehicle UFPE, "VÍdeo-Autonomous-Vehicle-UFPE," [Online]. Available: <https://drive.google.com/file/d/1o74TqwAu93wAriO7k3nVzpbB-LKQV-yaR/view>. Acesso em: 29 jul. 2024.