

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
CAMPUS CAJAZEIRAS

RIAN ÍTHALO DA COSTA LINHARES

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA PARA ESTUDO DA
ARQUITETURA DE COMUNICAÇÃO ENTRE UNIDADES DE CONTROLE
ELETRÔNICAS DE VEÍCULOS AUTOMOTIVOS**

Cajazeiras-PB
2025

RIAN ÍTHALO DA COSTA LINHARES

**DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA PARA ESTUDO DA
ARQUITETURA DE COMUNICAÇÃO ENTRE UNIDADES DE CONTROLE
ELETRÔNICAS DE VEÍCULOS AUTOMOTIVOS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação, sob Orientação do Prof. Dr. Raphaell Maciel de Sousa e sob Coorientação do Eng. Cleberson dos Santos Machado.

Cajazeiras-PB
2025

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

L775d Linhares, Rian Íthalo da Costa.

Desenvolvimento de uma plataforma para estudo da arquitetura de comunicação entre unidades de controle eletrônicas de veículos automotivos / Rian Íthalo da Costa Linhares. – Cajazeiras, 2025.

17f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Maciel de Sousa.

Coorientador: Eng. Cleber dos Santos Machado.

1. Controle eletrônico. 2. Eletrônica automotiva. 3. Sistema de comunicação veicular. 4. Protocolo CAN. I. Instituto Federal da Paraíba. II. Título.

RIAN ÍTHALO DA COSTA LINHARES

DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA PARA ESTUDO DA ARQUITETURA DE COMUNICAÇÃO ENTRE UNIDADES DE CONTROLE ELETRÔNICAS DE VEÍCULOS AUTOMOTIVOS

Trabalho de Conclusão de Curso, sob forma de artigo, submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, *Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Aprovado em 14 de março de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **RAPHAELL MACIEL DE SOUSA**
Data: 18/03/2025 16:16:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Raphaell Maciel de Sousa – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **CLEBERSON DOS SANTOS MACHADO**
Data: 18/03/2025 17:47:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Cleberson dos Santos Machado – Ford Motor Company Brasil Ltda
Coorientador

Documento assinado digitalmente
 **FABIO ARAUJO DE LIMA**
Data: 17/03/2025 16:53:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Fabio Araújo de Lima – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 1

Documento assinado digitalmente
 **ELVES SOUSA E SILVA**
Data: 17/03/2025 17:44:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Elves Sousa e Silva – IFPE-*Campus* Caruaru
Examinador 2

CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Artigo apresentado à coordenação do curso como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação

DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA PARA ESTUDO DA ARQUITETURA DE COMUNICAÇÃO ENTRE UNIDADES DE CONTROLE ELETRÔNICAS DE VEÍCULOS AUTOMOTIVOS

RIAN ÍTHALO DA COSTA LINHARES

rian.ithalo@academico.ifpb.edu.br

CLEBERSON DOS SANTOS MACHADO

eng.cleberonmachado@gmail.com

RAPHAELL MACIEL DE SOUSA

raphaell.sousa@ifpb.edu.br

RESUMO

O trabalho desenvolvido apresenta a criação de um protótipo de carro elétrico em miniatura, projetado para atuar como uma plataforma didática no estudo de sistemas de comunicação veicular. Este protótipo utiliza comunicação via barramento CAN e protocolo MQTT para simular a interação entre unidades de controle eletrônico, que gerenciam funcionalidades automotivas como iluminação, sensoramento e controle de motores. Destinado a ambientes educacionais, o projeto oferece uma abordagem prática para a exploração de conceitos teóricos em engenharia automotiva e sistemas embarcados. A plataforma é concebida para ser de baixo custo, tornando-a acessível para instituições de ensino que desejam integrar estudos de comunicação veicular em seus currículos. Além disso, o protótipo é adaptável, permitindo a adição de novas unidades e sensores, bem como aprimoramentos em sua interface de usuário, o que amplia suas aplicações em diversas áreas de comunicação e automação. O projeto destaca-se por sua capacidade de proporcionar uma experiência prática e envolvente, facilitando o aprendizado e a inovação no campo dos sistemas veiculares.

Palavras-Chave: eletrônica automotiva; protocolo CAN; unidades de controle eletrônico.

ABSTRACT

The developed work presents the creation of a miniature electric car prototype, designed to serve as a didactic platform for the study of vehicle communication systems. This prototype utilizes CAN bus communication and MQTT protocol to simulate the interaction between electronic control units, which manage automotive functionalities such as lighting, sensing, and motor control. Aimed at educational environments, the project offers a practical approach to exploring theoretical concepts in automotive engineering and embedded systems. The platform is designed to be low-cost, making it accessible for educational institutions that wish to integrate vehicle communication studies into their curricula. Additionally, the prototype is adaptable, allowing for the addition of new units and sensors, as well as enhancements to its user interface, which broadens its applications in various areas of communication and automation. The project stands out for its ability to provide a practical and engaging experience, facilitating learning and innovation in the field of vehicle systems.

Keywords: automotive electronics; CAN protocol; electronic control units.

1 INTRODUÇÃO

Conforme publicado por Lawrenz (1989), a indústria automotiva passou por transformações significativas ao longo dos anos, sendo a eletrônica automotiva um dos principais motores dessa evolução. No início do século XX, os primeiros automóveis eram predominantemente compostos por

sistemas mecânicos. Contudo, com o avanço tecnológico, foram gradualmente introduzidos dispositivos eletrônicos, como os Sistemas de Freios ABS (*Anti-lock Braking System*), *airbags*, ar-condicionado, sistemas de gerenciamento do motor e Controle Eletrônico de Estabilidade-ESC (*Electronic Stability Control*) (Shenoy, 2023). Esses avanços não apenas trouxeram mais conforto e segurança para os motoristas, como contribuíram para a redução das emissões de gases poluentes (Trovaio, 2019).

Para gerenciar esses sistemas eletrônicos, surgiram as Unidades de Controle Eletrônico-ECU (*Electronic Control Units*), que atuam como o "cérebro" dos veículos, garantindo a operação correta e integrada dos diversos componentes. Com a crescente complexidade tecnológica, os veículos modernos são equipados com um número significativo de ECUs, cada uma dedicada a uma função específica (Hopkins, 2024).

Inicialmente, a comunicação entre esses sistemas eletrônicos era realizada por meio de conexões ponto a ponto (Kikee, 2021). Entretanto, com a adição constante de novos componentes eletrônicos, esse método tornou-se inviável, exigindo uma quantidade excessiva de fiação, o que aumentava os custos de produção, o peso do veículo e a complexidade da manutenção (Cia, 2024). Para resolver esses problemas, introduziu-se o *Controller Area Network* (CAN), um padrão de comunicação amplamente utilizado em veículos (Boland *et al.*, 2021).

Desenvolvido pela Bosch em 1986, o *CAN bus* foi projetado para atender à crescente demanda por dispositivos eletrônicos em veículos modernos. Ele surgiu como uma solução eficiente para otimizar a comunicação entre os sistemas, reduzindo significativamente a quantidade de cabeamento e tornando os sistemas automotivos mais econômicos e simples de manter (Kikee, 2021).

O barramento CAN opera por meio de comunicação serial em dois fios (CANH e CANL), permitindo a interconexão eficiente entre microcontroladores e diversos dispositivos periféricos (Lynch; Marchuk; Elwin, 2016). Ele é padronizado internacionalmente pela ISO (*International Organization for Standardization*) em conformidade com o modelo OSI (Guimarães; Saraiva, 2002).

Devido a essa constante evolução dos sistemas automotivos, tornou-se essencial integrar conteúdos relacionados nos cursos de engenharia. Conforme discutido por Asparuhova, Mitov e Daskalov (2019), um curso universitário voltado para a produção de painéis de instrumentação automotivos despertou interesse na indústria pelos produtos gerados, além disso capacitou profissionais para atuarem na produção de novas tecnologias veiculares. No entanto, há uma problemática na abordagem desses conteúdos em sala de aula, pois, de acordo com Arcanjo, Martins e Fernandes (2023), os *hardwares* utilizados para testes na indústria automotiva são caros e de difícil acesso.

Diante do que foi exposto, desenvolveu-se um protótipo de carro elétrico em miniatura de baixo custo, que simula uma arquitetura de veículo real, com ECUs integradas pelo protocolo CAN. Este modelo pode ser utilizado como um meio acessível para o estudo de sistemas automotivos, redes industriais e sistemas embarcados. Para a implementação da rede, foram utilizados microcontroladores junto com módulos MCP2515, responsáveis pelo *gateway* CAN. Além disso, elaborou-se um painel de instrumentos, executado em uma aplicação *Python*, que se comunica com o carro via protocolo MQTT.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, são abordados os fundamentos teóricos que sustentam o desenvolvimento deste trabalho, oferecendo uma base sólida para a compreensão dos avanços e inovações discutidos. O referencial teórico explora inicialmente a evolução da eletrônica automotiva, destacando suas fases de desenvolvimento e o impacto significativo que teve na indústria automotiva. Em seguida, examina-se o papel crucial das Unidades de Controle Eletrônico (ECUs) nos veículos modernos, detalhando sua evolução e importância em sistemas automotivos cada vez mais complexos. O Protocolo CAN, uma solução essencial para a comunicação eficiente entre múltiplos dispositivos automotivos, é discutido em termos de sua origem, funcionamento e contínua relevância. Finalmente, é analisado o Protocolo MQTT, destacando sua aplicação em comunicações de veículos conectados e seu papel no avanço das tecnologias de comunicação sem fio. Este referencial teórico fornece uma visão abrangente dos componentes críticos e tecnologias que formam a base do projeto, permitindo uma compreensão aprofundada dos temas abordados.

2.1 Eletrônica automotiva

A evolução da eletrônica automotiva vem sendo observada desde a década de 1980. Segundo Lawrenz (1989), no início do desenvolvimento dos automóveis, o progresso era impulsionado principalmente por tecnologias mecânicas. No entanto, a partir das últimas décadas, a eletrônica passou a dominar o desenvolvimento dos veículos, tornando-se o principal fator de inovação. Lawrenz (1989) identifica quatro fases distintas na evolução da eletrônica automotiva:

Fase 1: caracterizada pela substituição de componentes mecânicos por módulos eletrônicos simples;

Fase 2: marcada pela aplicação de circuitos digitais;

Fase 3: enfatiza a visão do carro como um sistema integrado;

Fase 4: extensão dessa integração, levando o carro a interagir não apenas internamente, mas também com o ambiente ao redor.

De acordo com Shenoy (2023), a indústria automotiva passou por uma transformação notável, impulsionada pelo avanço da eletrônica. Essa evolução trouxe melhorias significativas em termos de segurança, conveniência e eficiência. Além disso, o progresso nesse campo abriu caminho para o desenvolvimento de veículos autônomos e inteligentes.

O estudo da eletrônica automotiva é essencial para a formação de novos profissionais, como demonstrado por Asparuhova, Mítov e Daskalov (2019), que relataram a implementação de um curso universitário nessa área. Durante o curso, os estudantes realizaram atividades práticas em eletrônica automotiva, em parceria com montadoras de automóveis, adquirindo não apenas conhecimentos técnicos, mas também habilidades de trabalho em equipe, o que facilitou sua inserção no mercado automotivo.

A eletrônica automotiva vem tendo uma grande expansão, com investimentos crescentes das empresas. Para ilustrar essa evolução, na década de 1950, o valor dos sistemas eletrônicos em um carro representava cerca de 1% do custo total do veículo. Em 2020, esse percentual subiu para 35%, e as previsões indicam que em 2030 esse valor pode alcançar 50% (Torok *et al.*, 2018). O estudo de Trovao (2019) também reforça a relevância dessa área ao destacar que, devido às demandas dos consumidores e à pressão competitiva, os fabricantes de automóveis têm incorporado cada vez mais inteligência aos veículos. Isso resultou em um aumento significativo na complexidade dos subsistemas de comunicação interna. Trovao (2019) ainda aponta que um carro tradicional pode conter até 10 milhões de linhas de código, enquanto carros do tipo SUVs (*Sport Utility Vehicles*) de ponta podem ultrapassar centenas de milhões, comprovando a necessidade de um desenvolvimento constante desses sistemas para garantir segurança e evitar vulnerabilidades.

2.2 Unidades de controle eletrônico

As Unidades de Controle Eletrônico (ECUs) são componentes essenciais nos veículos modernos, atuando como o cérebro dos sistemas eletrônicos. Sua função é gerenciar e controlar um ou mais sistemas ou subsistemas, garantindo eficiência, segurança e desempenho geral (Hopkins, 2024). Atualmente, um veículo pode conter mais de 100 ECUs (Aptiv, 2020), cada uma responsável por diferentes funções, que variam desde o controle de emissões até o conforto e segurança do motorista e passageiros. Para desempenharem suas funções, as ECUs se comunicam com o sistema eletrônico do veículo, recebendo entradas de sensores distribuídos por todo o veículo.

As ECUs evoluíram de simples dispositivos de controle eletrônico, na década de 1960, para componentes altamente sofisticados e baseados em *softwares* nos veículos atuais (IoT Marketing, 2024). Inicialmente responsáveis por funções limitadas, hoje elas desempenham um papel central em diversas áreas, incluindo Sistemas Avançados de Assistência ao Motorista (ADAS), *infotainment* e conectividade. Com o avanço dos veículos autônomos, as ECUs passaram a ter um papel fundamental na fusão de dados de sensores e na tomada de decisões (IoT Marketing, 2024).

Com a crescente popularidade dos veículos elétricos, impulsionada por preocupações ambientais, a integração das ECUs tornou-se ainda mais importante. Naqvi *et al.* (2024) destacam que um aspecto fundamental no desenvolvimento desses veículos é a integração das diferentes ECUs para garantir o funcionamento eficiente e coordenado dos sistemas. Nesse contexto, surgiu o conceito de uma ECU integrada, que combina várias unidades de controle em um único módulo, simplificando a comunicação e melhorando o desempenho do veículo (Naqvi *et al.*, 2024). Além disso, para a evolução

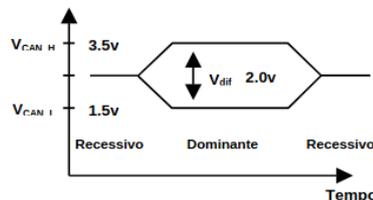
dos veículos elétricos, um sistema eficiente de gerenciamento de baterias é essencial, como apontado por Ajanovic (2015), ressaltando a importância contínua do desenvolvimento dessas tecnologias.

2.3 Protocolo CAN

O protocolo de comunicação CAN (*Controller Area Network*) foi desenvolvido pela Bosch em 1986 como resposta à complexidade crescente dos sistemas automotivos da época. Os protocolos disponíveis na época exigiam grandes quantidades de cabeamento, o que aumentava os custos de produção e o peso dos veículos, além de tornar a manutenção mais difícil (Cia, 2024). O CAN foi padronizado pela ISO (*International Organization for Standardization*) de acordo com o modelo OSI, sendo amplamente utilizado tanto na automação industrial quanto na comunicação entre microprocessadores em automóveis modernos. Esse protocolo síncrono permite a comunicação de múltiplos dispositivos utilizando apenas dois fios, CANH (*High*) e CANL (*Low*), mesmo em ambientes com alto ruído elétrico (Lynch; Marchuk; Elwin, 2016).

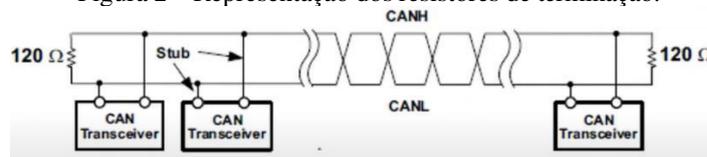
Uma das características mais importantes do protocolo CAN é sua arquitetura multi-mestre, que permite o envio de mensagens *multicast*. Além disso, o CAN utiliza *bits* dominantes (0) e recessivos (1) para controlar a ordem de transmissão das mensagens na rede. Quando um *bit* recessivo é transmitido, tanto o CANH quanto o CANL apresentam um nível de tensão de 2,5 V, mostrado na Figura 1. Já no caso de um *bit* dominante, o CANH atinge 3,5 V, enquanto o CANL cai para 1,5 V (Guimarães; Saraiva, 2002). Para evitar interferências, são utilizados dois resistores de 120 ohms em cada extremidade do barramento, mostrado na Figura 2.

Figura 1 – Níveis de tensão no CAN e os *bits* dominantes e recessivos.



Fonte: Guimarães e Saraiva (2002)

Figura 2 – Representação dos resistores de terminação.



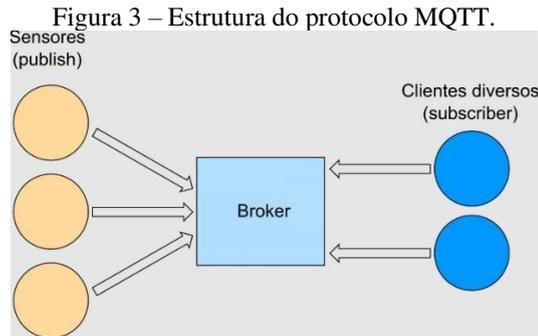
Fonte: Thawani (2020)

Com o avanço das tecnologias automotivas, o protocolo CAN continua a ser objeto de estudos e aprimoramentos. Pesquisas recentes, como a de Adly *et al.* (2023), investigam a segurança do CAN diante de ataques cibernéticos, considerando a crescente digitalização dos automóveis, onde falhas de segurança podem permitir que invasores manipulem sistemas críticos. Além disso, Boland *et al.* (2021) exploram a aplicação do protocolo CAN em veículos *off-road*, ampliando seu uso para além dos veículos tradicionais.

2.4 Protocolo MQTT

O protocolo de comunicação MQTT teve sua criação na década de 1990 na IBM por Andy Stanford-Clark (IBM) e Arlen Nipper (Eurotech) (Martins; Zem, 2015). Ele foi escolhido para este trabalho pois, conforme a especificação oficial MQTT Version 5.0, "MQTT é um protocolo de transporte de mensagens cliente-servidor, baseado no modelo *publish/subscribe*. Ele é leve, aberto, simples e projetado para ser fácil de implementar. Essas características o tornam ideal para uso em diversas situações, incluindo ambientes com recursos limitados, como para comunicação em contextos de Máquina a Máquina (M2M) e Internet das Coisas (IoT), onde uma pequena pegada de código é necessária e/ou a largura de banda da rede é escassa."

No padrão de troca de mensagens *publish/subscribe*, quando um elemento da rede deseja receber uma determinada informação, ele a subscreve, fazendo uma requisição para outro elemento da rede capaz de gerir as publicações e subscrições. Na rede MQTT, este elemento é conhecido como broker, que atua como intermediário no processo de comunicação. Elementos que desejam publicar informações o fazem também através do broker, enviando-lhe as informações que possuem (Barros, 2015). A estrutura desse protocolo pode ser vista na Figura 3.



Fonte: Barros (2015)

Além disso, este protocolo é amplamente utilizado na área de veículos, como demonstrado no trabalho de Kegenbekov e Saparova (2022), onde é estudado para a telemetria de dados de veículos. Li (2024) detalha como o protocolo MQTT provou ser mais eficaz na área de carros conectados, permitindo que veículos troquem informações entre si, com as rodovias e outros elementos do ambiente.

3 MÉTODO DA PESQUISA

Nesta seção, descreve-se a abordagem metodológica adotada para o desenvolvimento do projeto, oferecendo uma visão detalhada dos processos e etapas envolvidos. A metodologia inicia-se com um levantamento bibliográfico abrangente sobre os principais tópicos do projeto, incluindo protocolo CAN, eletrônica automotiva, Unidades de Controle Eletrônico (ECUs) e protocolos de comunicação sem fio. Em seguida, é definida a arquitetura do modelo implementado, que simula a comunicação entre diversas ECUs no protótipo de carro elétrico em miniatura. A produção das ECUs é detalhada, com ênfase no desenvolvimento individual de cada unidade e na programação dos *firmwares* correspondentes. A integração do sistema é então realizada, avaliando-se a comunicação e funcionalidade geral do protótipo. Por fim, a análise dos resultados é conduzida para verificar se os objetivos do projeto foram alcançados, identificando também possibilidades de expansão futura.

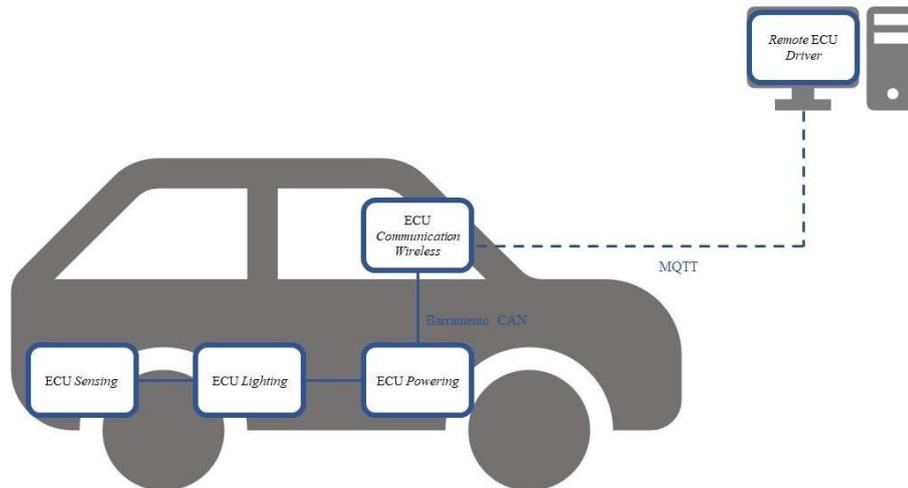
3.1 Levantamento bibliográfico

A fase inicial da construção do protótipo teve sua fundamentação em um levantamento bibliográfico sobre os principais tópicos deste trabalho: protocolo CAN, eletrônica automotiva, Unidades de Controle Eletrônico e protocolos de comunicação sem fio. Essa pesquisa ocorreu através de artigos científicos, revistas especializadas, publicações em anais e bancos de teses e dissertações, com prioridade para fontes atuais e relevantes.

3.2 Definição da arquitetura do modelo implementado

Na Figura 4 é possível observar o diagrama de blocos da arquitetura com as ECUs propostas neste projeto.

Figura 4 – Diagrama de blocos do sistema implementado.



Fonte: Os autores (2025)

Após o levantamento bibliográfico, a arquitetura do projeto foi definida, baseando-se na simulação de um sistema de comunicação entre unidades de controle eletrônico automotivo, com a elaboração de cinco unidades. Os principais componentes do projeto foram determinados: módulos CAN MCP2515, Arduinos Nano, ESP32 (para comunicação sem fio), e outros componentes necessários para a simulação das unidades. O protocolo MQTT foi escolhido para estabelecer a comunicação sem fio. As seguintes ECUs foram criadas:

ECU *Lighting* (EL): responsável pelo acionamento dos LEDs (*Light Emitting Diodes*) que representam os faróis, setas direcionais e demais dispositivos relacionados ao sistema de iluminação do veículo;

ECU *Sensing* (ES): gerencia os dados dos sensores integrados ao protótipo.

ECU *Powering* (EP): designada ao controle dos motores. Este bloco é responsável por todos os processos relacionados aos motores, como o acionamento e controle do sentido de rotação.

ECU *Communication Wireless* (EC): sua função é receber os comandos enviados pela *Remote ECU Driver* por meio do protocolo MQTT. Após o recebimento da mensagem, a *ECU Communication Wireless* envia os dados ao barramento CAN. Como o protocolo CAN permite a indexação das mensagens, cada ECU identifica se a mensagem é destinada a ela com base no ID. Apenas a ECU para a qual a mensagem foi endereçada aceitará o comando. Além disso, a *ECU Communication Wireless* também é responsável por transmitir os dados dos sensores ao RED;

***Remote ECU Driver* (RED):** será executado em um computador pessoal, sendo responsável pelo envio de comandos à *ECU Communication Wireless*. Nesta unidade, estará presente também o painel de instrumento, permitindo a visualização dos dados dos sensores acoplados ao carro, além de possibilitar o monitoramento do comportamento geral do sistema.

3.3 Produção das Unidades de Controle Eletrônica

As Unidades de Controle Eletrônicas (ECUs) foram desenvolvidas individualmente, com o firmware programado em linguagem C no ambiente do arduino IDE (Integrated Development Environment). Durante o processo de desenvolvimento, cada ECU passou por testes para verificar sua funcionalidade. Todas as ECUs são capazes de enviar e receber mensagens através do barramento CAN. No entanto, elas possuem algoritmos específicos que lhes permitem desempenhar funções distintas, como o acionamento de dispositivos eletrônicos, a leitura de sensores, ou a comunicação sem fio via protocolo MQTT.

O *Remote ECU Driver*, por sua vez, foi desenvolvido em Python na IDE PyCharm e é executado em um computador desktop. Ajustou-se o código deste componente de acordo com a implementação das funcionalidades na miniatura do carro elétrico, com testes individuais realizados para cada nova funcionalidade integrada.

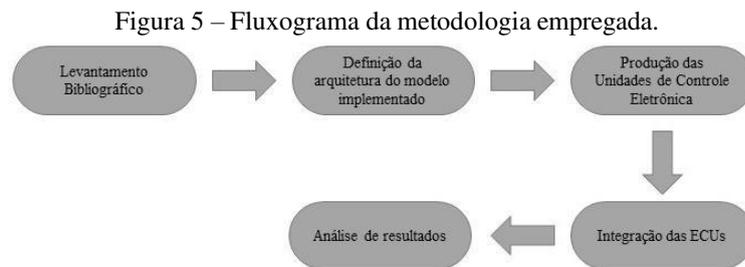
3.4 Integração das ECUs

Após a verificação individual do funcionamento de cada unidade de forma separada, realizou-se a integração de todo o sistema, culminando na montagem da miniatura de carro elétrico. Nesta etapa, avaliou-se o desempenho da comunicação entre todos os componentes e realizou-se testes operacionais para assegurar que as funcionalidades estavam funcionando conforme o esperado. Foram feitos ajustes necessários para corrigir falha identificadas.

3.5 Análise de resultados

Os resultados obtidos foram analisados para verificar se o protótipo atende aos objetivos propostos. A análise focou em avaliar o desempenho do sistema de comunicação entre as ECUs, a eficiência do protocolo CAN na integração dos componentes, e a funcionalidade geral do carro elétrico em miniatura. Através dessa análise, foi também possível identificar oportunidades para a expansão do projeto em trabalhos futuros.

A Figura 5 mostra um fluxograma detalhado da metodologia empregada para a elaboração do projeto.



Fonte: Os autores (2025)

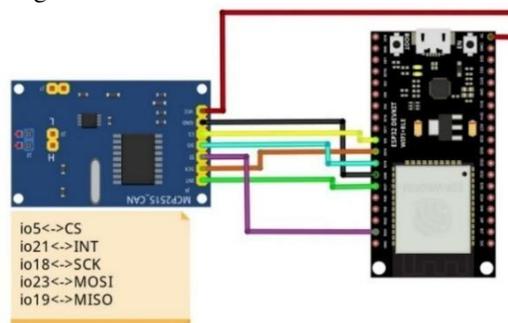
4 RESULTADOS DA PESQUISA

Este trabalho teve como objetivo criar uma miniatura de carro elétrico que possibilitasse a simulação de uma rede de comunicação entre unidades de controle eletrônico automotivo, com a finalidade de desenvolver uma plataforma de estudos de sistemas veiculares. Além disso, foi implementada uma comunicação sem fio para o envio e recebimento de dados entre a miniatura e um computador pessoal. As informações eram transmitidas do computador para a miniatura para controlá-la, e, simultaneamente, a miniatura enviava mensagens de volta para o computador, permitindo que esse conteúdo fosse exibido. Nesta seção, serão discutidos o processo de construção, os resultados obtidos e sugestões para trabalhos futuros.

4.1 Desenvolvimento das unidades de controle eletrônica da miniatura de carro elétrico

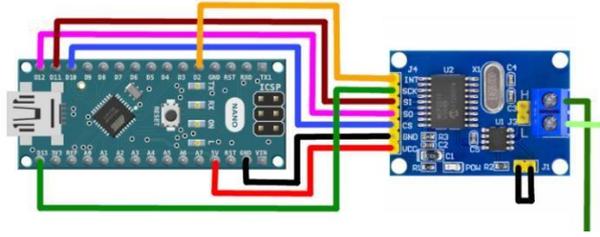
Na construção do protótipo, a primeira etapa envolveu a prototipagem das ECUs, onde cada uma foi desenvolvida individualmente. Inicialmente, estabeleceu-se a comunicação entre os microcontroladores escolhidos (Arduino Nano e ESP32) e os módulos MCP2515. Para isso, foram utilizados os esquemáticos elétricos apresentados nas Figuras 6 e 7.

Figura 6 – Conexão entre ESP32 e MCP2515.



Fonte: winson-DIY (2023)

Figura 7 – Conexão entre Arduino nano e MCP2515.



Fonte: Arduino (2024)

A primeira unidade desenvolvida foi a ECU *powering* responsável pelo acionamento e controle do sentido de rotação dos motores, em que se tornou necessário realizar a montagem do sistema motriz, é formado por uma ponte H dupla L298N (Figura 8) e quatro motores de 6v (Figura 9).

Figura 8 – Ponte H dupla L298N.



Fonte: Eletrogate (2025)

Figura 9 – Motor Elétrico de 6v utilizado no projeto



Fonte: Smartkits (2025)

O sistema montado pode ser visto na Figura 10.

Figura 10 – Sistema motriz do protótipo.



Fonte: Os autores (2025)

A fim de testar o funcionamento do circuito, realizaram-se testes iniciais com um código básico do Arduino, em que, por meio da comunicação serial, enviavam-se letras correspondentes aos movimentos desejados da miniatura do carro, constatando a funcionalidade do mesmo. Em seguida, partiu-se para o próximo passo, que seria realizar essa comunicação por meio do protocolo CAN. No entanto, para executar tal ação, necessitou-se realizar implementações na ECU *Communication Wireless* e no *Remote ECU Driver*.

Na *Remote ECU Driver*, efetuaram-se os primeiros passos da codificação. Inicialmente, tornou-se necessário captar os comandos do joystick do Xbox 360, utilizando a biblioteca *Pygame* para realizar essa ação. Após concluir essa etapa, passou-se para a próxima, que consistia em enviar os comandos do script em *Python* para a ESP32, que encaminharia a mensagem por meio do barramento CAN. Em seguida, aplicou-se o protocolo MQTT para a comunicação sem fio. A implementação no script Python deu-se utilizando a biblioteca MQTT, disponível para essa linguagem. No código da ESP32, codificou-se uma função *callback* que processa as mensagens recebidas. Para utilizar esse protocolo, empregou-se o *broker* público Mosquitto. O tópico para o envio de dados de comandos ficou designado como *car/control*. Nas Figuras 11 e 12, é possível verificar o protocolo MQTT em funcionamento, com o *script*

Python (Remote ECU Driver) enviando mensagens e a *ESP32 (ECU Communication Wireless)* recebendo.

Figura 11 – *Remote ECU driver* enviando dados via MQTT.

```
Client = mqtt.Client()
Joystick detectado: 'Xbox 360 Controller'
Botão A pressionado
Mensagem enviada via MQTT: Luz_Baixa
Botão A pressionado
```

Fonte: Os autores (2025)

Figura 12 – *ECU Communication Wireless* recebendo dados via MQTT.

```
Nenhuma mensagem válida recebida.
Nenhuma mensagem válida recebida.
Nenhuma mensagem válida recebida.
Nenhuma mensagem válida recebida.
Comando recebido via MQTT: Luz_Baixa
Mensagem enviada com ID: 0x559
Enviando dados: 1 57
Enviando comando: lhb
Luz baixa ligada
```

Fonte: Os autores (2025)

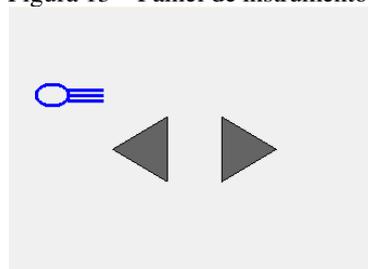
Após a validação, estabeleceu-se o barramento CAN entre a *ECU Powering* e a *ECU Communication Wireless*, a fim de realizar o controle da miniatura de carro elétrico.

Explicando o funcionamento da *ECU Powering*: a partir dos comandos captados do analógico do *joystick*, ela pode enviar cinco mensagens: *Forward*, *Stop*, *Back*, *Right* e *Left*. A *ECU Communication Wireless* recebe esses dados, analisa-os e os envia via barramento CAN, utilizando um ID específico (0xAF) para evitar conflitos de comunicação com as outras ECUs. A unidade responsável pelos motores então capta e examina as informações, executando a ação determinada pela mensagem recebida.

A elaboração da *ECU Lighting* seguiu a mesma lógica da produção da *ECU Powering*. No entanto, como a comunicação sem fio já estava em funcionamento, Requereu-se apenas adicionar ao código de envio de comandos os botões responsáveis pelo controle dos LEDs, que simulam o sistema de iluminação do veículo. Estão sendo simuladas as funcionalidades de setas direcionais esquerda e direita, pisca alerta, luz baixa e alta, luz de posição e luz de ré. A partir dos sinais enviados pela *Remote ECU Driver*, a *ECU* realiza o mesmo processo de analisar a mensagem e transmitir via barramento CAN. As informações de iluminação são enviadas com os IDs 0x22F ou 0x22E. Após a unidade de iluminação receber as informações, ela executa uma ação de acordo com a mensagem recebida.

Com a *ECU Lighting* funcionando corretamente, iniciou-se o desenvolvimento do painel de instrumentos, com foco na parte de iluminação. Para a interface gráfica, codificou-se um *script* em Python utilizando a biblioteca *PyQt5*. O funcionamento é o seguinte: o *script* também se comunica via protocolo MQTT com a *ESP32*. Assim, quando a *ESP32* recebe uma mensagem específica, ela a encaminha tanto para o barramento CAN quanto para o painel de instrumentos (via MQTT). Dessa forma, à medida que a ação é executada na miniatura do carro elétrico, ela também pode ser visualizada no painel. Ele pode ser visto na Figura 13.

Figura 13 – Painel de instrumento.



Fonte: Os autores (2025)

A última ECU desenvolvida foi a ECU *Sensing*, responsável por controlar os sensores do protótipo. Neste projeto, foram incorporados dois tipos de sensores: quatro encoders (Figura 14) para medir o RPM (Rotações Por Minuto) dos motores. A média dos resultados obtidos é calculada e transmitida via barramento CAN para a unidade de comunicação sem fio. Com base no valor médio do RPM, ela calcula a velocidade média utilizando a fórmula da velocidade tangencial.

$$V_p = \frac{\pi * D * N}{60}$$

Em seguida, o valor do RPM médio e da velocidade média é enviado para a RED, e esses dados são exibidos no terminal do script do painel de instrumentos.

O outro sensor utilizado é um ultrassônico (Figura 15), empregado para simular um sensor de ré de um carro. À medida que o veículo se aproxima de um objeto ao dar ré, a frequência do som emitido aumenta. O funcionamento da unidade de sensoriamento difere das outras unidade: em vez de receber mensagens, ela envia informações para a ECU *Communication Wireless*, que as encaminha via MQTT utilizando o *broker* Mosquitto e sobre o topic *car/status* para a *Remote ECU Driver*.

Para a funcionalidade do sensor de ré, há um código específico em Python que recebe os valores deste sensor e emite sons. Conforme a miniatura do carro se aproxima de um objeto ao andar de ré, a frequência do som aumenta.

Figura 14 – Encoder utilizado



Fonte: Smartkits (2025)

Figura 15 – Sensor ultrassônico utilizado



Fonte: Eletrogate

Depois da implementação das ECUs, o passo seguinte consistiu na montagem da miniatura de carro elétrico.

4.2 Montagem da miniatura de carro elétrico

Nesta fase, buscou-se a integração dos componentes do projeto, a fim de deixar o protótipo em funcionamento. Demandou-se modelar, utilizando o CAD (Computer-Aided Design) Autodesk Inventor, e posteriormente imprimir em uma impressora 3D, cases para as ECUs, permitindo sua instalação na miniatura de carro elétrico de maneira funcional e compacta. As cases foram projetadas para acomodar o Arduino Nano ou a ESP32, juntamente com o módulo MCP2515. Diferentes símbolos foram aplicados nas tampas, com o intuito de facilitar a identificação de qual unidade está inserida em cada uma.

A modelagem delas podem ser visualizadas nas Figuras 16 e 17.

Figura 16 – Case para Arduino Nano com MCP2515

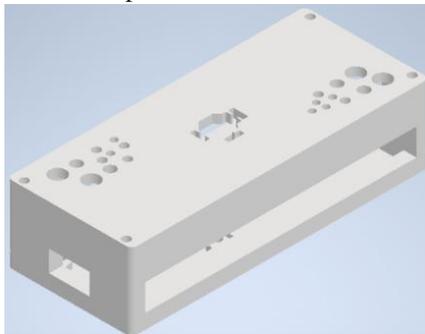
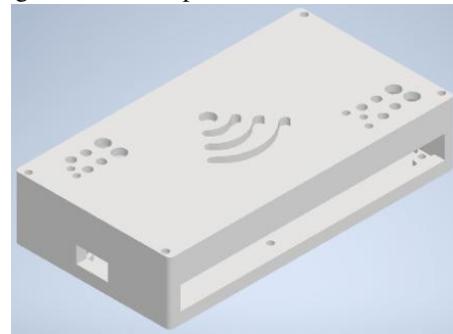


Figura 17 – Case para ESP32 com MCP2515



Fonte: Os autores (2025)

As imagens das impressões com os componentes instalados podem ser observadas nas Figuras 18 e 19.

Figura 18 – Partes inferiores das cases.

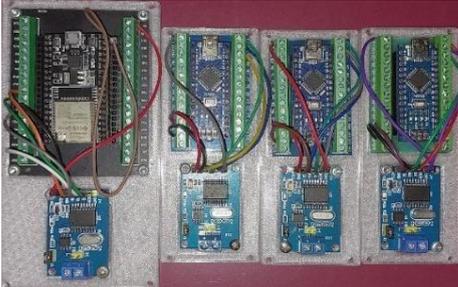


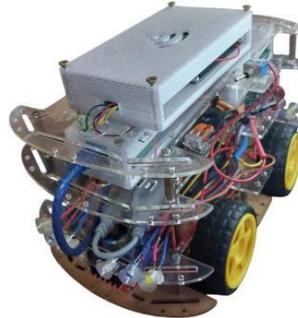
Figura 19 – Partes superior das cases.



Fonte: Os autores (2025)

Após a implementação das unidades nas cases, iniciou-se a fixação dos componentes no chassi 4WD, sendo necessárias quatro camadas para acomodar todos os dispositivos necessários. A primeira camada é composta pelo sistema motriz, formado por motores e ponte H, que precisam ser energizados por meio de uma bateria de 12 V, além de um sensor ultrassônico. Na segunda camada, há uma power bank com um expander de portas USB para alimentar os microcontroladores do sistema. Também estão instalados nesta camada os doze LEDs de cores diferentes, cada cor representando uma funcionalidade específica: na parte frontal, luz baixa em branco, luz alta em azul, e setas direita e esquerda em amarelo; na parte traseira, luz de ré em branco, luz de posição em vermelho, e setas direita e esquerda em amarelo. Na terceira camada, encontram-se as ECUs de *sensing*, *powering* e *lighting*, e, por fim, a quarta camada abriga a ECU *communication wireless*. Foram feitas as conexões elétricas necessárias entre os componentes. Nas Figuras 20, 21 e 22, é possível analisar a miniatura de carro elétrico montada, com os elementos em destaque.

Figura 20 – Dianteira da miniatura de carro elétrico.

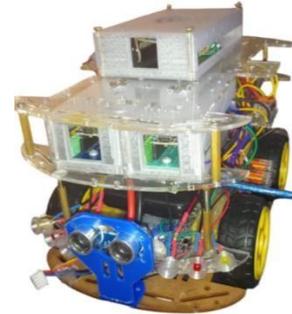


Fonte: Os autores (2025)

Figura 21 – Parte lateral da miniatura de carro elétrico.



Figura 22 – Traseira da miniatura de carro elétrico.



Fonte: Os autores (2025)

Houve necessidade de corrigir pequenas falhas que foram identificadas durante a montagem. No entanto, com a conclusão do processo, realizou-se uma verificação final que constatou que o protótipo estava funcionando corretamente. Em seguida, passou-se para a fase de testes.

4.3 Testes de funcionalidade

Os ensaios foram realizados de maneira prática no protótipo completo, onde as ações eram transmitidas individualmente. Primeiramente, analisou-se a comunicação, tanto no barramento CAN quanto na utilização do protocolo MQTT. Constatou-se que essa parte estava operando de forma adequada, com apenas um pequeno atraso no recebimento das mensagens enviadas via MQTT em comparação ao barramento CAN. No entanto, esse atraso já era esperado devido ao fato de um usar barramento físico e o outro ser sem fio.

Em relação ao teste do sistema motriz, ele funcionou conforme o esperado, permitindo mover a miniatura do carro por meio do joystick sem apresentar problemas. A unidade de iluminação também respondeu corretamente aos comandos enviados. Como mencionado anteriormente, ocorreu apenas um pequeno atraso na ativação dos LEDs em relação à exibição no painel de instrumentos.

Foi possível captar os valores medidos pelos sensores e enviá-los para o script em Python. A funcionalidade do sensor de ré simulou bem um sensor real, pois quando a miniatura estava recuando, quanto mais se aproximava do objeto, maior era a frequência do som emitido, apresentando assim um comportamento conforme o esperado. Também foi possível analisar as medições dos encoders (velocidade média e RPM média) na *Remote ECU Driver*, embora inicialmente se pretendesse exibi-las no painel de instrumentos, o que não foi possível. Portanto, essas medições são mostradas no terminal do código *Python*.

Assim, percebe-se que o protótipo desenvolvido apresentou uma funcionalidade conforme o esperado.

4.4 Trabalhos futuros

Este projeto oferece uma ampla gama de oportunidades para desenvolvimentos futuros, como a inclusão de novas ECUs. Por exemplo, o desenvolvimento de uma unidade responsável pelo controle de rotação dos motores. Também está prevista a adição de sensores adicionais. Outra área de expansão é a criação de uma interface do painel de instrumentos mais detalhada. Estas e outras melhorias podem ser implementadas neste protótipo, que já apresenta resultados satisfatórios, podendo ser utilizado como uma plataforma de estudos para sistemas de comunicação automotiva.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho construiu-se uma plataforma que pode ser utilizada em ambientes didáticos, com foco principal no estudo de sistemas de comunicação veicular. No entanto, ela também pode ser aplicada em outras áreas, como redes industriais e sistemas embarcados. A comunicação via barramento CAN e protocolo MQTT demonstrou ser estável, e o painel de instrumentos funcionou adequadamente. Também foram simuladas unidades de controle eletrônico automotivas, que atenderam às funcionalidades para as quais foram projetadas.

Além disso, demonstrou-se a viabilidade de desenvolver uma plataforma didática acessível para o estudo de sistemas automotivos, pois a miniatura de carro permite estudar suas funcionalidades e adicionar novas, trazendo para a sala de aula abordagens práticas de temas importantes para o desenvolvimento dos estudantes.

Em conclusão, a miniatura de carro elétrico revelou-se um projeto promissor, possibilitando o estudo e desenvolvimento de sistemas automotivos, onde as aplicações projetadas executaram as ações conforme planejado. Diante disso, os resultados obtidos foram satisfatórios.

REFERÊNCIAS

ADLY, S.; MORO, A.; HAMMAD, S.; MAGED, S.A. Prevention of controller area network (CAN) attacks on electric autonomous vehicles. **Applied Sciences**, v. 13, p. 9374, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/16/9374>. Acesso em: 16 fev. 2025.

AJANOVIC, A. The future of electric vehicles: prospects and impediments. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment**, v. 4, p. 521–536, 2015. DOI <https://doi.org/10.1002/wene.160>. Disponível em: <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wene.160>. Acesso em: 17 fev. 2025.

APTIV. **What is an electronic control unit?** 2020. Disponível em: <https://www.aptiv.com/en/insights/article/what-is-an-electronic-control-unit>. Acesso em: 17 fev. 2025.

ARCANJO, R. R.; MARTINS, L. E. G.; FERNANDES, D. L. G. Verification and validation of embedded software in an automotive context: a systematic literature review. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 3, p. 207–250, 2023. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/computer-science/embedded-software>. Acesso em: 15 fev. 2025.

ARDUINO. **MCP2515 not working on arduino nano clone.** 2024. Disponível em: <https://forum.arduino.cc/t/mcp2515-not-working-on-arduino-nano-clone/1277637/1>.

ASPARUHOVA, K.; MITOV, M.; DASKALOV, N. Visteon hardware academy - an additional advanced opportunity for education and training in automotive electronics for university students. *In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ELECTRONICS-IEEE*, 28. **Anais [...]**, 2019.

BARROS, M. **MQTT – protocolos para IoT.** Embarcados, 2015. Disponível em: <https://embarcados.com.br/mqtt-protocolos-para-iot/>. Acesso em: 03 mar. 2025.

BOLAND, H. M.; BURGETT, M. I.; ETIENNE, A. J.; STWALLEY III, R. M. An overview of CAN-BUS development, utilization, and future potential in serial network messaging for off-road mobile equipment. *In: AHMAD, F.; SULTAN, M. (Eds.). Technology in agriculture.* Londres, England: IntechOpen, 2021. DOI 10.5772/intechopen.98444. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/77277>. Acesso em: 16 fev. 2025.

CAN IN AUTOMATION-CIA. **History of the CAN technology.** 2024. Disponível em: <https://old.can-cia.org/can-knowledge/can/can-history/>. Acesso em: 16 fev. 2025.

ELETROGATE. **Módulo sensor de distância ultrassônico HC-SR04.** 2025. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/modulo-sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04?srsltid=AfmBOoqQjsdCe1dpaJPF0zd1dXhWiesaWn-epmtyZQjYX5RZvSwclwBW>. Acesso em: 3 mar. 2025.

ELETROGATE. **Ponte H dupla L298N.** 2025. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/ponte-h-dupla-l298n?srsltid=AfmBOooHeOiQd4WZO5HSitakJlu49RRjQ5Ch07untRkL5Cix78v65C46>. Acesso em: 3 mar. 2025.

GUIMARÃES, A. A.; SARAIVA, A. M. **O protocolo CAN: entendendo e implementando uma rede de comunicação serial de dados baseada no barramento “Controller Area Network”.** Society of Automotive Engineers, 2002.

HOPKINS, J. **What is an electronic control unit in automotive systems?** Total phase, 2024. Disponível em: <https://www.totalphase.com/blog/2024/05/what-is-electronic-control-unit-automotive-systems/?srsltid=AfmBOopRDkayjBvdJobgtKBdywcDgnCLK2kX9PLqDl0Cz7l6sWmYCTiu>. Acesso em: 17 fev. 2025.

IOT MARKETING. **Understanding the role of Electronic Control Units (ECUs) in modern cars.** 2021. Disponível em: <https://iotmktg.com/understanding-the-role-of-electronic-control-units-ecus-in-modern-cars/>. Acesso em: 17 fev. 2025.

KEGENBEKOV, Z. SAPAROVA, A. Using the MQTT protocol to transmit vehicle telemetry data. **Transportation Research Procedia**, v. 61, p. 410-417, 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.01.067>. Acesso em: 3 mar. 2025.

KIKEE, G. **Barramento CAN - controller area network** | Comunicação de dados para automação (Aula Completa). Prof. Gustavo Kikee, 2021. 1 vídeo (47 min.). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=vam9wl6BWyc>. Acesso em: 3 mar. 2025.

LAWRENZ, W. Automotive electronics: state of the art and future perspectives. **Microprocessors and Microsystems**, v. 13, n. 4, p. 235–244, 1989. DOI [https://doi.org/10.1016/0141-9331\(89\)90061-6](https://doi.org/10.1016/0141-9331(89)90061-6). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0141933189900616>. Acesso em: 14 fev. 2025

LI, G. **MQTT in connected cars: key benefits and real-world applications**. EMQX, 2024. Disponível em: <https://www.emqx.com/en/blog/mqtt-for-internet-of-vehicles>. Acesso em 3 mar. 2025.

LYNCH, K. M.; MARCHUK, N.; ELWIN, M. L. Controller area network (CAN). In: **Embedded Computing and Mechatronics with the PIC32**. Newnes, 2016. p. 249–265. DOI doi.org/10.1016/B978-0-12-420165-1.00019-6 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124201651000196>. Acesso em: 16 fev. 2025.

MARTINS, I. R.; ZEM, J. L. Estudo dos protocolos de comunicação MQTT e CoAP para aplicações machine-to-machine e internet das coisas. **Revista Tecnológica da Fatec Americana**, Americana, v. 3, n.1, p. 64-87, 2015. Disponível em: <https://www.fatec.edu.br/revista/index.php/RTecFatecAM/article/view/41/50>. Acesso em: 3 mar. 2025.

NAQVI, S. S. A.; JAMIL, H.; FASEEH, M.; IQBAL, N.; KHAN, S.; KIM, D. A comprehensive review on development strategies of integrated electronic control units in IoEVs for energy management. **Internet of Things**, v. 25, Article ID 101085, 2024. DOI doi.org/10.1016/j.iot.2024.101085. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542660524000271>. Acesso em: 15 fev. 2025.

SHENOY, A. B. **The evolution of automotive electronics: from early beginnings to modern marvels**. LinkedIn, 2023. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/evolution-automotive-electronics-from-early-modern-balram-shenoy-uhv2e>. Acesso em: 15 fev. 2025.

SMARTKITS. **Módulo sensor de velocidade encoder**. 2025. Disponível em: https://www.smartkits.com.br/sensor-de-velocidade-encoder?parceiro=9390&gad_source=1&gclid=Cj0KCCQiAz6q-BhCfARIsAOezPxxYwCSJIWbHk3oAWQBhRK0gGdwMW_AiomBRbjehtTBhj_ak7QmxJ8aApvwEALw_wcB. Acesso em: 3 mar. 2025.

SMARTKITS. **Motor DC 3-6V com caixa de redução e eixo duplo**. 2025. Disponível em: <https://www.smartkits.com.br/motor-dc-3-6v-com-caixa-de-reducao-e-eixo-duplo>. Acesso em: 3 mar. 2025.

THAWANI, V. K. **Top design questions about isolated CAN bus design**. Texas Instruments, 2020. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/an/slla486b/slla486b.pdf?ts=1729862267572>. Acesso em: 17 fev. 2025.

TOROK, A.; ZÖLDY, M.; ZANNE, M.; DERENDA, T. Automatization in road transport: a review. **Production Engineering Archives**, v. 20, n. 20, p. 3–7, 2018. DOI <https://doi.org/10.30657/pea.2018.20.01>. Disponível em: <https://sciendo.com/article/10.30657/pea.2018.20.01>. Acesso em: 16 fev. 2025.

TROVAO, J. P. An overview of automotive electronics. **IEEE vehicular technology magazine**, v. 14, n. 3, p. 130–137, 2019. DOI 10.1109/MVT.2019.2923329. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8805283>. Acesso em: 15 fev. 2025.

WINSON-DIY. **ESP32 + MCP2515 use CANHacker on CAN Bus system**. [S.l.]: winson-DIY, 2023; 1 vídeo (5 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=X1TrU1CR5nc&t=38s>. Acesso em: 2 mar. 2025

MATERIAL COMPLEMENTAR

•CÓDIGOS DESENVOLVIDOS

Os códigos desenvolvidos neste trabalho, podem ser acessados pelo link do repositório do GitHub:

https://github.com/RianLinhares/Codigos_miniatura_de_carro_eletrico

Também podem ser acessados pelo QR *code* ao lado.



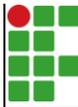
•VIDEOS COM AS FUNCIONALIDADES DA MINIATURA DE CARRO

Esta pasta compartilhada contém vídeos explicando as funcionalidades da miniatura de carro elétrico produzido, segue o link:

https://drive.google.com/drive/folders/1XPksIrsqbdBRAiq8vqNSOAUyeIhJ7Qbz?usp=drive_link.

Ela também pode ser acessada pelo QR *code* ao lado.



	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus Cajazeiras - Código INEP: 25008978
	Rua José Antônio da Silva, 300, Jardim Oásis, CEP 58.900-000, Cajazeiras (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0005-07 - Telefone: (83) 3532-4100

Documento Digitalizado Restrito

TCC assinado e catalogado

Assunto:	TCC assinado e catalogado
Assinado por:	Rian Linhares
Tipo do Documento:	Dissertação
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Restrito
Hipótese Legal:	Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Rian Íthalo da Costa Linhares, ALUNO (202012240011) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CAMPUS CAJAZEIRAS, em 18/03/2025 22:37:49.

Este documento foi armazenado no SUAP em 18/03/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1424792

Código de Autenticação: 979c9501cf

