

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

Felipe Carvalho da Silva
Geovani Santos Borges

**Projeto de Bancada com Aquisição de Dados e Supervisório para Powertrain e
Freios de um Veículo Tipo Baja**

Cajazeiras-PB
2025

Felipe Carvalho da Silva
Geovani Santos Borges

**Projeto de Bancada com Aquisição de Dados e Supervisório para Powertrain e Freios
de um Veículo Tipo Baja**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
à Coordenação do Curso 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. Me.
Edleusom Saraiva da Silva

Cajazeiras-PB
2025

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Prof. Ribamar da Silva

Catálogo na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

S586p Silva, Felipe Carvalho da.
Projeto de bancada com aquisição de dados e supervisor para
powertrain e freios de um veículo tipo Baja / Felipe Carvalho da
Silva, Geovani Santos Borges.– 2025.

69f. : 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(a): Prof. Me. Edleusom Saraiva da Silva.

1. Controle automático. 2. Baja SAE. 3. Sistema de freios. 4.
Monitoramento de powertrain. I. Borges, Geovani Santos. II. Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. III. Título.

IFPB/CZ

CDU: 681.5(043.2)

Felipe Carvalho da Silva
Geovani Santos Borges

**Projeto de Bancada com Aquisição de Dados e Supervisório para Powertrain e Freios
de um Veículo Tipo Baja**

Trabalho de Conclusão de Curso, sob forma de artigo, submetido à Coordenação do Curso 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 02 de Outubro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **EDLEUSOM SARAIVA DA SILVA**
Data: 02/10/2025 18:38:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Edleusom Saraiva da Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **LEONARDO PEREIRA DE LUCENA SILVA**
Data: 02/10/2025 17:45:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Leonardo Pereira de Lucena Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 1

Documento assinado digitalmente
 **PAULO RICARDO DE OLIVEIRA QUEIROZ**
Data: 02/10/2025 14:30:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Paulo Ricardo de Oliveira Queiroz – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 2

RESUMO

O programa Baja SAE Brasil constitui-se em uma competição acadêmica que desafia equipes de engenharia a projetar e construir veículos off-road monopostos, promovendo a integração de conhecimentos multidisciplinares e o desenvolvimento de soluções inovadoras para desafios práticos de engenharia. Nesse contexto, os sistemas de transmissão e de freios assumem papel central, pois influenciam diretamente a segurança, a confiabilidade e o desempenho do protótipo em provas dinâmicas. Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma bancada experimental destinada à aquisição de dados, análise e supervisão de parâmetros relacionados ao powertrain e ao sistema de freios de um veículo Baja SAE. A metodologia empregada compreendeu a modelagem da estrutura da bancada em software CAD, a realização de análises mecânicas para avaliação de resistência, deformação e rigidez frente às cargas impostas, bem como o projeto de um sistema elétrico integrado, contemplando a alimentação, o sensoriamento e o controle dos atuadores. Foram implementadas rotinas de medição de variáveis como torque de frenagem, velocidade de rotação e temperatura, além de estratégias de isolamento e proteção elétrica. Para o monitoramento em tempo real, desenvolveu-se um sistema supervisório baseado na plataforma Node-RED, utilizando o protocolo MQTT para comunicação entre a unidade de controle microcontrolada e a interface gráfica, o que garante confiabilidade na transmissão de dados e baixo tempo de resposta. Os resultados obtidos demonstraram que a bancada é capaz de reproduzir condições de operação semelhantes às enfrentadas nas provas da competição, fornecendo dados consistentes para validação de modelos, dimensionamento de componentes e análise de desempenho. Conclui-se que a integração entre modelagem estrutural, instrumentação elétrica e supervisão computacional resultou em uma ferramenta robusta para experimentação, validação e otimização de sistemas aplicados ao Baja SAE.

Palavras-chave: Baja SAE; bancada experimental; sistema de freios; powertrain; supervisório.

ABSTRACT

The Baja SAE Brazil program is an academic competition that challenges engineering teams to design and build single-seat off-road vehicles, promoting the integration of multidisciplinary knowledge and the development of innovative solutions for practical engineering challenges. In this context, the transmission and braking systems play a central role, as they directly affect safety, reliability, and vehicle performance in dynamic tests. This work aims to develop an experimental test bench designed for data acquisition, analysis, and supervision of parameters related to the powertrain and braking system of a Baja SAE vehicle. The methodology included modeling the bench structure in CAD software, performing mechanical analyses to evaluate resistance, deformation, and stiffness under applied loads, and designing an integrated electrical system covering power supply, sensing, and actuator control. Measurement routines for variables such as braking torque, rotational speed, and temperature were implemented, as well as strategies for electrical isolation and protection. For real-time monitoring, a supervisory system was developed using the Node-RED platform, with MQTT protocol enabling communication between the microcontroller-based control unit and the graphical interface, ensuring reliable data transmission and fast response time. The results demonstrated that the bench is capable of reproducing operating conditions similar to those found in competition tests, providing consistent data for model validation, component sizing, and performance analysis. It is concluded that the integration of structural modeling, electrical instrumentation, and computational supervision resulted in a robust tool for experimentation, validation, and optimization of systems applied to Baja SAE.

Keywords: Baja SAE; experimental test bench; braking system; powertrain; supervisory system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Veículo Baja	17
Figura 2 – Motor Honda Gx 390.	19
Figura 3 – Transmissão CVT	19
Figura 4 – Caixa de redução.	20
Figura 5 – Semieixos.	20
Figura 6 – Esquema de um sistema de freio hidráulico a disco.....	23
Figura 7 – Relação de alavanca do pedal de freio.	24
Figura 8 – Princípio de Pascal no sistema de freio a disco.....	25
Figura 9 – Freio de Prony	26
Figura 10 – Microcontrolador ESP32 DEVEKIT 38 pinos.....	27
Figura 11 – Sensor de temperatura termopar tipo K e módulo de leitura MAX6675.	28
Figura 12 – Sensor de proximidade Indutivo NPN - LJ12A3-4-Z/BX.	29
Figura 13 – Célula de carga tipo S.....	29
Figura 14 - Amplificador de célula de carga HX711.....	30
Figura 15 – Conversor HLK-5D1205.....	31
Figura 16 – Módulo Regulador de Tensão Step Down LM2596.....	31
Figura 17 – Optoacoplador 4N35.	32
Figura 18 – Optoacoplador de alta frequência 6N137.....	33
Figura 19 – Ponte H Dupla L298N.....	33
Figura 20 – Atuador Elétrico Linear.....	34
Figura 21 – Fonte Chaveada.	35
Figura 22 – Tipos de fusíveis.....	35
Figura 23 – Node-Red.....	36
Figura 24 – Arquitetura publicador/assinante MQTT	36
Figura 25 – Controle em malha fechada.....	37
Figura 26 – Fluxograma das fases de execução do projeto	38
Figura 27 – Modelo 3D da bancada estrutural.....	41
Figura 28 – Vistas ortogonais e dimensões da bancada.....	43
Figura 29 – Bancada com elementos detalhados.	44
Figura 30 – Vista frontal da bancada.	45
Figura 31 – Vista lateral da bancada.	45
Figura 32 – Vista superior da bancada.....	46
Figura 33 – Conjunto de acionamento do sistema de frenagem da bancada.	46
Figura 34 – Conjunto do sistema de frenagem com freio de Prony adaptado.	47
Figura 35 – Esforços desenvolvidos pelo conjunto freio de Prony	47
Figura 36 – Deformação na estrutura da bancada.....	48
Figura 37 – Análise de tensões na estrutura	49
Figura 38 – Tensão na chapa do motor	50
Figura 39 – Tensão na chapa de suporte do freio Prony.....	51

Figura 40 – Esquema elétrico do circuito de 12V da bancada.....	54
Figura 41 – Esquema elétrico do circuito de 5 V/3,3 V da bancada.....	55
Figura 42 – Circuito esquemático da ponte H e optoacopladores.....	56
Figura 43 – Dashboard para seleção de força de acionamento e monitoramento dos parâmetros da malha fechada.	57
Figura 44 – Dashboard para monitoramento dos parâmetros aferidos do sistema de powertrain.	58
Figura 45 – Dashboard para monitoramento dos parâmetros aferidos do sistema de frenagem... 59	59
Figura 46 – Configuração para relação de alavanca 6:1.....	65
Figura 47 – Configuração para relação de alavanca 5:1.....	65
Figura 48 – Configuração para relação de alavanca 4:1.....	66
Figura 49 – Esquemático do circuito de instrumentação da bancada.....	67
Figura 50 – Nós Node-Red do broker MQTT, seleção de força de acionamento e gráfico do sistema em malha fechada do acionamento.....	68
Figura 51 – Nós Node-Red para receber, modularizar e exibir os dados do sistema de frenagem.	68
Figura 52 – Nós Node-Red para receber, modularizar e exibir dados do sistema de powertrain. 68	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros de Simulação e Softwares Utilizados.....	40
Tabela 2 – Especificações do aço 1020 utilizado.....	42
Tabela 3 – Levantamento de carga.....	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC - *Alternating Current* (Corrente Alternada)

AC/DC - Corrente Alternada para Corrente Contínua

CAD - *Computer-Aided Design* (Desenho Assistido por Computador)

CAE - *Computer-Aided Engineering* (Engenharia Assistida por Computador)

CC - Corrente Contínua

CC/CC - Corrente Contínua para Corrente Contínua

CVT - *Continuously Variable Transmission* (Transmissão Continuamente Variável)

DAQ - *Data Acquisition* (Aquisição de Dados)

Droda - Diâmetro do pneu

F - Força

Fa - Força aplicada

Ff - Força de frenagem

FEA - *Finite Element Analysis* (Análise por Elementos Finitos)

Ft - Força de tração

IBM - International Business Machines

MQTT - *Message Queuing Telemetry Transport*

n - Rotação em rpm

P - Potência

PWM - *Pulse Width Modulation* (Modulação por Largura de Pulso)

QoS - *Quality of Service* (Nível de Qualidade de Serviço)

R - Raio (Disco de freio)

Rp - Relação de pedal

SAE - *Society of Automotive Engineers*

SCADA - *Supervisory Control and Data Acquisition* (Controle e Aquisição de Dados Supervisório)

T - Torque

Tdisc - Torque gerado pelo disco de freio

VCC - Tensão em corrente contínua

ω - Velocidade Angular

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo Geral	16
2.2 Objetivos específicos	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 A Competição Baja SAE e a Importância da Validação Experimental	17
3.2 Fundamentos Teóricos Aplicados ao Powertrain.....	19
3.3 Fundamentos Teóricos Aplicados ao Sistema de Freios.....	23
3.4 Sistema de instrumentação, supervisão e controle.....	27
3.4.1 Controlador ESP32.....	27
3.4.2 Sensores	28
3.4.2.1 Sensor de temperatura.....	28
3.4.2.2 Sensor indutivo	28
3.4.2.3 Células de carga tipo S.....	29
3.4.2.4 Módulo amplificador HX711	30
3.4.3 Componentes de alimentação, proteção e controle	30
3.4.3.1 Reguladores de tensão	30
3.4.3.2 Optoacoplador.....	32
3.4.3.3 Ponte H L298N.....	33
3.4.3.4 Atuador elétrico linear	34
3.4.3.5 Fonte de alimentação	34
3.4.3.6 Fusíveis	35
3.5 Sistema Supervisório	35
3.6 Método de controle em malha fechada	37
4 MÉTODO DA PESQUISA.....	38
4.1 Levantamento de Requisitos Técnicos	38
4.2 Modelagem Conceitual e Estrutural da Bancada.....	38
4.3 Dimensionamento Teórico dos Sistemas	38
4.4 Análises Estruturais	39
4.5 Definição da Instrumentação Virtual.....	39
4.6 Proposta de Sistema Supervisório.....	39
5 RESULTADOS DA PESQUISA	41
5.1 Projeto estrutural.....	41
5.2 Projeto de instrumentação e supervisão.....	52
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
REFERÊNCIAS.....	60
APÊNDICE A – CONFIGURAÇÕES DO ACIONAMENTO DO SISTEMA DE FRENAGEM.....	64
APÊNDICE B – CIRCUITO DE INSTRUMENTAÇÃO DA BANCADA.....	66

APÊNDICE C – SISTEMA SUPERVISÓRIO NODE-RED	67
---	-----------

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de pesquisas na graduação constitui uma etapa essencial para a formação acadêmica, pois permite ao estudante aplicar conceitos teóricos em situações práticas, exercitando a análise crítica, a solução de problemas e a inovação tecnológica. Além de contribuir para a consolidação do conhecimento, a pesquisa proporciona experiências que aproximam o aluno da realidade profissional e fortalece sua capacidade de trabalhar em equipe e lidar com desafios multidisciplinares (GIL, 2017).

Nesse contexto, destaca-se a competição Baja SAE, promovida pela Society of Automotive Engineers (SAE), que desafia equipes universitárias a projetar e construir um veículo off-road de pequeno porte. Essa atividade funciona como um ambiente prático de aprendizado, no qual os estudantes precisam integrar conhecimentos de diferentes áreas da engenharia e gestão de projetos, aplicando-os em um protótipo capaz de enfrentar terrenos irregulares e provas de resistência (SAE BRASIL, 2024; COSTA et al., 2020).

O desenvolvimento de veículos off-road para competições estudantis, como o Baja SAE, exige a análise e validação rigorosa dos seus sistemas mecânicos, especialmente os de transmissão e frenagem. Esses subsistemas são fundamentais para o desempenho, segurança e confiabilidade do veículo em ambientes adversos, caracterizados por esforços variáveis, terrenos irregulares e condições operacionais extremas (GURGEL; MARTINS, 2019). A robustez e a eficiência desses sistemas impactam diretamente no sucesso da equipe nas provas dinâmicas e de resistência, e o projeto extrapola o caráter competitivo, servindo como um instrumento de aprendizagem aplicada e de aproximação com a realidade profissional (COSTA et al., 2020; SAE BRASIL, 2024).

Um veículo Baja SAE é composto por diversos subsistemas que, de forma integrada, garantem o seu funcionamento e desempenho em condições severas de uso. A estrutura principal é formada pelo chassi, projetado para oferecer resistência mecânica, rigidez e segurança ao piloto. Os sistemas de suspensão, direção e rodas/pneus atuam em conjunto para garantir a estabilidade, absorver impactos, assegurar a tração e proporcionar precisão no controle do veículo em terrenos irregulares. O sistema elétrico integra baterias, sensores e dispositivos de instrumentação que apoiam tanto a operação quanto o monitoramento do veículo. Por fim, os subsistemas de powertrain (motor, transmissão e componentes

associados) e de frenagem destacam-se como essenciais para a eficiência energética, segurança e controle do veículo, sendo estes os elementos centrais abordados neste trabalho (COSTA et al., 2020; SAE BRASIL, 2023; GURGEL; MARTINS, 2019).

O sistema de powertrain, composto pelo motor, pela Transmissão Contínua Variável (CVT) e pela caixa de redução, tem como função principal transmitir a potência gerada pelo motor até as rodas motrizes. Trata-se, portanto, do conjunto responsável por transformar a energia de combustão em movimento, garantindo que o veículo tenha força suficiente para vencer terrenos irregulares, rampas íngremes e condições adversas. Sua correta concepção e calibração influenciam diretamente no desempenho global do veículo, na eficiência energética e na durabilidade dos componentes (FARIA et al., 2018). Já o sistema de freios, formado por disco, pinça, cilindro mestre, acionamentos e componentes auxiliares, é indispensável para a desaceleração segura e controlada do veículo, assegurando a estabilidade e a proteção do piloto. Além da capacidade de parar o veículo, esse sistema deve ser validado quanto à sua resistência térmica, resposta rápida e confiabilidade em diferentes condições de aderência, que são características comuns em terrenos off-road (FERNANDES; LIMA, 2020).

Embora neste trabalho o foco esteja voltado ao contexto acadêmico e à competição Baja SAE, a relevância dos sistemas de powertrain e de freios extrapola esse ambiente. Ambos são tecnologias centrais em qualquer veículo automotivo, sejam eles de passeio, utilitários ou veículos pesados, e estão diretamente ligados a demandas atuais do mercado, como eficiência energética, segurança e sustentabilidade. O estudo, a análise e a validação desses subsistemas formam a base para inovações em mobilidade, incluindo o desenvolvimento de soluções voltadas para veículos elétricos e híbridos, além de estarem alinhados às exigências da indústria automotiva por maior desempenho e confiabilidade em cenários cada vez mais competitivos (FERNANDES; LIMA, 2020; SILVA et al., 2019; GURGEL; MARTINS, 2019).

Nesse cenário, a construção de bancadas experimentais surge como uma estratégia eficiente para antecipar o comportamento desses sistemas, oferecendo um ambiente controlado de testes que simula as condições reais de operação do veículo. Ao permitir a reprodução de esforços, ciclos de carga e variações de temperatura e rotação, a bancada de testes possibilita validar projetos, identificar falhas potenciais e otimizar parâmetros antes da aplicação em campo (OLIVEIRA et al., 2021). Essa abordagem contribui diretamente para a segurança do

projeto, a redução de custos com retrabalho e a maior confiabilidade dos resultados obtidos. A relevância de tais equipamentos no contexto de competições acadêmicas como o Baja SAE é amplamente corroborada por diversos estudos, que utilizam bancadas para validar projetos, otimizar componentes e garantir a segurança e o desempenho dos protótipos (POCHE, 2023; BISOL, 2021; NIEHUES; COSTA, 2019).

Adicionalmente, para garantir a precisão na avaliação do desempenho dos sistemas testados, torna-se imprescindível o uso de sensoriamento adequado. A implementação de sensores para coleta de dados em tempo real, como rotação, torque, temperatura e força de frenagem, possibilita um diagnóstico mais detalhado do comportamento dinâmico dos componentes. Esses dados são integrados a um sistema supervisor, responsável pelo monitoramento, armazenamento e visualização gráfica dos parâmetros durante os ensaios. Tal integração proporciona maior controle do processo experimental, além de subsidiar a análise comparativa com dados simulados ou esperados, promovendo o aperfeiçoamento contínuo dos projetos desenvolvidos pela equipe (SILVA et al., 2022).

Este trabalho se destaca por envolver de forma integrada três ênfases fundamentais da engenharia: a mecânica, responsável pelo dimensionamento estrutural da bancada e análise dos componentes em teste; a elétrica, dedicada ao projeto dos circuitos de alimentação, acionamento e proteção dos dispositivos utilizados; e a automação e controle, voltadas ao desenvolvimento do sistema de aquisição de dados, implementação de malhas de controle no acionamento do sistema de frenagem e comunicação com os sensores, além da programação do sistema supervisor. Apesar da relevância do tema, ainda são escassos os trabalhos que abordam de forma integrada a construção de bancadas experimentais voltadas simultaneamente para os subsistemas de powertrain e frenagem em veículos off-road. A maioria dos estudos encontrados na literatura concentra-se em apenas um dos subsistemas, seja o de transmissão ou o de freios, ou então limita-se a análises computacionais e simulações numéricas, sem avançar para a validação experimental em bancada, o que evidencia a originalidade e a contribuição deste projeto no cenário acadêmico e tecnológico (OLIVEIRA et al., 2021; MEDEIROS; SANTOS; FREITAS, 2021; BISOL, 2021).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar o projeto de uma bancada experimental voltada para a realização de testes dos subsistemas de powertrain e freios do veículo Baja SAE, desenvolvido pela equipe Caja Baja. A estrutura da bancada foi projetada

para suportar os esforços gerados durante os testes e permitir medições de desempenho em condições próximas às reais de uso. Além disso, o sistema contempla o monitoramento em tempo real dos parâmetros mais relevantes e a integração com um sistema supervisório dedicado, proporcionando maior confiabilidade à validação experimental e contribuindo para a consolidação de uma metodologia eficiente de desenvolvimento mecânico em ambiente acadêmico.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Projetar uma bancada de testes dinâmicos para análise do desempenho da transmissão e do sistema de frenagem do veículo Baja SAE da equipe Cajabaja, integrando sistema de aquisição de dados e monitoramento em tempo real por meio de um sistema supervisorio, de modo a possibilitar a avaliação experimental de parâmetros críticos — como torque, potência, velocidade angular, relação de transmissão, força de frenagem e temperatura — e fornecer uma base técnica para futuros testes, validações e aprimoramentos do protótipo.

2.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, foram delineados os seguintes objetivos específicos:

- Realizar revisão bibliográfica sobre bancadas de testes dinâmicos aplicadas a sistemas de transmissão e frenagem em veículos off-road, com ênfase no projeto Baja SAE.
- Definir os requisitos técnicos e funcionais necessários ao projeto da bancada, considerando as particularidades do veículo da equipe Cajabaja.
- Projetar a bancada de testes dos sistemas de transmissão e frenagem, especificando os componentes mecânicos, os mecanismos de carga simulada, a estrutura de suporte e demais elementos construtivos necessários para reproduzir condições reais de operação do protótipo.
- Selecionar e integrar sensores, atuadores e dispositivos de aquisição de dados capazes de mensurar parâmetros críticos como torque, potência, rotação, temperatura e força de frenagem.
- Desenvolver uma interface de supervisão e monitoramento em tempo real, utilizando software supervisorio, para visualização e armazenamento dos dados experimentais.
- Realizar simulações e validações computacionais dos modelos projetados, utilizando ferramentas de engenharia assistida por computador (CAE), a fim de verificar o dimensionamento e a funcionalidade da bancada.
- Avaliar a viabilidade técnica do projeto, considerando aplicabilidade e potencial de reaproveitamento em futuras versões do protótipo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A Competição Baja SAE e a Importância da Validação Experimental

A competição Baja SAE Brasil configura-se como uma iniciativa acadêmica de caráter prático-pedagógico, promovida pela *Society of Automotive Engineers* (SAE), com o intuito de aproximar os estudantes de engenharia da realidade da indústria automotiva por meio do desenvolvimento completo de um veículo *off-road* monoposto. Esse veículo deve possuir chassi tubular e motorização padronizada, sendo projetado e construído integralmente pelas equipes participantes, exigindo competências em diversas áreas da engenharia, como dinâmica veicular, materiais, sistemas mecânicos, automação, controle e gestão de projeto (SAE BRASIL, 2024). A Figura 1, ilustra um exemplo típico de veículo Baja SAE, evidenciando seu chassi tubular, rodas de grande diâmetro e suspensão independente, características essenciais para a resistência e estabilidade em terrenos irregulares, permitindo ao leitor compreender de forma visual a complexidade do projeto e a integração dos diferentes subsistemas que compõem o veículo, reforçando o caráter prático e multidisciplinar da competição.

Figura 1 – Veículo Baja



Fonte: CORREIO MECÂNICO, 2021.

A competição é estruturada em provas estáticas e dinâmicas, com enfoque técnico e prático. As estáticas abrangem *Design*, *Cost* e *Sales*, voltadas à fundamentação teórica do projeto, à viabilidade econômica de produção e à capacidade de apresentação técnica do veículo a potenciais investidores. Já as provas dinâmicas avaliam diretamente o desempenho

do protótipo em condições adversas, contemplando aspectos como aceleração (eficiência na conversão de potência em velocidade), tração (capacidade de transmitir torque ao solo), manobrabilidade (agilidade e precisão direcional), suspensão (absorção de impactos e estabilidade) e enduro (durabilidade e confiabilidade estrutural em operação prolongada).

Nesse contexto, o desenvolvimento de uma bancada experimental dedicada aos sistemas de *powertrain* e frenagem surge como ferramenta crucial para a análise prévia, validação e otimização desses subsistemas. Segundo Vieira et al. (2018), bancadas de testes permitem simular cargas reais, mensurar parâmetros críticos e antecipar falhas, fornecendo dados objetivos para a tomada de decisão de projeto. O uso de instrumentação eletrônica e aquisição de dados (*DAQ*) possibilita registrar grandezas como torque, temperatura, rotação, pressão hidráulica e velocidade linear, permitindo análises de desempenho em tempo real (MEDEIROS et al., 2021).

A validação do sistema de transmissão em bancada possibilita verificar a eficiência da variação contínua de polias no *CVT* (*Continuously Variable Transmission*), além de testar diferentes relações de transmissão e comportamento sob carga. Isso impacta diretamente nas provas de aceleração e tração. Já a análise do sistema de freios em bancada permite avaliar parâmetros essenciais como o torque de frenagem gerado pelo conjunto pinça–disco, o tempo de resposta, a dissipação térmica, o esforço no pedal e o comportamento sob aquecimento prolongado, todos aspectos críticos para o desempenho e segurança durante a prova de Enduro.

Além disso, Batalha e Oliveira (2022) destacam que o uso de sistemas supervisórios em ambientes laboratoriais, com softwares *SCADA* ou plataformas como Node-RED, possibilita monitoramento em tempo real, uma maior capacidade de gerenciar, ajustar e automatizar variáveis do sistema e repetibilidade dos ensaios.

Portanto, ao permitir a comparação entre configurações, simulação de falhas controladas e testes repetitivos em condições padronizadas, a bancada experimental não apenas otimiza o desempenho do protótipo nas provas dinâmicas da Baja SAE, mas também contribui para a formação de engenheiros capacitados para atuar em contextos industriais, com ênfase em testes, prototipagem e validação de sistemas mecatrônicos.

3.2 Fundamentos Teóricos Aplicados ao Powertrain

O sistema de *powertrain* dos veículos Baja SAE é responsável pela geração, modulação e transmissão de potência do motor até as rodas, sendo composto por um motor a

combustão padronizado pela competição — geralmente um Honda de 13 hp —, uma transmissão continuamente variável (CVT), uma caixa de redução e os semieixos. Esse conjunto é determinante para o desempenho do veículo nas provas dinâmicas, especialmente nas etapas de tração, aceleração e enduro, onde a resposta em torque e a estabilidade de operação são avaliadas em condições severas de carga.

O motor a combustão gera a energia mecânica a partir da queima de combustível, fornecendo torque e potência ao veículo. A Figura 2 apresenta o motor utilizado na competição, o qual se destaca por sua alta confiabilidade, capacidade de operação contínua sob carga e manutenção relativamente simples.

Figura 2 – Motor Honda Gx 390.



Fonte: AFORNECEDORA, 2021

A Figura 3 apresenta a transmissão continuamente variável (CVT), responsável por modular a relação de transmissão entre o motor e a caixa de redução. Esse sistema permite que o veículo mantenha a rotação ideal do motor em diferentes velocidades e condições de carga. Além disso, possui ajuste automático de relação, entrega torque de forma uniforme, melhora a eficiência energética e contribui significativamente para o desempenho do veículo em terrenos variados.

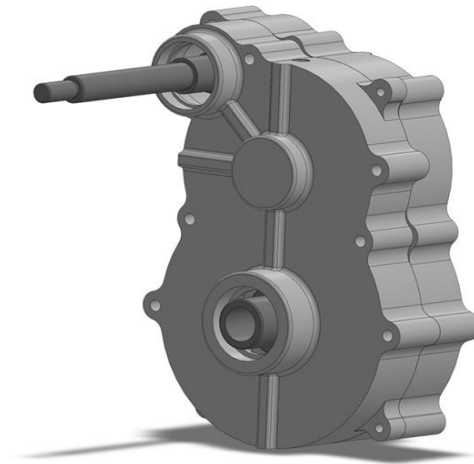
Figura 3 – Transmissão CVT.



Fonte: COMET CLUTCHES, 2021.

A Figura 4 apresenta a caixa de redução, responsável por diminuir a rotação recebida da CVT e, conseqüentemente, aumentar o torque transmitido às rodas. Esse componente é essencial para a superação de obstáculos e terrenos íngremes, destacando-se por sua elevada resistência mecânica e por ser dimensionado para suportar cargas dinâmicas e impactos.

Figura 4 – Caixa de redução.



Fonte: Autoria Própria, 2025.

A Figura 5 apresenta os semieixos, responsáveis por transmitir o torque da caixa de redução para as rodas motrizes, permitindo a rotação independente de cada roda quando necessário, o que garante a manutenção da tração e da estabilidade do veículo. Esse componente destaca-se pela precisão na transmissão, resistência a torques elevados e impactos, além da capacidade de suportar variações de carga em terrenos irregulares.

Figura 5 – Semieixos.



Fonte: DEMON POWERSPORTS, 2021.

Devido à natureza *off-road* da competição, o *powertrain* deve garantir alta entrega de torque em baixas rotações, suportando impactos e variações bruscas de carga. A escolha da relação de transmissão, os ajustes na CVT e o dimensionamento da caixa de redução influenciam diretamente no desempenho, no consumo de combustível, na dissipação térmica e na durabilidade dos componentes. Além disso, o projeto deve considerar as perdas mecânicas e o comportamento térmico em situações prolongadas de esforço, como nas provas de enduro.

Ensaio em bancada, com instrumentação para medição de torque, rotação e temperatura, permitem avaliar esses parâmetros com maior controle, validar modelos matemáticos e otimizar a eficiência energética e mecânica do conjunto. Segundo Costa *et al.* (2020), a caracterização do comportamento dinâmico do *powertrain* em condições laboratoriais fornece subsídios essenciais para decisões projetuais, reduzindo incertezas e retrabalhos no desenvolvimento do veículo. De forma complementar, Silva *et al.* (2019) destacam a relevância da integração entre a análise estrutural e a resposta dinâmica do sistema para assegurar confiabilidade e competitividade nas provas.

As principais equações aplicadas ao estudo do *powertrain* são:

(1) Potência Mecânica

$$P = T \cdot \omega \quad (1)$$

Onde:

P = potência (W);

T = torque (N·m);

ω = velocidade angular (rad/s), sendo $\omega = 2\pi n / 60$ a rotação em rpm.

Permite correlacionar curva de torque e rotação, auxiliando na escolha da transmissão ideal

(2) Relação de Transmissão

$$i = \frac{n_{motor}}{n_{roda}} \quad (2)$$

Onde:

i = relação de transmissão;

n_{motor} = rotação do motor (rpm);

n_{roda} = rotação da roda (rpm).

Controla força de tração e capacidade de vencer obstáculos.

(3) Velocidade do Veículo

$$v = \frac{\pi \cdot D_{roda} \cdot n_{roda}}{60} \quad (3)$$

Onde:

v = velocidade linear (m/s);

D_{roda} = diâmetro externo do pneu (m);

n_{roda} = rotação da roda (rpm).

Relaciona geometria do pneu e rotação com a velocidade final.

(4) Força de Tração

$$F_t = \frac{T_{roda}}{r} \quad (4)$$

Onde:

F_t = força de tração (N);

T_{roda} = torque disponível na roda (N·m);

r = raio efetivo do pneu (m).

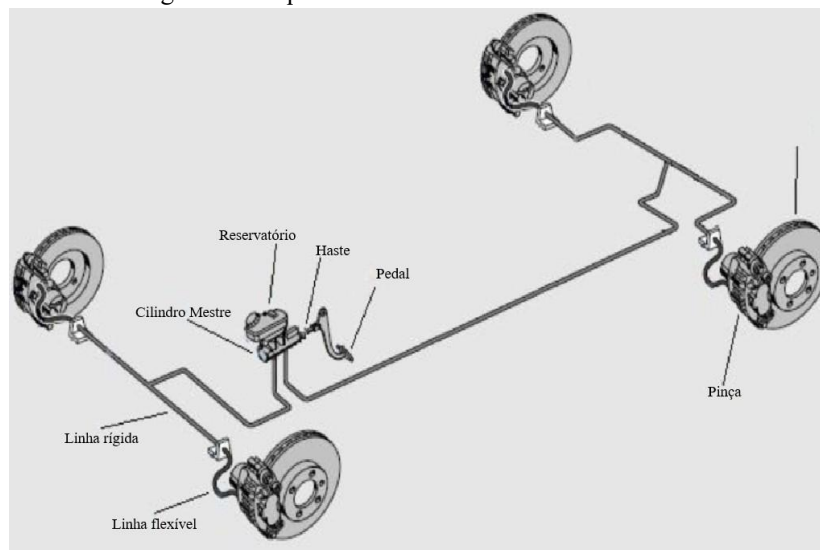
Determina a capacidade do veículo em vencer rampas e terrenos irregulares.

3.3 Fundamentos Teóricos Aplicados ao Sistema de Freios

O sistema de freios do Baja SAE deve atender às exigências do Regulamento Baja SAE Brasil (2024), que determina a utilização de freios hidráulicos, capazes de travar as quatro rodas do veículo quando acionados. O acionamento deve ser feito por um único pedal, e o sistema deve ser dividido em pelo menos dois circuitos hidráulicos independentes, garantindo que, em caso de falha de um circuito, a capacidade de frenagem seja mantida em no mínimo duas rodas.

A Figura 6 apresenta um esquema de um sistema de freio hidráulico a disco, semelhante ao adotado pela equipe Cajabaja. No projeto desenvolvido, a configuração é composta por discos, pinças, pastilhas, cilindro mestre duplo, pedal e linhas hidráulicas, todos dimensionados para suportar as cargas e condições severas das provas. O cilindro mestre duplo separa fisicamente os dois circuitos, assegurando redundância: mesmo com perda de pressão ou falha mecânica em um circuito, o outro mantém a frenagem parcial.

Figura 6 – Esquema de um sistema de freio hidráulico a disco.

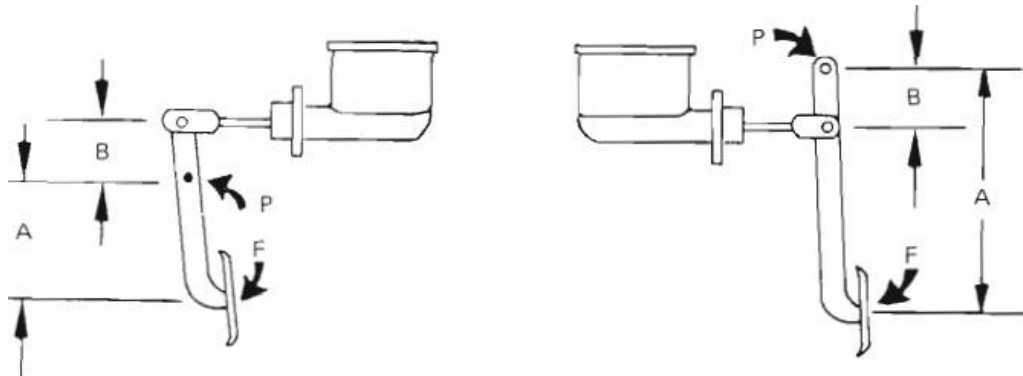


Fonte: Adaptado de Reif, 2014.

A escolha do conjunto disco-pinça, em detrimento do freio a tambor, justifica-se pela manutenção simplificada, facilidade de adaptação aos parâmetros do projeto, melhor desempenho na dissipação de calor e maior resistência à fadiga térmica, reduzindo o risco de *fading*, fenômeno que diminui temporariamente a eficiência da frenagem devido ao aquecimento excessivo (BOSCH, 2014).

O funcionamento é baseado na atuação hidráulica: a força exercida pelo piloto no pedal é amplificada pela relação de alavanca do conjunto (Figura 7), transmitindo pressão ao fluido de freio no cilindro mestre. Essa pressão desloca os pistões da pinça, pressionando as pastilhas contra o disco. O atrito converte energia cinética em calor, que precisa ser dissipado para evitar o *fading*.

Figura 7 – Relação de alavanca do pedal de freio.



Fonte: PUHN, 1985.

Na Figura 7, segundo Puhn, o ponto P representa o eixo de fixação do pedal, enquanto F é a força aplicada pelo piloto, que é multiplicada pela relação de alavanca do pedal para gerar uma força maior sobre o êmbolo do cilindro mestre, conforme expresso na equação 5.

$$R_p = \frac{A}{B} \quad (5)$$

onde:

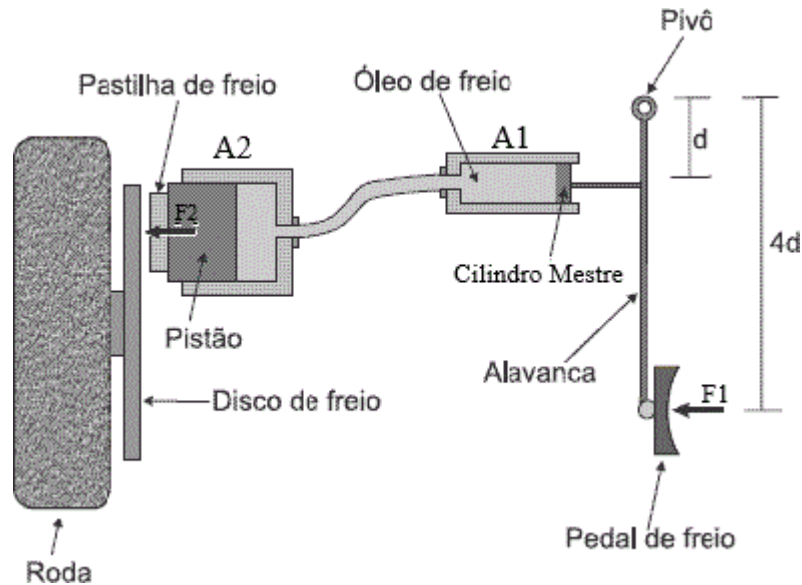
R_p = Relação do pedal;

A = Distância entre a força de acionamento e o eixo de fixação do pedal;

B = Distância entre o eixo de fixação do pedal ao cilindro mestre.

Segundo Reif (2014), o cilindro mestre de freio é responsável por converter a força aplicada no pedal de freio em pressão hidráulica. Esse componente atua como um mecanismo amplificador de forças baseado no Princípio de Pascal (Figura 8), onde uma força é aplicada em um fluido incompressível e sua pressão é transmitida igualmente para todos os pontos.

Figura 8 – Princípio de Pascal no sistema de freio a disco.



Fonte: Adaptado Fantástico da Física, 2012.

Pelo Princípio de Pascal ao aplicar uma força (F_1) em um pistão (A_1) de área menor do que a do segundo pistão, resulta em uma força (F_2) de sentido contrário a força aplicada, diretamente proporcional ao aumento de área do segundo pistão (A_2) em comparação ao primeiro, relação descrita pela equação 6.

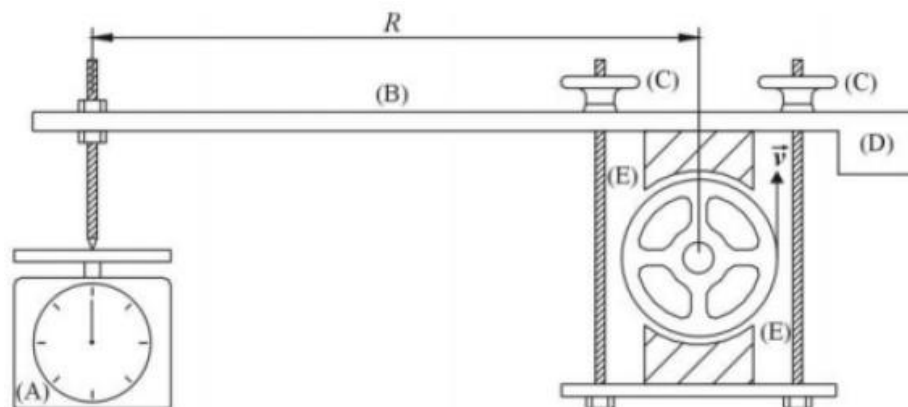
$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad (6)$$

O torque de frenagem, gerado pela força de atrito entre as pastilhas e o disco durante o acionamento, é o principal parâmetro associado ao desempenho de um sistema de freios. Ele expressa a capacidade do sistema de converter energia cinética em energia térmica, determinando diretamente a desaceleração do veículo e a eficiência do processo de frenagem (LIMPERT, 2011; GILLESPIE, 2014). O valor do torque de frenagem (T) depende da força aplicada pelas pastilhas (F) e do raio efetivo do disco de freio (R), de modo que discos de maior raio aumentam o torque disponível para desaceleração do veículo, melhorando a eficiência do sistema (LIMPERT, 2011; GILLESPIE, 2014), como expresso na equação 7.

$$T = F \cdot R \quad (7)$$

Considerando a relevância do torque de frenagem, a bancada de testes foi equipada com freios de Prony. Este dinamômetro de fricção, desenvolvido pelo engenheiro francês Gaspard Prony em 1821, é destinado à aferição de torque e potência. Seu princípio de funcionamento baseia-se na aplicação de atrito controlado sobre um eixo rotativo, cuja reação é transmitida a um braço de alavanca instrumentado com uma célula de carga (Figura 9). A partir da força registrada e da distância do braço, calcula-se o torque de frenagem, permitindo avaliar o desempenho do sistema em diferentes condições de carga. O conceito do Freio de Prony, ilustrado na Figura 9, é um método clássico para medição de torque e serviu de inspiração para o desenvolvimento de dinamômetros de baixo custo. Em projetos recentes no âmbito do Baja SAE, o princípio foi adaptado para medir o torque de motores (DEBIAZZI FILHO, 2022) e o torque de frenagem em bancadas de teste (NIEHUES; COSTA, 2019), demonstrando sua versatilidade e aplicabilidade.

Figura 9 – Freio de Prony.



Fonte: Pereira, 2006.

3.4 Sistema de instrumentação, supervisão e controle

O sistema elétrico da bancada experimental voltada ao teste de *powertrain* e freios de um veículo Baja SAE desempenha papel essencial na alimentação, aquisição de dados e comunicação entre os diferentes subsistemas, garantindo que motores, sensores e controladores operem de forma segura e eficiente. No que se refere à alimentação elétrica, a escolha adequada da tensão de alimentação, das bitolas de cabos e dos dispositivos de proteção (fusíveis, disjuntores, relés) é determinante para evitar falhas durante a operação e prolongar a vida útil dos componentes. Um dimensionamento incorreto pode levar a sobreaquecimento, quedas de tensão excessivas, mau funcionamento de equipamentos e, em

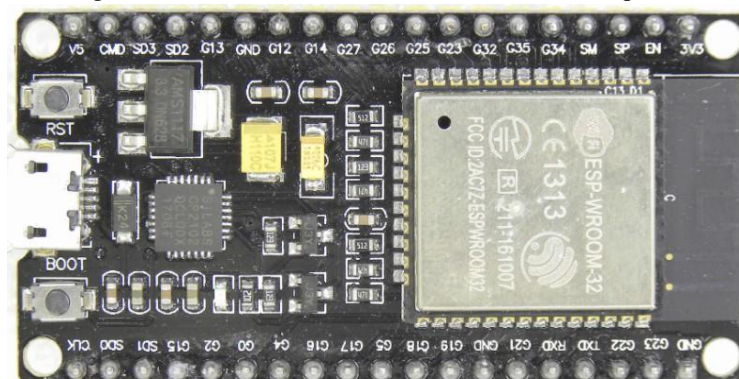
casos extremos, a incêndios ou danos permanentes aos dispositivos. A seleção criteriosa desses elementos garante a segurança operacional, a eficiência energética e a confiabilidade do sistema elétrico como um todo (ABNT, 2004).

Para assegurar essas condições, o sistema foi projetado com módulos específicos de controle, aquisição e proteção, descritos a seguir, incluindo o microcontrolador principal, os sensores utilizados e os dispositivos de interface e isolamento.

3.4.1 Controlador ESP32

O ESP32 (Figura 10) é um microcontrolador de alta performance, com núcleo dual-core e conectividade Wi-Fi/Bluetooth integrada, amplamente utilizado em sistemas de automação e monitoramento. Sua capacidade de operar com múltiplos protocolos (UART, I2C, SPI, CAN) e de processar dados de sensores de forma eficiente o torna adequado para o gerenciamento dos sinais elétricos da bancada (ESPRESSIF, 2022).

Figura 10 – Microcontrolador ESP32 DEVEKIT 38 pinos.



Fonte: ELETROGATE, 2024.

No contexto do Baja SAE, o ESP32 atuará como unidade de controle principal, realizando:

- Leitura e processamento dos dados de sensores;
- Transmissão das informações via Wi-Fi e MQTT para o sistema supervisor;
- Controle em malha fechada da velocidade do motor CC.

3.4.2 Sensores

A seleção dos sensores foi orientada pelas variáveis críticas necessárias para a avaliação de desempenho do sistema de transmissão e frenagem em um veículo Baja SAE. Os dispositivos utilizados, foram:

3.4.2.1 Sensor de temperatura

O módulo de MAX6675 (Figura 11) é um conversor termopar–digital que opera via interface SPI, com resolução de 0,25 °C e tempo típico de resposta de 0,25 segundos. Ele é utilizado em conjunto com o termopar tipo K, sensor amplamente empregado em medições industriais pela sua robustez, baixo custo e ampla faixa de operação (0 °C a +1024 °C). Essa configuração garante medições rápidas e estáveis em ambientes sujeitos a variações térmicas intensas.

Figura 11 – Sensor de temperatura termopar tipo K e módulo de leitura MAX6675.



Fonte: ELETROGATE (s.d.).

3.4.2.2 Sensor indutivo

O sensor indutivo de proximidade LJ12A3-4-Z/BX (Figura 12) apresenta distância nominal de detecção de 4 mm e faixa de alimentação de 6 a 36 VCC. Possui saída digital do tipo NPN normalmente aberta, na qual o terminal de saída permanece em nível alto (desenergizado) na ausência de detecção e é conectado ao terra (nível baixo) quando o objeto metálico é identificado dentro da faixa de atuação. Essa configuração simplifica a integração com microcontroladores, permitindo que a leitura do sinal seja feita diretamente por entradas digitais (GPIO). Além disso, o sensor apresenta elevada imunidade a poeira, vibração e interferências eletromagnéticas, características que o tornam adequado para ambientes industriais e aplicações sujeitas a condições adversas (Baumer, s,d).

Figura 12 – Sensor de proximidade Indutivo NPN - LJ12A3-4-Z/BX.



Fonte: Datasheet4U (s.d.).

3.4.2.3 Células de carga tipo S

Os modelos H3-C3/C4-500 kg e H3-C3/C4-200 kg são sensores de deformação do tipo strain gauge, encapsulados em formato “S”(Figura 13), projetados para medições de força bidirecional com elevada precisão. Esses dispositivos operam com o princípio de variação resistiva em ponte de Wheatstone, onde a deformação mecânica do corpo do sensor, causada pela força aplicada, resulta em uma alteração na resistência elétrica dos strain gauges, gerando um sinal elétrico proporcional à força. Apresentam excelente linearidade ($<\pm 0,02\%$ FS) e repetibilidade, características cruciais para medições precisas e consistentes (Futek, s.d.). O uso de células de carga com capacidades nominais superiores aos esforços previstos proporciona operação em regime de segurança, reduzindo o risco de sobrecarga e assegurando maior estabilidade, linearidade e precisão nas medições. Essa margem operacional também contribui para aumentar a vida útil dos sensores e minimizar efeitos de histerese em condições de uso repetitivo.

Figura 13 – Célula de carga tipo S.



Fonte: ZEMIC EUROPE (s.d.).

3.4.2.4 Módulo amplificador HX711

O módulo amplificador HX711 (Figura 14) é um conversor analógico-digital (ADC) de 24 bits projetado especificamente para aplicações com células de carga e sensores de ponte resistiva. Possui amplificador de ganho programável (32, 64 e 128 vezes), permitindo a leitura de sinais de baixa amplitude gerados pelas células de carga com elevada resolução e baixo ruído. Opera com alimentação entre 2,6 V e 5,5 V e consome corrente típica de apenas 1,5 mA, o que o torna adequado para sistemas embarcados com restrição energética. A interface de comunicação é digital e utiliza protocolo serial síncrono de dois fios (DT e SCK), simplificando a integração direta com microcontroladores como o ESP32. Sua alta estabilidade térmica e rejeição a interferências externas asseguram confiabilidade em medições repetitivas, mesmo em ambientes com vibração e variação de temperatura.

Figura 14 - Amplificador de célula de carga HX711.



Fonte: ALLDATASHEET (s.d.).

3.4.3 Componentes de alimentação, proteção e controle

3.4.3.1 Reguladores de tensão

O regulador de tensão é um dispositivo eletrônico projetado para manter uma tensão de saída constante, independentemente das variações na tensão de entrada ou nas condições de carga. Sua função primordial é garantir a estabilidade e a qualidade da energia elétrica fornecida aos componentes de um circuito, protegendo-os contra flutuações que poderiam comprometer seu funcionamento ou causar danos. Em sistemas eletrônicos, especialmente aqueles que operam com microcontroladores e sensores sensíveis, a presença de um regulador de tensão é crucial para assegurar a operação confiável e precisa, fornecendo uma alimentação estável e dentro das especificações exigidas pelos dispositivos conectados.

- O HLK-5D1205 (Figura 15) é um conversor isolado CC/CC, encapsulado, capaz de fornecer 5V a partir de uma entrada de 12 V. Sua característica principal é a isolamento elétrica, criando um terra independente entre circuitos de potência e de lógica.

Figura 15 – Conversor HLK-5D1205.



Fonte: AGELECTRÓNICA, 2022.

- O módulo LM2596 (Figura 16) é um conversor *buck* CC-CC ajustável, com alta eficiência, capaz de reduzir tensões de até 40 V para valores entre 1,25 e 35 V. É utilizado para alimentar sensores e periféricos que exigem tensões específicas, mas que não necessitam de isolamento.

Figura 16 – Módulo Regulador de Tensão Step Down LM2596.



Fonte: ELETROGATE (s.d.).

3.4.3.2. Optoacoplador

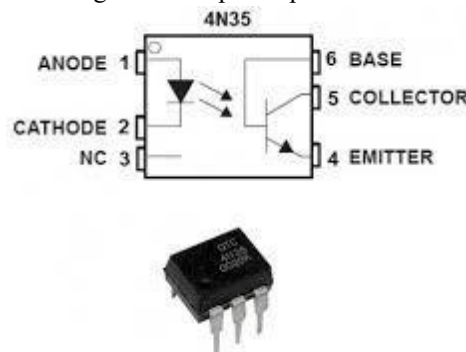
Um optoacoplador, também conhecido como acoplador óptico ou isolador óptico, é um componente eletrônico fundamental para a segurança e integridade de sistemas eletrônicos, pois permite a transferência de sinais elétricos entre dois circuitos completamente isolados galvanicamente. Essa isolamento é obtida por meio de um emissor de luz (geralmente um LED infravermelho) e um receptor de luz (como um fototransistor ou fotodiodo) encapsulados em um único invólucro. O sinal elétrico no circuito de entrada modula a intensidade da luz emitida, que é então detectada pelo receptor no circuito de saída, convertendo-a novamente em um sinal elétrico. Este método de transmissão óptica elimina a necessidade de conexão elétrica direta, prevenindo a propagação de ruídos, transientes de

tensão e diferenças de potencial entre os circuitos, o que é crucial para proteger componentes sensíveis e garantir a estabilidade do sistema em ambientes ruidosos ou com potenciais de terra distintos (MakerHero, 2024).

No projeto da bancada, a seleção de optoacopladores específicos foi guiada pela necessidade de isolamento confiável e pela adequação às características de frequência dos sinais a serem transmitidos:

- **Modelo 4N25:** Conforme ilustrado na Figura 17, o optoacoplador 4N25 foi empregado para a transmissão de sinais de baixa frequência, como aqueles provenientes de leituras digitais e acionamentos de baixa velocidade. Sua escolha se justifica pela robustez, baixo custo, ampla disponibilidade no mercado e simplicidade de integração, características que o tornam ideal para aplicações onde a velocidade de comutação não é um fator crítico, mas a confiabilidade do isolamento galvânico é primordial. Embora existam modelos semelhantes como o 4N35 ou PC817, o 4N25 oferece um balanço comprovado de desempenho e economia para este tipo de aplicação em projetos acadêmicos e industriais, facilitando a padronização e o suporte técnico.

Figura 17 – Optoacoplador 4N35.

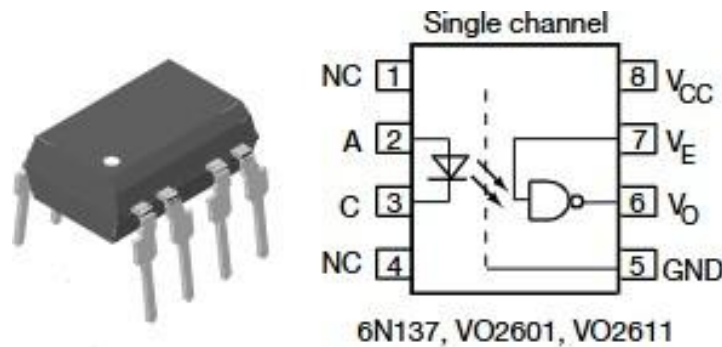


Fonte: Sysma Elettronica S.R.L, 2025.

- **Modelo 6N137:** Representado na Figura 18, o optoacoplador 6N137 foi selecionado para a transmissão de sinais de alta frequência, como os utilizados em Modulação por Largura de Pulso (PWM) e em comunicações de dados rápidas. Sua principal vantagem reside na elevada velocidade de comutação e no baixo atraso de propagação (tipicamente na ordem de dezenas de nanossegundos), o que é essencial para preservar a integridade de sinais digitais de alta taxa e garantir o controle preciso de atuadores via PWM. Além disso, o 6N137 possui compatibilidade direta com níveis lógicos TTL/CMOS e um pino de *enable* que permite o controle seguro da transmissão de

dados. Comparado a alternativas como o HCPL-0601 ou ACPL-064L, o 6N137 se destaca pela sua excelente relação custo-benefício, ampla aceitação na indústria e facilidade de integração com microcontroladores e Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), assegurando a fidelidade do sinal sem a necessidade de circuitos de *shaping* adicionais.

Figura 18 – Optoacoplador de alta frequência 6N137.

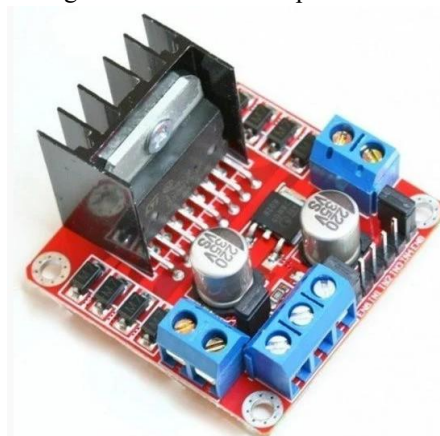


Fonte: ALLDATASHEET, 2012.

3.4.3.3 Ponte H L298N

O módulo L298N (Figura 19) é um *driver* de motores baseado em transistores bipolares, capaz de controlar a direção e a velocidade de motores de corrente contínua e atuadores lineares. Cada canal suporta até 2 A, permitindo operação confiável em sistemas de pequeno e médio porte. A possibilidade de controle via PWM o torna adequado para aplicações que requerem modulação de velocidade e inversão de sentido.

Figura 19 – Ponte H Dupla L298N.



Fonte: ELETROGATE (s.d.).

3.4.3.4 Atuador elétrico linear

O atuador elétrico linear (Figura 20) é um dispositivo eletromecânico destinado à conversão de energia elétrica em movimento retilíneo. Opera com tensão nominal de 12 VCC,

potência de 30 W e corrente média de 2,5 A, podendo atingir picos superiores durante a partida. O mecanismo interno é baseado em um motor de corrente contínua acoplado a um fuso de avanço (*lead screw*), responsável pela transformação do movimento rotacional em deslocamento linear.

Figura 20 – Atuador Elétrico Linear.



Fonte: VINITRÔNICA (s.d.).

Este modelo possui capacidade de carga máxima de 1000 N, sendo adequado para aplicações que requerem elevada força de empuxo. A velocidade de deslocamento varia conforme a carga aplicada, podendo ser modulada por controle de tensão ou sinal PWM. A estrutura construtiva é metálica, projetada para suportar esforços cíclicos, e inclui pontos de fixação em ambas as extremidades, permitindo integração com sistemas mecânicos.

3.4.3.5 Fonte de alimentação

A fonte chaveada (Figura 21) de 220 VCA para 12 VCC fornece tensão estável com baixa ondulação (*ripple*) e alta confiabilidade. Possui proteção contra sobrecorrente, sobretensão e curto-circuito. O chaveamento em alta frequência reduz o tamanho dos componentes, aumentando a densidade de potência e diminuindo a dissipação térmica, atendendo cargas de baixa a média potência e suportando picos transitórios sem comprometer a estabilidade.

Figura 21 – Fonte Chaveada.



Fonte: Fonte CFTV (s.d.).

3.4.3.6 Fusíveis

Os fusíveis (Figura 22) atuam como dispositivos de proteção contra sobrecorrente, interrompendo o circuito quando a corrente ultrapassa o valor nominal especificado. A escolha de valores próximos à corrente nominal dos ramos de alimentação garante seletividade e proteção localizada, preservando os demais componentes do sistema.

Figura 22 – Tipos de fusíveis.

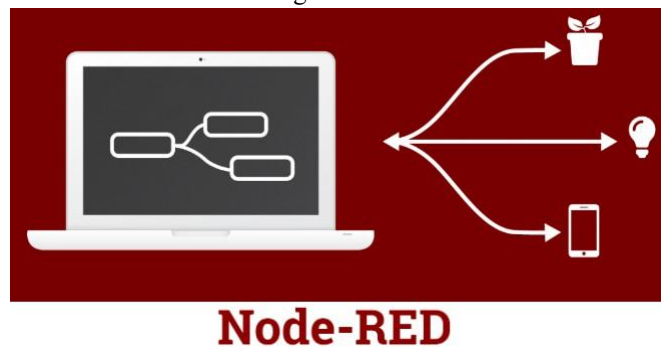


Fonte: MUNDO DA ELÉTRICA (s.d.).

3.5 Sistema Supervisório

O Node-RED (Figura 23) é uma ferramenta de programação visual orientada a fluxos, desenvolvida pela IBM, que se destaca pela modularidade e pela ampla compatibilidade com protocolos e dispositivos utilizados em automação e IoT. Sua arquitetura é baseada em nós funcionais, que podem ser conectados para formar fluxos lógicos de processamento de dados. Essa abordagem permite integrar rapidamente diferentes fontes de informação, realizar o tratamento de sinais e criar interfaces gráficas para monitoramento em tempo real. Além disso, o Node-RED suporta extensões por meio de bibliotecas da comunidade, o que amplia sua aplicação em sistemas distribuídos.

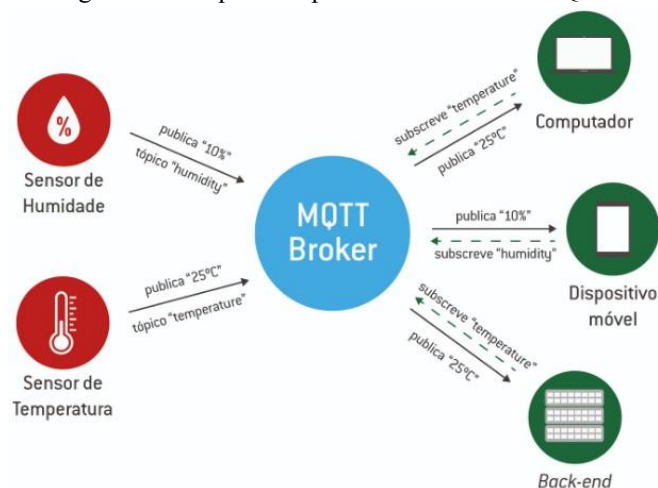
Figura 23 – Node-Red.



Fonte: Ubidots, 2018.

O protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), suportado nativamente pelo Node-RED via bibliotecas específicas, é um protocolo de comunicação leve baseado no modelo publicador/assinante (*publish/subscribe*) (Figura 24). Nesse modelo, os dispositivos não se comunicam diretamente entre si, mas por meio de um *broker*, que atua como intermediário. O publicador envia mensagens a um determinado tópico, enquanto o assinante recebe todas as mensagens associadas a esse tópico. Essa estrutura proporciona desacoplamento entre emissores e receptores, escalabilidade na comunicação e baixo consumo de banda, tornando o MQTT altamente indicado para sistemas de monitoramento e controle em tempo real.

Figura 24 – Arquitetura publicador/assinante MQTT.



Fonte: TEKON ELECTRONICS (s.d.).

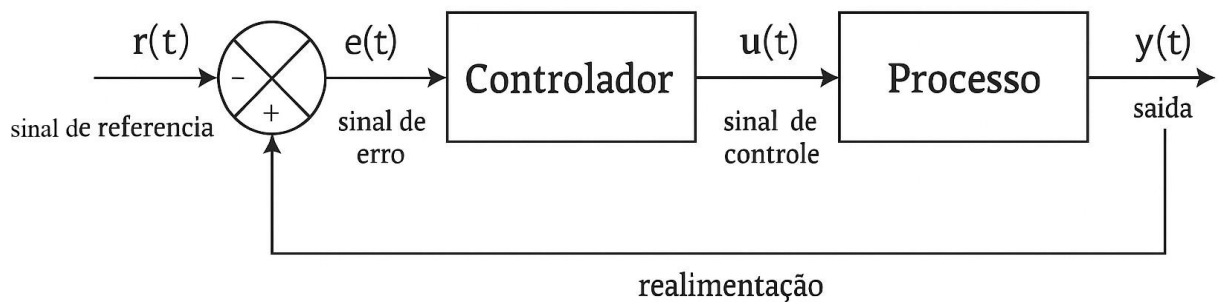
O Node-RED desempenha papel duplo nesse contexto: além de atuar como broker MQTT, gerenciando o tráfego de mensagens entre os dispositivos conectados, também opera como cliente, capaz de publicar, assinar tópicos e processar dados. Essa flexibilidade permite que ele centralize a comunicação e, ao mesmo tempo, organize as informações recebidas em

fluxos lógicos, que podem ser convertidos em painéis de supervisão e controle. Dessa forma, o conjunto MQTT/Node-RED garante transmissão eficiente com diferentes níveis de qualidade de serviço (QoS) e fornece suporte direto à análise e visualização de dados no ambiente supervisorio.

3.6 Método de controle em malha fechada

O controle em malha fechada (Figura 25) consiste em uma estratégia na qual a variável de saída ($y(t)$) de um sistema é constantemente monitorada e comparada com um valor de referência ou *setpoint* ($r(t)$). A diferença entre o valor medido e o valor desejado gera um erro ($e(t)$), que é processado pelo controlador para ajustar a ação do atuador e reduzir essa discrepância. Dessa forma, o sistema passa a operar de forma automática e adaptativa, compensando variações externas e incertezas do modelo. A adoção de uma malha fechada proporciona maior confiabilidade, estabilidade e repetibilidade dos ensaios, fatores fundamentais para garantir a validade dos resultados experimentais.

Figura 25 – Controle em malha fechada.

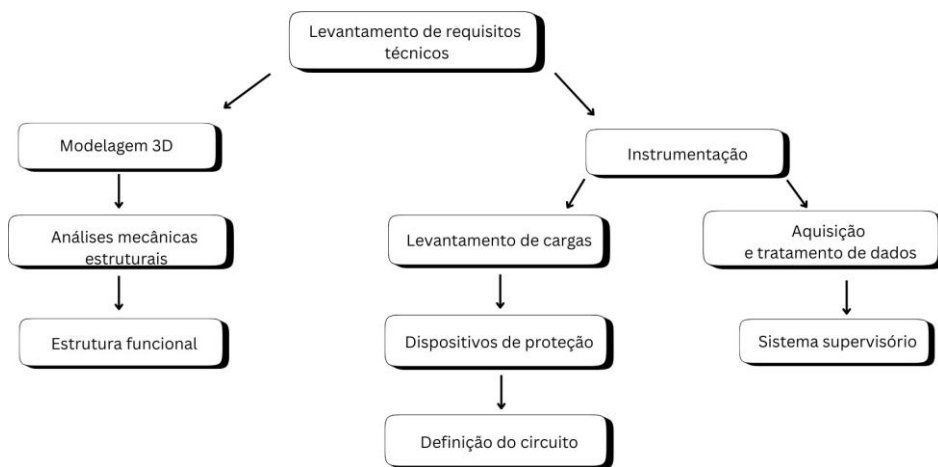


Fonte: Autoria própria, 2025.

4 MÉTODO DA PESQUISA

O desenvolvimento deste projeto seguiu uma abordagem teórico-conceitual e computacional, com foco na concepção de uma bancada experimental virtual voltada à simulação e análise dos sistemas de *powertrain* e freios de um veículo Baja SAE. A metodologia está estruturada em seis etapas principais: levantamento de requisitos, modelagem virtual, dimensionamento teórico, análise por elementos finitos (FEA), definição da instrumentação e proposta de supervisor.

Figura 26 – Fluxograma das fases de execução do projeto



Fonte: Autoria própria.

4.1 Levantamento de Requisitos Técnicos

A primeira etapa consistiu na análise do regulamento da competição Baja SAE Brasil 2024, com ênfase nas exigências das provas dinâmicas (enduro, aceleração, tração, manobrabilidade e suspensão). Foram coletadas também as especificações técnicas do protótipo do veículo da equipe, como:

- Massa total aproximada;
- Torque máximo na saída do CVT;
- Faixa de rotação do motor;
- Tipo de sistema de freios;

Esse levantamento orientou os parâmetros iniciais para a modelagem da bancada.

4.2 Modelagem Conceitual e Estrutural da Bancada

A bancada foi projetada virtualmente utilizando software CAD 3D (Inventor). O modelo representa a fixação dos principais sistemas de interesse:

- Transmissão (motor, CVT e Semieixo);
- Freios (disco, pinça e acionamento elétrico e hidráulico);
- Sistema de apoio e contenção (estrutura metálica e bases simuladas).

A modelagem seguiu princípios de ergonomia e segurança, mesmo em ambiente virtual, com foco em permitir futura implementação física.

4.3 Dimensionamento Teórico dos Sistemas

Nesta etapa foram realizados cálculos baseados em literatura técnica e normas de engenharia, envolvendo:

- Cálculo do torque de saída do CVT a diferentes rotações (com base em relações de transmissão típicas);
- Torque de frenagem necessário para simular desacelerações equivalentes às provas da competição;

4.4 Análises Estruturais

Foi realizada análise por elementos finitos (FEA) nos principais componentes estruturais da bancada que irão sofrer maior esforço durante o uso da mesma, utilizando o software Autodesk Inventor. As análises incluíram:

- Tensões mecânicas nos suportes;
- Deformações da estrutura;

Essas análises visam prevenir falhas estruturais durante a operação simulada.

4.5 Definição da Instrumentação Virtual

Mesmo sem construção física, foi definido um projeto de instrumentação baseado em sensores reais, com simulação do posicionamento e leitura dos seguintes dispositivos:

- Sensores indutivos para aferição do RPM e velocidade de entrada e saída do *powertrain*;
- Células de carga destinadas à medição da força e do torque de frenagem, bem como ao controle em malha fechada do atuador linear elétrico;
- Termopares tipo K utilizados para a medição da temperatura no conjunto pastilha/disco de freio.

A integração desses sensores foi projetada para futura implementação em sistemas de aquisição como ESP32 ou Arduino, caso o projeto venha a ser prototipado.

4.6 Proposta de Sistema Supervisório

Por fim, foi elaborado o layout funcional de um sistema supervisório, responsável por:

- Aquisição e registro de dados;
- Visualização em tempo real das variáveis principais (rotação, velocidade, torque, força de frenagem, temperatura);
- Geração de relatórios e gráficos comparativos.

A proposta considera o uso de plataformas como Node-RED e Power BI, com interface gráfica amigável e personalizável.

A Tabela 1 descreve quais foram os parâmetros e softwares utilizados para o projeto da bancada de testes experimentais.

Tabela 1 – Parâmetros de Simulação e Softwares Utilizados.

Etapa	Parâmetros/Variáveis Principais	Softwares/Ferramentas Utilizadas
Levantamento de Requisitos	Massa, torque, rotação, tipo de freio	—
Modelagem Conceitual	Geometria 3D da bancada e sistemas	Inventor
Dimensionamento Teórico	Torque, força de frenagem	Cálculos manuais, planilhas, literatura técnica
Análise Estrutural	Tensões e deformações	Inventor
Instrumentação	Precisão, resolução, taxa de amostragem e tempo de resposta da medição	Simulação e planejamento de sensores
Sistema Supervisório	Aquisição, visualização e relatório de dados	Node-RED e MQTT

Fonte: Autoria própria, 2025.

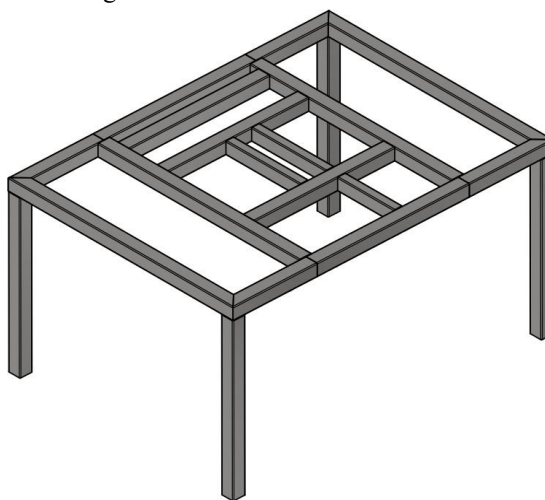
5 RESULTADOS DA PESQUISA

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir das análises realizadas na bancada experimental. Para a parte estrutural, foram conduzidas simulações em softwares de modelagem a fim de avaliar a deformação da bancada e as tensões nos principais componentes do sistema de *powertrain* e do freio, com o objetivo de verificar a integridade, resistência e confiabilidade em condições que simulam as demandas encontradas em veículos Baja SAE. No que se refere à instrumentação, foi desenvolvido o projeto do circuito eletrônico, considerando os requisitos de aquisição de dados e proteção elétrica, além de ser validada a comunicação entre a ESP32 e o sistema supervisor Node-RED via protocolo MQTT. Esses resultados fornecem subsídios importantes para a validação do projeto e permitem identificar possíveis ajustes necessários para garantir segurança, eficiência e precisão do conjunto.

5.1 Projeto estrutural

A estrutura da bancada foi desenvolvida a partir de perfis metálicos retangulares soldados em aço 1020, projetados para garantir resistência mecânica, estabilidade e rigidez global durante a realização dos ensaios experimentais (Figura 27). O arranjo estrutural apresenta uma moldura periférica, responsável pela distribuição homogênea dos esforços ao longo da bancada, associada a um conjunto de travessas internas dispostas em diferentes direções. Essas travessas atuam como elementos de reforço, minimizando a ocorrência de deformações localizadas e aumentando a rigidez do conjunto.

Figura 27 – Modelo 3D da bancada estrutural.



Fonte: Autoria própria, 2025.

No software para fazer o CAD da estrutura foi selecionado o material adotado foi o aço 1020, amplamente utilizado em aplicações estruturais devido à sua boa resistência mecânica e facilidade de soldagem. As propriedades do aço 1020, utilizadas como referência para as simulações, estão apresentadas na Tabela 2, conforme catálogo técnico da Gerdau. Esse aço foi escolhido pois é amplamente utilizado em aplicações estruturais devido à sua boa resistência mecânica e facilidade de soldagem(Tabela 2).

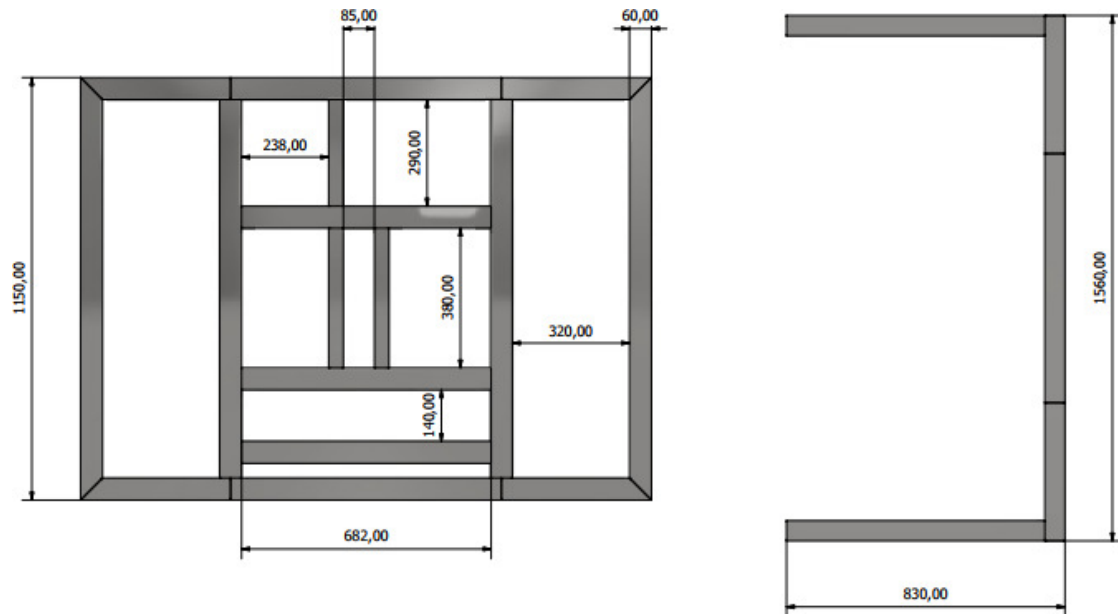
Tabela 2 –. Especificações do aço 1020 utilizado.

Propriedades	Valor	Observações
Densidade	7,85 g/cm ³	Padrão para aços ao carbono
Limite de escoamento (σ_e)	250 MPa	Depende do tratamento e do processo de laminação
Limite de resistência à tração (σ_r)	420 – 550 MPa	Pode variar com o processo de fabricação
Módulo de elasticidade (E)	210 GPa	Valor típico para aços carbono
Soldabilidade	Boa	Muito utilizado em estruturas soldadas

Fonte: GERDAU, 2020.

As dimensões globais da estrutura são de 1560 mm de comprimento, 1150 mm de largura e 830 mm de altura (Figura 28), valores definidos a partir de critérios ergonômicos e da necessidade de acomodar os subconjuntos dos sistemas de transmissão e frenagem do protótipo em estudo. No interior da moldura principal, foram estabelecidos módulos de diferentes dimensões, como 682 mm, 238 mm e 320 mm, os quais têm a função de suportar os pontos de fixação dos componentes mecânicos e dos dispositivos de instrumentação. Essa configuração modular possibilita maior versatilidade, permitindo ajustes e adaptações em função das demandas específicas de cada ensaio.

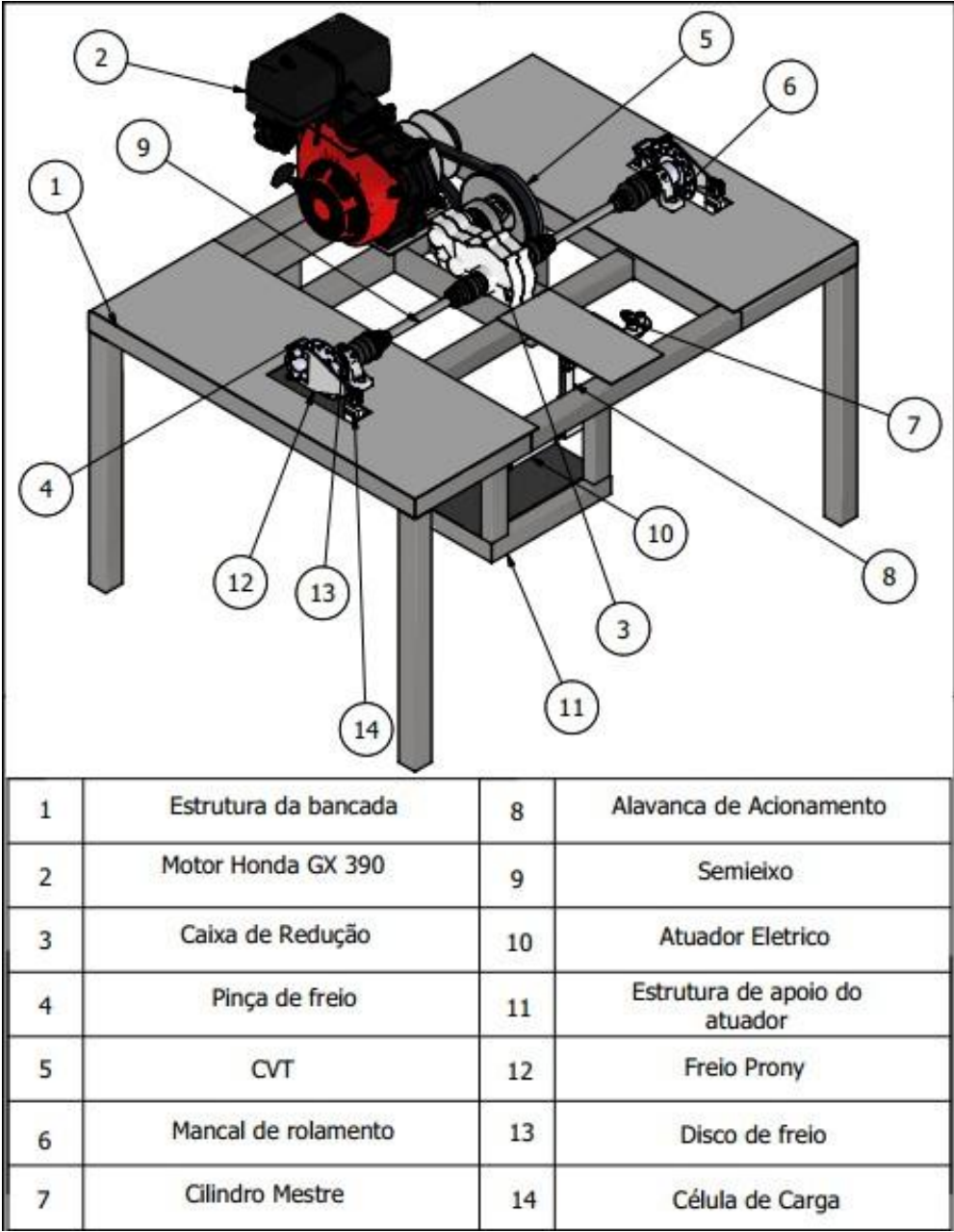
Figura 28 – Vistas ortogonais e dimensões da bancada.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Adicionalmente, foi elaborada uma representação da bancada com a disposição dos equipamentos experimentais e a indicação do que é cada ilustração (Figura 29), a qual permite visualizar a integração entre a estrutura metálica e os subsistemas de transmissão e frenagem. Essa etapa de modelagem contribui para validar o dimensionamento estrutural, assegurando que a distribuição dos componentes seja realizada de forma organizada, sem comprometer a estabilidade do conjunto.

Figura 29 – Bancada com elementos detalhados.



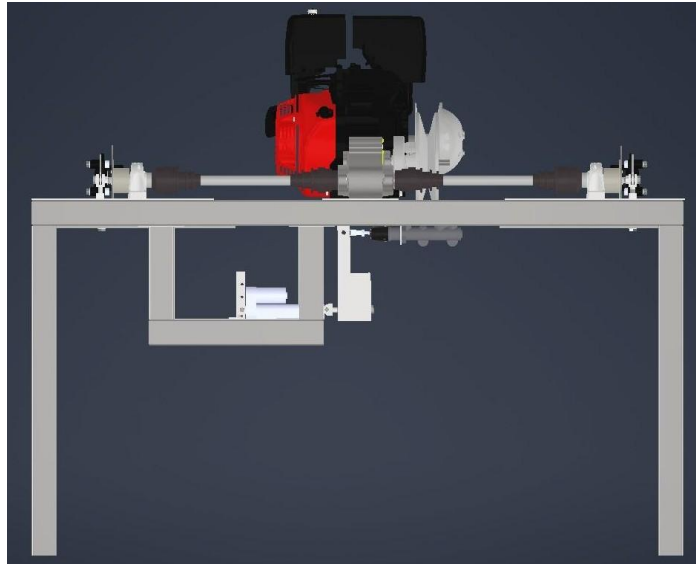
Fonte: Autoria própria, 2025.

Portanto, o projeto estrutural da bancada foi concebido de forma a atender simultaneamente aos requisitos de resistência, rigidez e adaptabilidade. Esse dimensionamento garante não apenas a segurança operacional durante os ensaios, mas também a confiabilidade dos dados experimentais obtidos, constituindo um elemento fundamental para a validação do desempenho dos sistemas analisados.

A Figura 30 apresenta a vista frontal da bancada, evidenciando a disposição dos suportes, pontos de fixação e elementos estruturais responsáveis pela sustentação dos

componentes. Esta perspectiva permite observar com clareza a estrutura e a acessibilidade necessária para futuras manutenções e instrumentações.

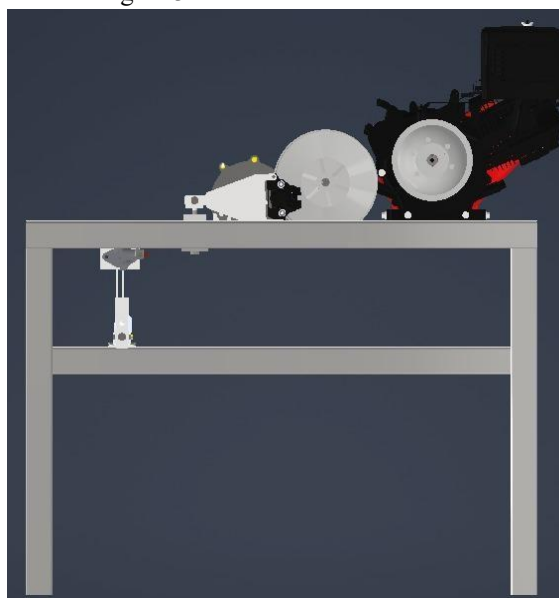
Figura 30 – Vista frontal da bancada.



Fonte: Autoria própria, 2025.

A Figura 31 apresenta a vista lateral da bancada, a posição relativa dos conjuntos de powertrain e freio. Essa análise facilita a compreensão do posicionamento dos eixos e da transmissão de carga durante os ensaios dinâmicos, sendo fundamental para a verificação do alinhamento e estabilidade do sistema.

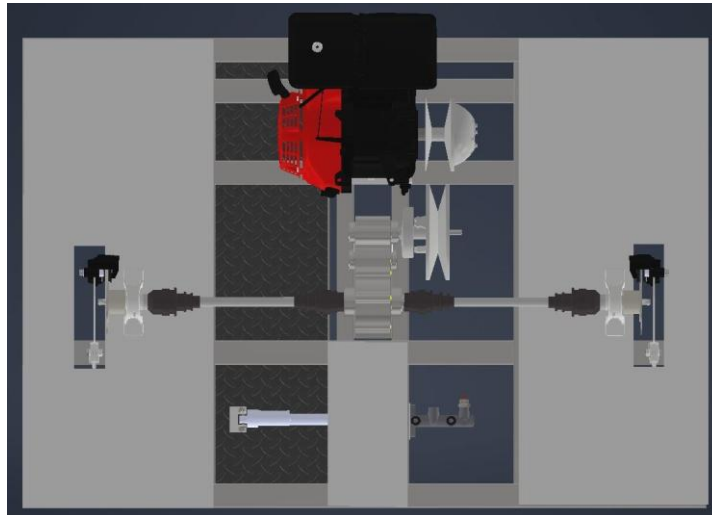
Figura 31 – Vista lateral da bancada.



Fonte: Autoria própria, 2025.

A Figura 32 apresenta a vista superior da bancada, evidenciando a geometria do conjunto e a distribuição dos pontos de acoplamento do conjunto. Essa perspectiva é relevante para a análise da ergonomia do projeto, possibilitando identificar o espaço disponível para a instalação dos circuitos eletrônicos e garantindo a organização do cabeamento de forma a evitar interferências eletromagnéticas.

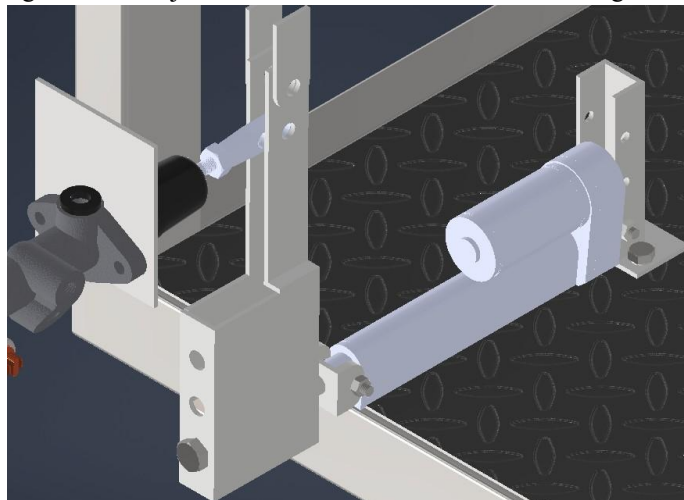
Figura 32 – Vista superior da bancada.



Fonte: Autoria própria, 2025.

O sistema de acionamento do sistema de freio projetado para a bancada de testes (Figura 33) possui três configurações, cada uma com uma relação de alavanca diferente de acordo com o posicionamento do atuador elétrico linear na bancada (Apêndice A).

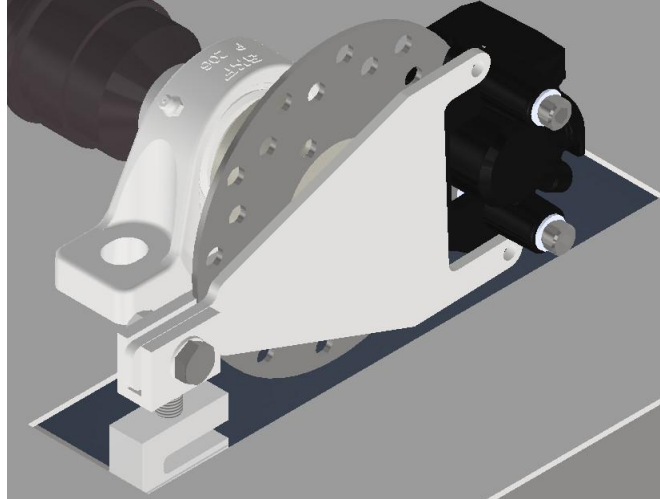
Figura 33 – Conjunto de acionamento do sistema de frenagem da bancada.



Fonte: Autoria própria, 2025.

A figura 34 apresenta o sistema de frenagem em conjunto ao sistema de freio de Prony adaptado para a bancada, a fim de calcular o torque de frenagem desenvolvido pelo conjunto.

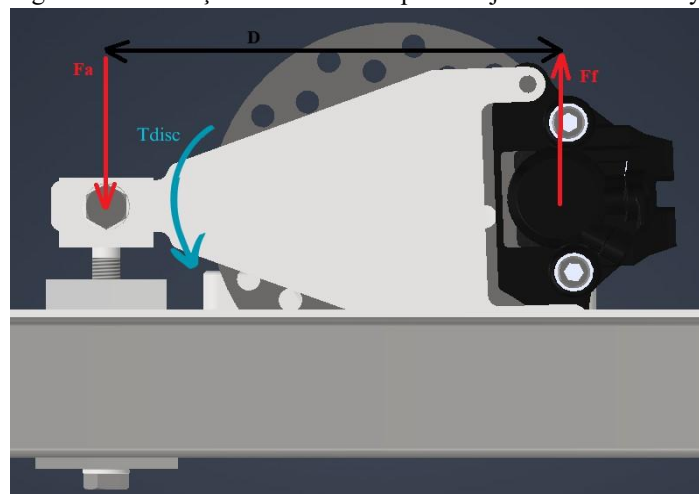
Figura 34 – Conjunto do sistema de frenagem com freio de Prony adaptado.



Fonte: Autoria própria, 2025.

A Figura 35 apresenta o sistema de freio de Prony adaptado para a bancada, composto pela pinça de freio, pela célula de carga H3-C3/C4-200 kg e pela haste de alavanca que conecta a pinça à célula de carga. Além da configuração física, a figura ilustra os esforços atuantes no conjunto: F_f corresponde à força de frenagem aplicada ao disco pela pinça de freio, F_a à força aplicada à célula de carga, D a distância entre as forças F_f e F_a , e T_{disc} ao torque resistivo do sistema.

Figura 35 – Esforços desenvolvidos pelo conjunto freio de Prony.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Portanto, para obter o torque de frenagem desenvolvido pelo sistema basta aplicar a equação:

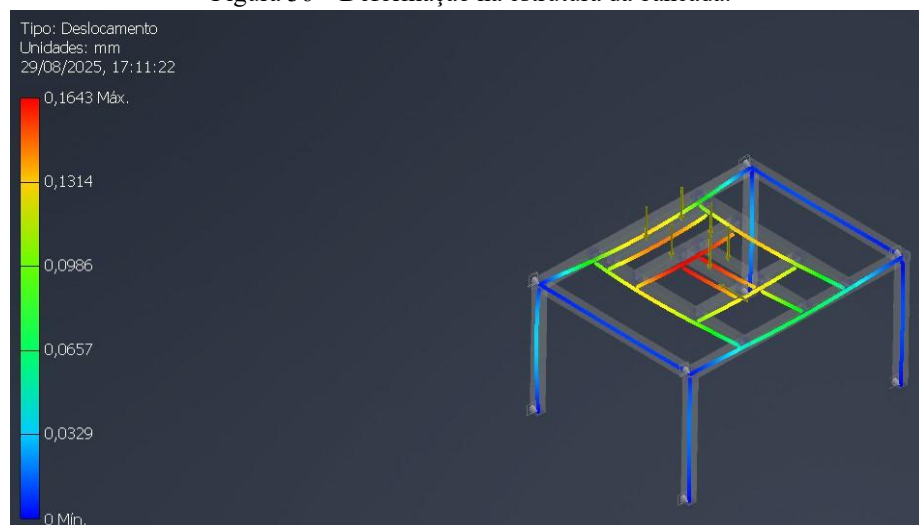
$$T_{disc} = F_f \cdot D \quad (8)$$

A análise de deformação e tensão é essencial para avaliar o comportamento estrutural de sistemas mecânicos, permitindo identificar regiões críticas sujeitas a esforços elevados (CALLISTER, 2017; GERE, 2018). Por meio de simulações computacionais, é possível quantificar as tensões e deformações, verificando a conformidade do projeto com os limites de resistência dos materiais (BROWN et al., 2019; HIBBELER, 2020).

Os resultados apresentados nesta seção destacam as áreas de maior concentração de tensões e deformações, fornecendo subsídios para a interpretação do desempenho estrutural do sistema e a validação do projeto (ROSS, 2016; SMITH e JONES, 2015).

Inicialmente, foi realizada a análise de deformação da estrutura da bancada (Figura 36), por meio de simulações computacionais utilizando o método dos elementos finitos (MEF). Esse procedimento permite representar o comportamento da estrutura sob cargas aplicadas, considerando a geometria real, restrições de apoio e propriedades do material. A simulação de deslocamento considerou uma carga de 392 N dividida em quatro pontos de apoio do sistema de *powertrain*, além de considerar a carga resultante do peso da caixa de redução que foi de 196 N dividida no apoio principal da caixa representando as condições máximas de operação previstas durante os ensaios de desempenho do veículo Baja SAE.

Figura 36 – Deformação na estrutura da bancada.



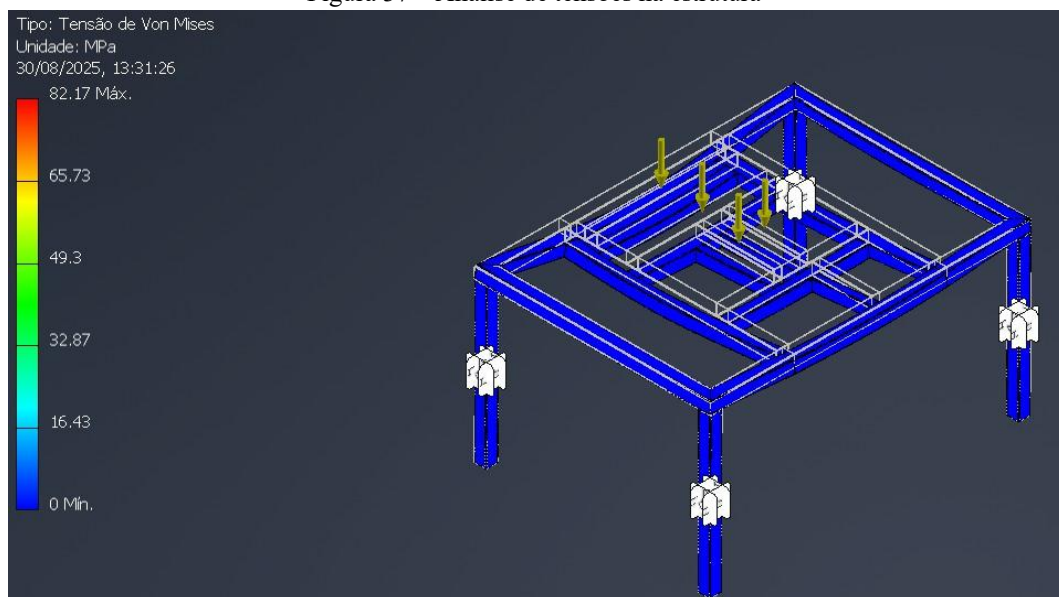
Fonte: Autoria própria, 2025.

Conforme a simulação, os deslocamentos máximos ocorreram nas regiões centrais da estrutura, próximas aos pontos de aplicação da carga, com valores de aproximadamente 0,1643 mm. As regiões externas, incluindo pernas e travessas externas, apresentaram um deslocamento irrisório, evidenciando que a rigidez estrutural é suficiente para suportar as cargas de operação e que não há risco de deformação excessiva que comprometa a estabilidade da bancada. Esse resultado confirma que a distribuição da carga é eficiente e que os elementos estruturais foram dimensionados de forma adequada, permanecendo dentro dos limites aceitáveis para materiais estruturais típicos de aço carbono.

Em seguida, foi realizada a análise de tensões na estrutura com o objetivo de verificar se o material escolhido seria capaz de suportar as solicitações mecânicas aplicadas. Essa verificação torna-se essencial, pois os principais carregamentos atuantes decorrem do peso do motor e da caixa de redução, que representam as massas mais significativas do conjunto e, conseqüentemente, as forças de maior impacto no dimensionamento.

Considerando a aceleração da gravidade de $9,81 \text{ m/s}^2$, o motor de 40 kg gera uma força de aproximadamente 392 N, enquanto a caixa de redução de 20 kg resulta em uma força de aproximadamente 196 N. Somadas, essas cargas representam cerca de 588 N aplicados verticalmente na região central da estrutura, conforme indicado pelas setas de carregamento (Figura 37).

Figura 37 – Análise de tensões na estrutura

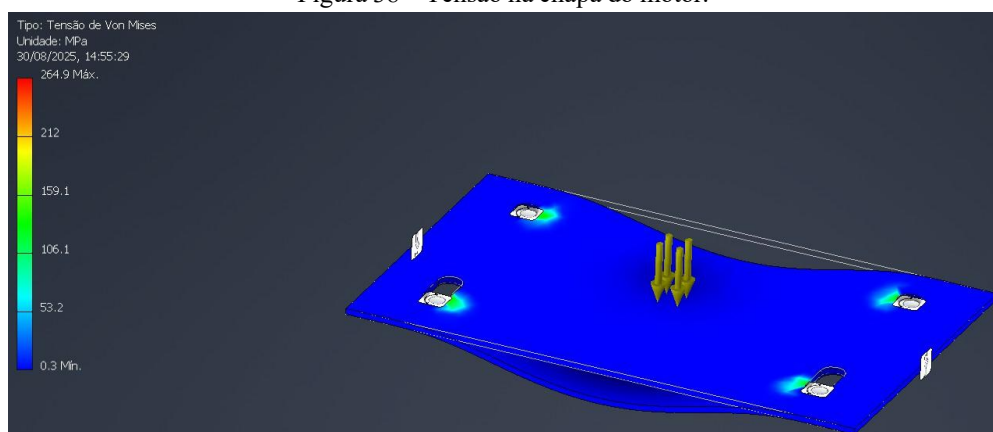


Fonte: Autoria própria, 2025.

Em seguida, foi realizada a análise de tensões de Von Mises com o objetivo de verificar a resistência da chapa em aço SAE 1020 quando submetida às forças provenientes do motor (40 kg) e da caixa de redução (20 kg), que juntos totalizam aproximadamente 588 N de carga distribuída sobre a região central da estrutura. Esses elementos representam os componentes de maior massa e, conseqüentemente, os mais relevantes em termos de solicitação mecânica.

A simulação estática no Autodesk Inventor mostrou que as tensões máximas atingiram o valor de 264,9 MPa, concentradas principalmente nas regiões de apoio e fixação da chapa, como pode ser observado na distribuição de cores da figura (Figura 38). As áreas de coloração azul predominante indicam níveis de tensão mais baixos, próximos a 0,3 MPa, enquanto zonas em verde-amarelado indicam regiões de maior solicitação, próximas ao valor máximo obtido.

Figura 38 – Tensão na chapa do motor.



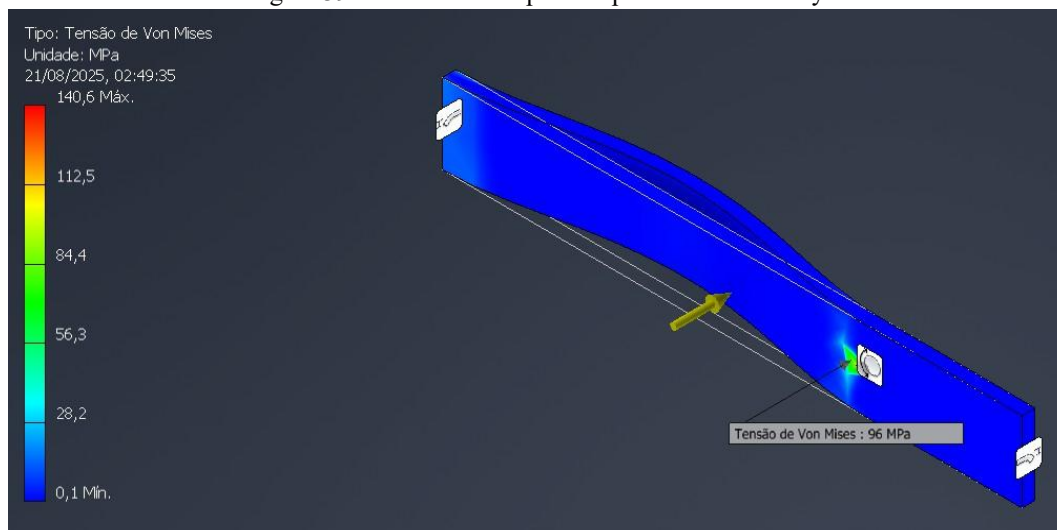
Fonte: Autoria própria, 2025.

Ao comparar os resultados com as propriedades mecânicas do aço SAE 1020, nota-se que o limite de escoamento do material não é fixo, mas pode variar entre 250 e 350 MPa, a depender do processo de laminação e da condição de fornecimento (GERDAU, 2020). Assim, embora a simulação tenha indicado uma tensão máxima de 264,9 MPa (Figura 37), esse valor permanece dentro do intervalo característico do aço 1020, não representando risco de escoamento plástico permanente. O modelo computacional possibilitou identificar a distribuição das tensões de Von Mises e mapear as áreas críticas, confirmando a adequação estrutural do componente.

A chapa de suporte com 5 mm de espessura do freio de Prony foi submetida a uma simulação de análise de tensão também (Figura 39), com aplicação de força equivalente a 2000 N ao torque máximo transmitido pelo eixo durante os testes de frenagem. Os resultados mostraram que as tensões máximas alcançaram 140,6 MPa, concentradas principalmente nos

pontos de fixação da chapa. A análise indicou que a chapa possui um comportamento uniforme sob carga, sem apresentar concentrações críticas de tensão que possam causar falhas imediatas. Todavia, por ser o componente mais solicitado do conjunto, recomenda-se atenção especial à seleção do material, podendo-se considerar reforços ou tratamentos térmicos para aumentar a resistência à fadiga em operações contínuas.

Figura 39 – Tensão na chapa de suporte do freio Prony



Fonte: Autoria própria, 2025.

De maneira geral, os resultados das simulações evidenciam que a estrutura da bancada, a base do motor e a chapa de sustentação do freio de Prony apresentam um dimensionamento eficiente e seguro, atendendo plenamente às exigências operacionais da bancada experimental. Os ensaios foram concentrados nessas regiões justamente por representarem os pontos mais solicitados mecanicamente durante a operação, o que permitiu avaliar de forma direcionada as condições mais críticas do sistema.

As análises de tensões de Von Mises e deformações demonstraram que, mesmo sob a aplicação das cargas provenientes do motor e da caixa de redução, a estrutura se manteve dentro dos limites aceitáveis do material, garantindo segurança contra falhas por escoamento ou deformação plástica permanente. Essa constatação assegura que o projeto, em sua configuração atual, é adequado para suportar as solicitações previstas, transmitindo confiabilidade para a execução dos ensaios experimentais.

Além disso, a avaliação detalhada do comportamento estrutural reforça a importância do uso de ferramentas de simulação computacional no processo de desenvolvimento de bancadas experimentais. O mapeamento das tensões e deslocamentos não apenas valida o dimensionamento proposto, mas também fornece subsídios para decisões futuras de

otimização. A partir dos resultados obtidos, é possível identificar antecipadamente regiões suscetíveis a concentrações de tensão, o que orienta eventuais melhorias, como o reforço estrutural de áreas críticas, ajustes geométricos ou alterações no posicionamento de cargas e apoios.

Portanto, conclui-se que o projeto apresenta um nível satisfatório de segurança estrutural e operacional, ao mesmo tempo em que oferece uma base sólida para futuras otimizações. A integração da análise numérica ao processo de projeto garante maior eficiência no uso de materiais, redução de riscos durante a operação e aumento da confiabilidade da bancada experimental como ferramenta de apoio a ensaios e estudos acadêmicos.

5.2 Projeto de instrumentação e supervisão

A pesquisa realizada para o desenvolvimento do sistema de instrumentação da bancada experimental voltada ao teste de *powertrain* e freios de um veículo Baja SAE evidenciou a necessidade de integrar, de forma coerente e robusta, os aspectos de alimentação elétrica, aquisição de dados, supervisão, proteção e controle em malha fechada. O levantamento bibliográfico e técnico demonstrou que a confiabilidade do sistema depende não apenas da correta seleção de sensores e controladores, mas também do dimensionamento adequado de fontes, cabos e dispositivos de proteção.

No que se refere à alimentação elétrica, foi adotada uma fonte chaveada AC/DC com tensão de saída nominal de 12 V e capacidade de corrente de 10 A. O dispositivo é projetado para fornecer tensão contínua estável, com baixa ondulação residual e elevada eficiência de conversão, garantindo qualidade no suprimento de energia aos subsistemas. A proteção do barramento principal é assegurada por fusível de 6 A, dimensionado para interromper o circuito em caso de sobrecorrente e preservar a integridade dos componentes. O dimensionamento da fonte foi conduzido a partir do levantamento de carga apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Levantamento de carga

Componente / Grupo	Tensão de Alimentação (V)	Corrente Unitária (A)	Quantidade	Corrente Total (A)
Atuador linear	12	2,5	1	2,5
Ponte H L298N	12	0,05	1	0,05
Sensores indutivos LJ12A3-4-Z/BX	12	0,015	2	0,03
Optoacopladores 4N25	12	0,005	5	0,025
Optoacoplador 6N137	5	0,010	1	0,010
ESP32 (Wi-Fi ativo)	5	0,50	1	0,50
MAX6675 (termopares)	5	0,002	2	0,004
HX711 + células de carga	3,3	0,012	3	0,036
Conversor HLK-5D1205	12	0,005	1	0,005
Regulador LM2596 (buck 12→5 V)	12	0,25	1	0,25

Fonte: Autoria própria, 2025.

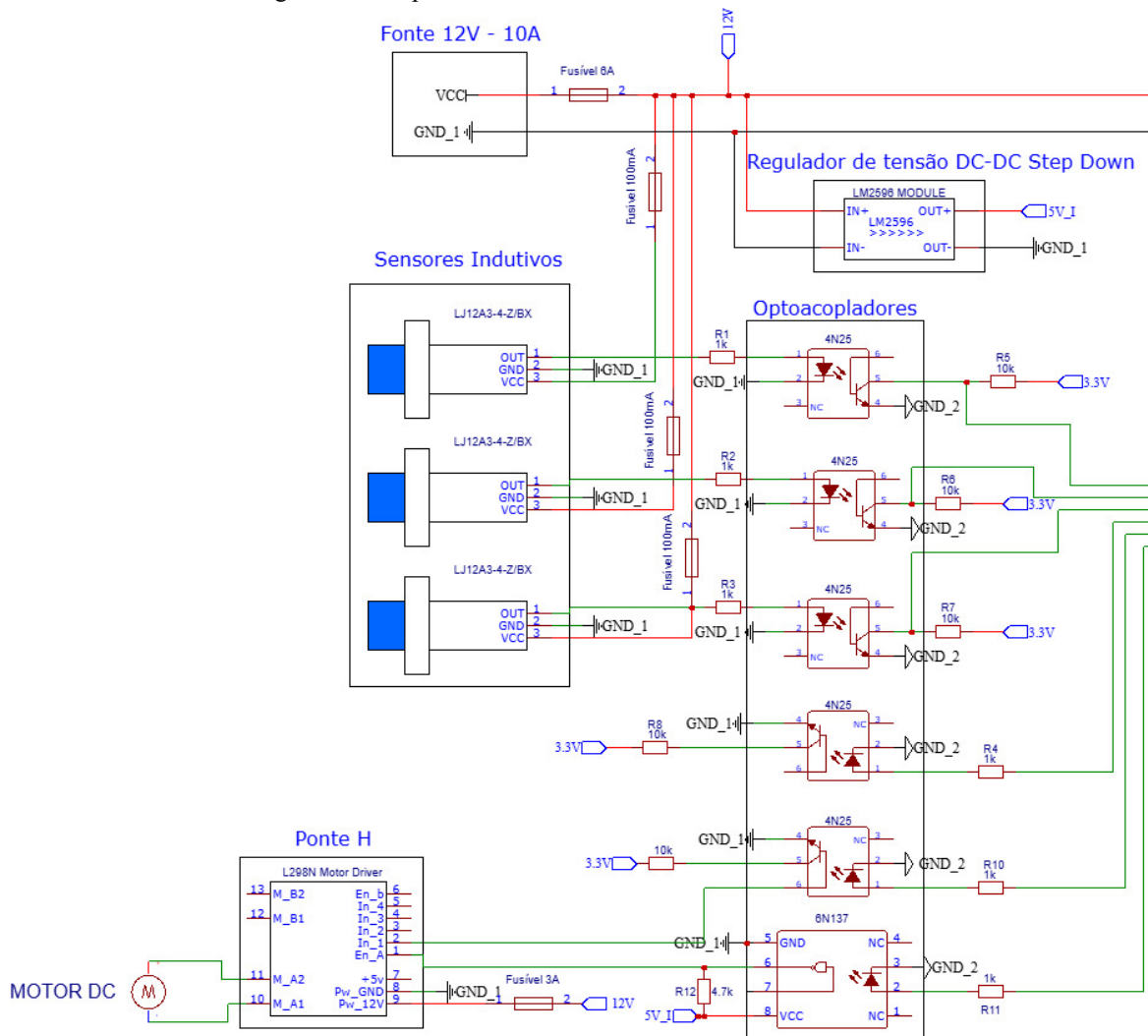
A carga total estimada para o sistema é de aproximadamente 3,41 A, valor significativamente inferior à capacidade nominal da fonte. Assim, a escolha desta fonte garante não apenas a alimentação segura e estável de todos os componentes na condição nominal, mas também uma folga operacional para suportar correntes de pico durante partidas de motores e a possível adição de novos dispositivos em futuras expansões da bancada experimental.

Para garantir maior confiabilidade, a estrutura elétrica foi dividida em dois circuitos, separados por meio do conversor de tensão isolado HLK-5D1205, que estabelece barreira galvânica entre os subsistemas. Complementarmente, o regulador de tensão LM2596 foi empregado no fornecimento de tensões específicas para dispositivos conectados ao lado de 12 V. A proteção localizada foi assegurada com fusíveis dimensionados conforme a carga: 100

mA para cada sensor indutivo, 3 A na entrada de alimentação da ponte H L298N e 1 A na saída do HLK-5D1205 destinada ao circuito de baixa tensão. O diagrama completo pode ser consultado no Apêndice B.

O circuito de 12 V (Figura 40) é responsável pela alimentação direta de dispositivos que operam nessa faixa de tensão, incluindo os sensores indutivos, a ponte H L298N e o atuador linear elétrico. Além disso, a fonte de 12 V desse circuito também serve como alimentação primária para o conversor HLK-5D1205, que energiza o segundo subsistema.

Figura 40 – Esquema elétrico do circuito de 12V da bancada.

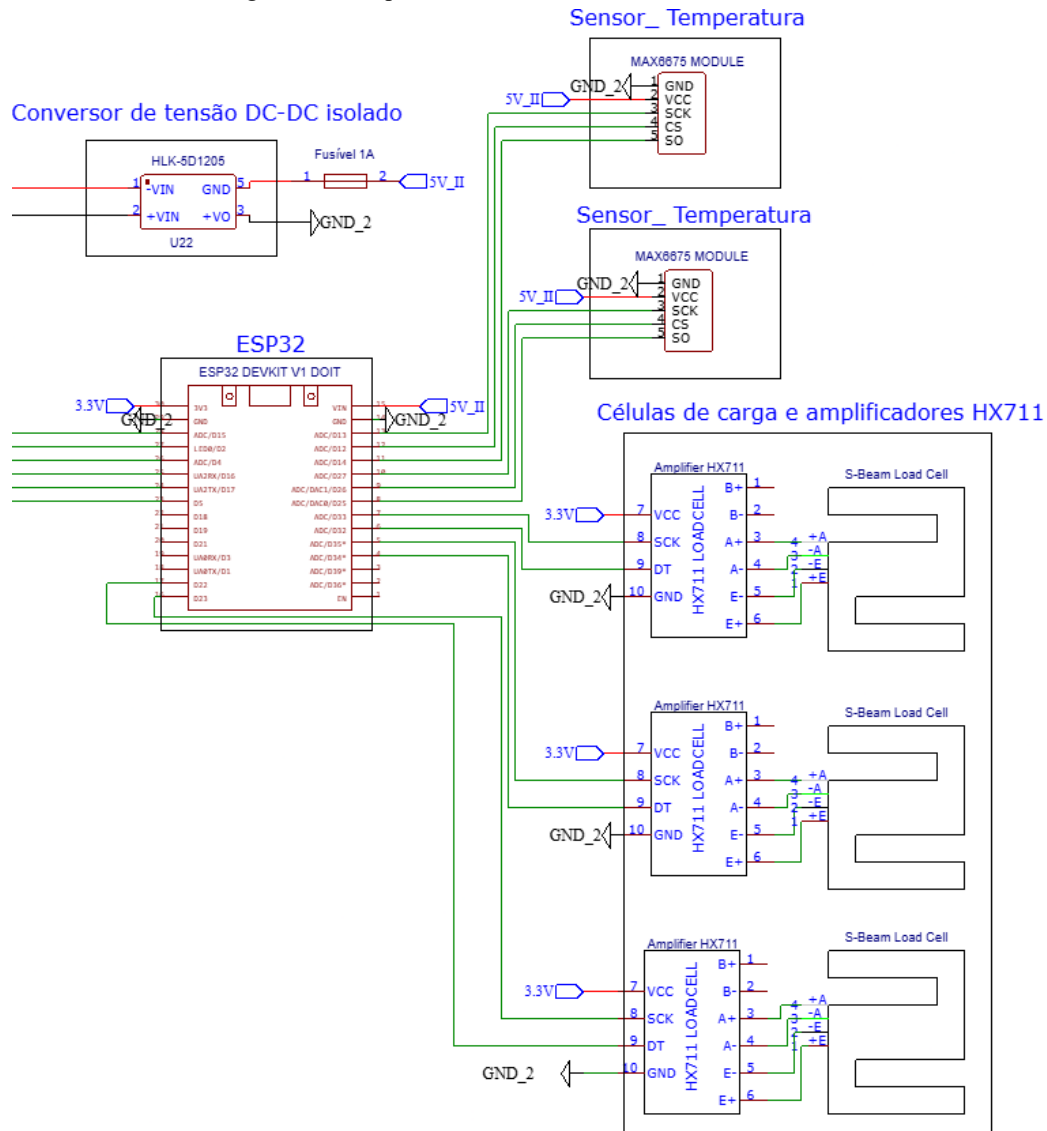


Fonte: Autoria própria, 2025.

O circuito de 5 V/3,3 V (Figura 41) concentra os dispositivos de instrumentação e controle, operando em níveis lógicos compatíveis com a unidade de processamento. É composto pela ESP32, sensores de temperatura MAX6675 e células de carga tipo S associadas aos módulos condicionadores HX711. A alimentação desse circuito é fornecida

pelo conversor isolado HLK-5D1205, que recebe 12 V na entrada e disponibiliza 5 V isolados na saída. Essa isolação garante a integridade dos sinais e eleva a imunidade a ruídos e interferências provenientes do circuito de 12 V.

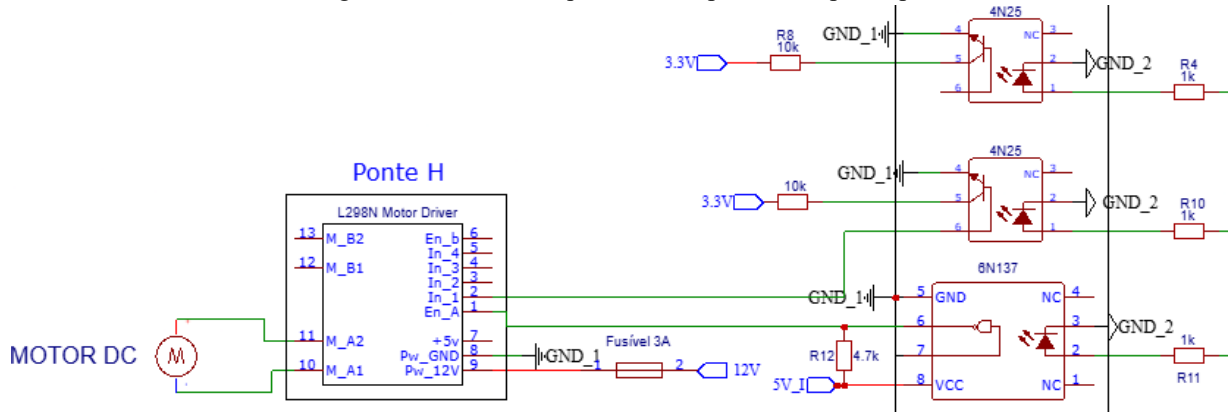
Figura 41 – Esquema elétrico do circuito de 5 V/3,3 V da bancada.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Os optoacopladores desempenham papel fundamental na proteção e confiabilidade do sistema, mantendo a comunicação entre os dois circuitos sem a perda do isolamento. O optoacoplador 4N25 foi utilizado na interface com sinais digitais de baixa frequência, como os provenientes dos sensores indutivos e das portas IN1 e IN2 da ponte H, assegurando isolamento elétrico entre controle e acionamento. Já o 6N137, por sua maior velocidade de resposta, foi aplicado na porta *enable* da ponte H para o controle PWM, garantindo a transmissão do sinal de modulação sem degradação (Figura 42).

Figura 42 – Circuito esquemático da ponte H e optoacopladores.

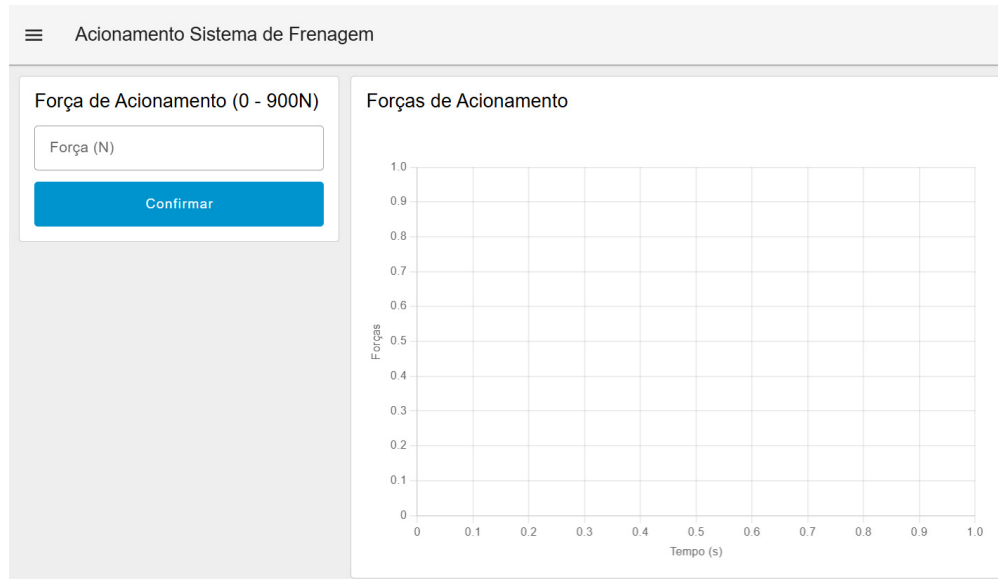


Fonte: Autoria própria, 2025.

Com o circuito eletrônico implementado, estabeleceu-se a lógica de aquisição e tratamento dos dados provenientes dos sensores. Alguns módulos exigem bibliotecas específicas para funcionamento, como o MAX6675, responsável pela leitura dos termopares tipo K, e o HX711, utilizado na amplificação e calibração das células de carga — etapa fundamental para assegurar a precisão das medições. A determinação da rotação (RPM) a partir dos sensores indutivos é realizada por meio da contagem de pulsos em intervalos de tempo definidos, enquanto o cálculo do torque de frenagem resulta do produto entre a força aferida pelas células de carga e o braço de alavanca do freio de Prony projetado para a bancada (Apêndice A).

O controle do atuador elétrico é realizado em malha fechada. O usuário define o valor de referência (setpoint), correspondente à força de acionamento, por meio da interface supervisória (Figura 43). O sistema compara esse valor com o sinal de realimentação proveniente da célula de carga acoplada ao atuador linear. O erro de controle, definido como a diferença entre a força desejada (setpoint) e a força efetivamente medida (saída), é utilizado para modular, via PWM, a velocidade do motor do atuador. Dessa forma, o sistema opera inicialmente em alta velocidade quando o valor medido está distante do setpoint e reduz progressivamente a velocidade à medida que se aproxima do valor de referência, assegurando precisão e estabilidade na resposta. Todo o processo pode ser acompanhado em tempo real pela interface supervisória (figura 43).

Figura 43 – *Dashboard* para seleção de força de acionamento e monitoramento dos parâmetros da malha fechada.



Fonte: Autoria própria, 2025.

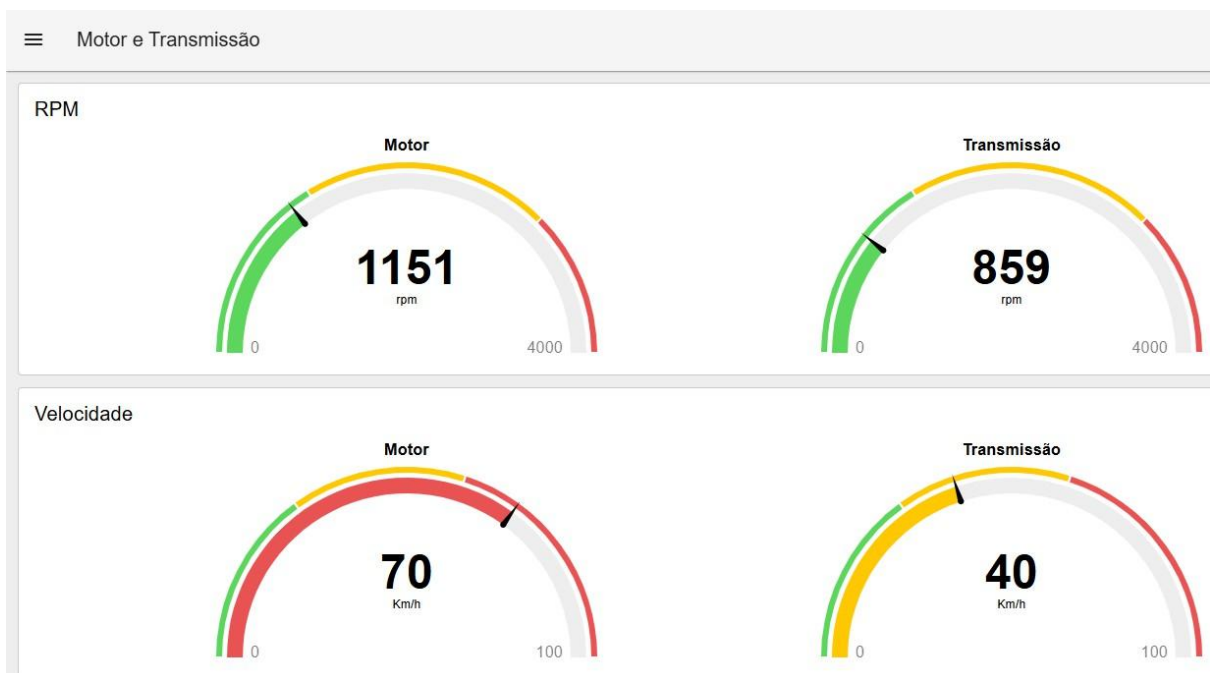
O sistema supervisorio, implementado na plataforma Node-RED, estabelece uma comunicação robusta e eficiente com o microcontrolador ESP32 por meio do protocolo *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). Este protocolo, leve e baseado no modelo publicador/assinante (*publish/subscribe*), é ideal para ambientes de Internet das Coisas (IoT) e sistemas de aquisição de dados em tempo real, garantindo baixa latência e consumo otimizado de banda.

No presente projeto, o ESP32 atua como publicador, coletando dados de diversos sensores e enviando-os para um *broker* MQTT (hospedado no próprio Node-RED ou em um servidor dedicado). O Node-RED, por sua vez, atua como assinante, recebendo essas mensagens e processando-as para visualização e análise em um dashboard intuitivo (Apêndice C).

A comunicação é organizada em tópicos hierárquicos, que funcionam como canais lógicos responsáveis por segmentar os diferentes tipos de informação transmitida. Essa estrutura evita sobreposição de dados e garante que cada subsistema do projeto seja identificado de forma unívoca. Os tópicos seguem convenções nomeadas (por exemplo, *esp32/rpm_I* ou *esp32/temperatura_II*), o que permite ao Node-RED assinar apenas os fluxos de dados relevantes e manter o sistema escalável. Dessa forma, cada variável crítica do ensaio pode ser monitorada de maneira independente, facilitando a análise em tempo real e a futura integração de novos sensores.

- Sensores Indutivos (RPM): Os sensores indutivos (INDUTIVO_I e INDUTIVO_II, conectados aos pinos GPIO 15 e 2, respectivamente) monitoram a rotação de componentes mecânicos. O ESP32 contabiliza os pulsos gerados por esses sensores e calcula a rotação em RPM. Essa informação é publicada nos tópicos esp32/rpm_I e esp32/rpm_II, permitindo o monitoramento em tempo real da velocidade de rotação do motor e da transmissão (Figura 44).

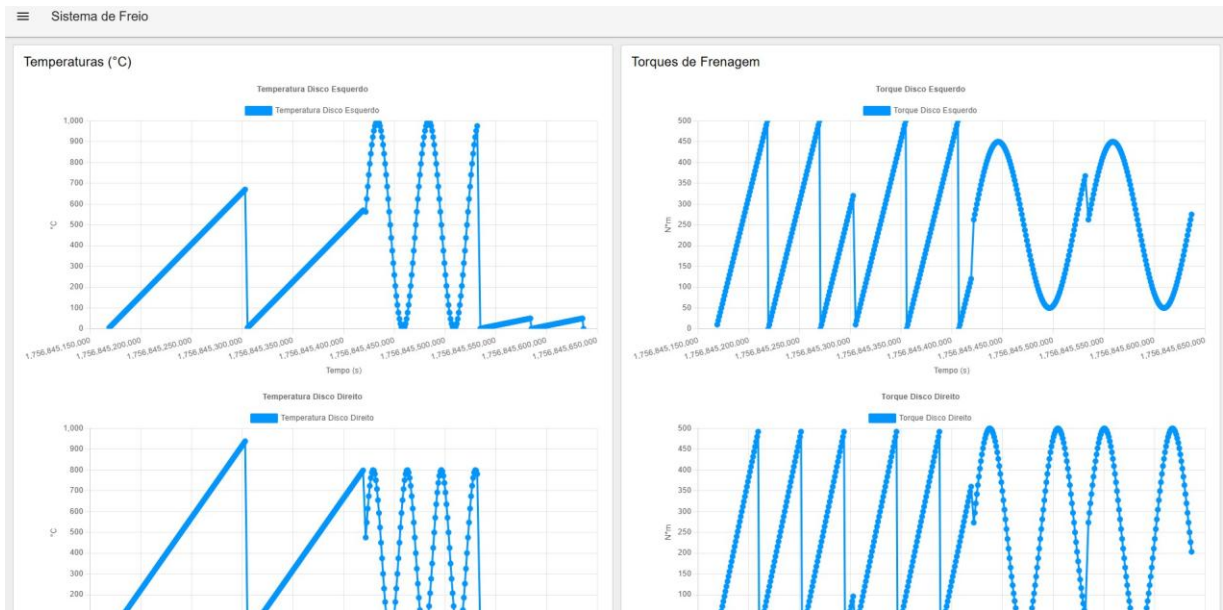
Figura 44 – *Dashboard* para monitoramento dos parâmetros aferidos do sistema de *powertrain*.



Fonte: Autoria própria, 2025.

- Sensores de Temperatura (Termopares MAX6675): Dois módulos MAX6675, acoplados a termopares tipo K, são utilizados para medir a temperatura. O primeiro módulo (conectado aos pinos GPIO 13, 12 e 14) e o segundo (conectado aos pinos GPIO 27, 26 e 25) fornecem leituras em graus Celsius. Os dados de temperatura são publicados nos tópicos esp32/temperatura_I e esp32/temperatura_II, essenciais para avaliar o comportamento térmico dos sistemas sob teste (Figura 45).

Figura 45 – *Dashboard* para monitoramento dos parâmetros aferidos do sistema de frenagem.



Fonte: Autoria própria, 2025.

- Células de Carga (HX711): Três células de carga, conectadas a módulos amplificadores HX711 (pinos GPIO 33/32, 35/34 e 22/23), são empregadas para medir forças e cargas. Após a aquisição e conversão analógico-digital, os valores de carga são publicados nos tópicos `esp32/carga_I`, `esp32/carga_II` e `esp32/carga_MF`. Estes tópicos são cruciais para a determinação do torque de frenagem e a avaliação do sistema de acionamento em malha fechada.

Essa arquitetura modular e baseada em tópicos MQTT confere ao sistema alta flexibilidade e escalabilidade, permitindo a fácil adição de novos sensores ou a expansão do sistema supervisorio sem a necessidade de reestruturação complexa. O Node-RED, ao assinar esses tópicos, organiza os dados recebidos em fluxos lógicos, que são então utilizados para alimentar painéis de visualização, gráficos e alertas, proporcionando uma interface completa para o monitoramento e controle da bancada experimental (Apêndice C).

Por fim, a pesquisa evidenciou que a modularidade no projeto da bancada — contemplando controladores, sensores, dispositivos de proteção e conversão — facilita tanto a manutenção quanto a possibilidade de reconfiguração para novos ensaios experimentais. Dessa forma, o sistema projetado atende às exigências de confiabilidade, precisão e segurança necessárias para a caracterização do desempenho do *powertrain* e do sistema de freios em condições representativas da competição Baja SAE.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento das bancadas dinâmicas para ensaios do sistema de transmissão e de frenagem do veículo Baja SAE representa um passo estratégico tanto para a evolução da equipe acadêmica envolvida quanto para a consolidação da pesquisa aplicada em engenharia automotiva. A criação de estruturas experimentais viabiliza um ambiente de testes controlado, seguro e repetitivo, permitindo que variáveis críticas, como torque, eficiência, desempenho em diferentes regimes de rotação e capacidade de frenagem, sejam monitoradas com precisão.

Os resultados esperados com a execução deste projeto vão além da simples validação de componentes: trata-se de construir um elo direto entre teoria e prática. Com a bancada, será possível confirmar a aderência dos modelos matemáticos e simulações computacionais à realidade experimental, reduzindo incertezas nos cálculos de projeto e fornecendo subsídios para tomadas de decisão mais assertivas. A coleta sistemática de dados permitirá ainda identificar pontos de melhoria, seja na calibração do sistema CVT, no dimensionamento dos freios ou na integração geral da transmissão com o motor, resultando em ganhos de desempenho, eficiência e segurança do protótipo.

Além do impacto técnico, a implementação das bancadas terá um efeito transformador na formação acadêmica. Os estudantes envolvidos não apenas desenvolvem competências práticas em instrumentação, análise de dados e validação experimental, mas também fortalecerão habilidades essenciais, como trabalho em equipe, pensamento crítico e resolução de problemas multidisciplinares. Essa experiência cria um diferencial significativo para sua atuação futura na indústria, aproximando-os da realidade dos processos de desenvolvimento e teste aplicados em grandes centros de engenharia.

Portanto, a conclusão que se alcança é que o projeto das bancadas dinâmicas cumpre um duplo papel: contribuir diretamente para a competitividade do veículo Baja SAE em competições, por meio de um desempenho mais confiável e otimizado, e consolidar-se como um instrumento pedagógico e científico, capaz de gerar conhecimento, inovação e continuidade de pesquisas. Nesse sentido, a iniciativa reafirma o compromisso com a excelência acadêmica e tecnológica, ao mesmo tempo em que projeta o curso e a equipe para novos patamares dentro da engenharia automotiva e da mobilidade *off-road*.

REFERÊNCIAS

AFORNECEDORA. *Motor Honda GX390 Mega 15,4 hp QBL – Uso Náutico com CDI*.

Disponível em:

<https://lojaafornecedora.com.br/produtos/motor-honda-gx390-mega-15-4-hp-qbl-uso-nautico-com-cdi/?srsltid=AfmBOoqsAwiXu6Hw4pdQ4ON8-A8C4pNkH6xY3fhRnpWCZ9TkdyZrOgd1>. Acesso em: 20 ago. 2025.

AGELECTRONICA. *HLK-5D1205*. Disponível em:

<https://agelectronica.lat/pdfs/textos/H/HLK-5D1205.PDF>. Acesso em: 25 ago. 2025.

BATALHA, M. F.; OLIVEIRA, T. P. Aplicações de sistemas supervisórios no monitoramento de ensaios laboratoriais automotivos. *Revista Engenharia em Foco*, v. 8, n. 1, p. 78–90, 2022.

BAUMER USA. *Working principle and technology of inductive sensors*. Disponível em:

https://www.baumer.com/us/en/service-support/function-principle/working-principle-and-technology-of-inductive-sensors/a/Know-how_Function_Inductive-sensors. Acesso em: 28 ago. 2025.

BISOL, C. L. *Ensaaios laboratoriais e o uso de bancadas experimentais na engenharia automotiva*. Porto Alegre: Editora Universitária, 2021.

BISOL, Matheus. *Dimensionamento e avaliação experimental de um sistema de freio aplicado a um veículo Baja SAE*. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2021.

BOSCH. *Automotive Handbook*. 9th ed. Germany: Robert Bosch GmbH, 2014.

BOSCH. *Manual de Tecnologia Automotiva*. 26ª ed. Bosch, 2010.

BOYER, S. A. *SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition*. 4th ed. ISA, 2020.

BROWN, J.; WILLIAMS, R.; MARTIN, L. *Mechanical Stress Analysis: Theory and Applications*. New York: Springer, 2019.

CALLISTER, W. D. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 10. ed. New York: Wiley, 2017.

COMET CLUTCHES. *780 Series – Torque Converter*. Disponível em:

<https://www.cometclutches.com/products/torque-converters/780-automatic-torque/>. Acesso em: 20 ago. 2025.

CORREIO MECÂNICO. *Veículo de competição off-road Baja SAE da UFPR conta com tecnologia*. Disponível em:

<https://correiomecanico.com.br/veiculo-de-competicao-off-road-baja-sae-da-ufpr-conta-com-tecnologia/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

COSTA, L. A. et al. Projeto e desenvolvimento de veículo off-road para competição Baja SAE Brasil. *Revista Sodebras*, v. 15, n. 176, p. 40–47, 2020.

COSTA, R. B.; LIMA, G. F.; MORAIS, D. M. Desenvolvimento e análise de desempenho do sistema de transmissão de um veículo tipo Baja SAE. *Revista Engenharia em Foco*, v. 12, n. 1, p. 27–38, 2020.

DATASHEET LJ12A3-4-Z. Disponível em:

<https://datasheet4u.com/datasheet/ETT/LJ12A3-4-Z-1096182>. Acesso em: 25 ago. 2025.

DEBIAZZI FILHO, Reinaldo Henrique. *Desenvolvimento de um dinamômetro de bancada de baixo custo para motores de Baja SAE Brasil*. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2022.

DEMON POWERSPORTS. *Yamaha Rhino 660 Rugged Performance Axle*. Disponível em: <https://www.demonpowersports.com/products/yamaha-rhino-660-rugged-performance-axle?srsltid=AfmBOor5PfSHwondGERt8rzKuooHcnjeuNbEERm4V51mlQtLkAYgLgvN>. Acesso em: 20 ago. 2025.

ELETROGATE. *Termopar Tipo K 0 a 800°C – Módulo de leitura MAX6675*. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/termopar-tipo-k-0-a-800c-modulo-de-leitura-max6675>. Acesso em: 25 ago. 2025.

ESPRESSIF. *ESP32 Series Datasheet*. Espressif Systems, 2022. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>. Acesso em: 9 ago. 2025.

FARIA, R. A. et al. Análise estrutural e térmica de um sistema de transmissão para veículos Baja SAE. *Revista de Engenharia Aplicada e Tecnologia*, v. 6, n. 1, p. 45–52, 2018.

FERNANDES, M. L.; LIMA, T. S. Avaliação do sistema de frenagem em veículos off-road para competições estudantis. *Revista Brasileira de Engenharia Mecânica*, v. 42, n. 2, p. 89–97, 2020.

FONTEC FTV. *Fonte chaveada colmeia 12V 10A 120W*. Disponível em: <https://fontecftv.com.br/produto/f>. Acesso em: 25 ago. 2025.

FOX, R. W.; McDONALD, A. T. *Introdução à Mecânica dos Fluidos*. LTC, 2014.

FUTEK. *Strain Gauge Load Cell | How it works and how to choose*. Disponível em: <https://www.futek.com/strain-gauge-load-cell>. Acesso em: 29 ago. 2025.

GERDAU. **Catálogo Técnico – Aços Carbono e Ligados**. Porto Alegre: Gerdau, 2020. Disponível em: <https://www2.gerdau.com/br/pt/produtos/aco-carbono-e-ligado>. Acesso em: 10 set. 2025.

GERE, J. M. *Mechanics of Materials*. 9. ed. Boston: Cengage Learning, 2018.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GILLESPIE, T. D. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Warrendale: SAE International, 2014.

GURGEL, F. L.; MARTINS, D. R. Estudo da dinâmica veicular aplicada ao projeto de veículos off-road. In: *Anais do Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM*, Salvador, 2019.

GURGEL, M. F.; MARTINS, D. F. Análise de desempenho de sistemas de transmissão em veículos Baja SAE. *Revista Engenharia em Foco*, v. 11, n. 2, p. 55–68, 2019.

HEISLER, H. *Advanced Vehicle Technology*. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002.

HEYWOOD, J. B. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill, 1988.

HIBBELER, R. C. *Engineering Mechanics: Statics and Dynamics*. 14. ed. Boston: Pearson, 2020.

LIMPERT, R. *Brake Design and Safety*. 3rd ed. Warrendale: SAE International, 2011.

MAKERHORE. O que é um Optoacoplador? Funcionamento e como testar. Disponível em: <https://www.makerhero.com/blog/o-que-e-um-optoacoplador/>. Acesso em: 28 ago. 2025.

MEDEIROS, J. F.; SANTOS, A. C.; FREITAS, G. T. Aquisição de dados aplicada à análise de desempenho veicular em bancada experimental. *Caderno de Engenharia Mecânica*, v. 19, n. 2, p. 34–47, 2021.

MILANI, M. A.; BRUNO, F. A. *Frenagem veicular: fundamentos e aplicações*. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MILLER, R. *Mechatronics: Principles and Applications*. 2nd ed. Cengage Learning, 2016.

MUNDO DA ELÉTRICA. *Fusível: o que é e suas aplicações*. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-fusivel-e-quais-as-suas-aplicacoes/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

NIEHUES, Bruno Junkes. *Projeto de uma bancada para ensaios de desempenho do disco de freio de um veículo Baja SAE*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Centro Universitário SATC, Criciúma, [s.d.].

O FANTÁSTICO DA FÍSICA. *Esquema simplificado de um sistema de freio de automóvel*. 2012. Disponível em: <https://ofantasticodafisica.blogspot.com/2012/08/>. Acesso em: 30 de ago, 2025.

OLIVEIRA, J. P. et al. Desenvolvimento de bancada de testes para validação de sistemas automotivos em veículos de competição. *Revista Científica de Engenharia Mecânica*, v. 5, n. 2, p. 58–67, 2021.

POCHE, Pedro Cauduro. *Desenvolvimento de uma bancada de teste de freios com torque de frenagem de até 400 Nm*. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2023.

ROSS, J. *Structural Analysis for Engineers*. London: Routledge, 2016.

SAE BRASIL. *Regulamento Baja SAE Brasil 2024*. São Paulo: SAE Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.saebrasil.org.br/eventos/baja>. Acesso em: 5 ago. 2025.

SILVA, H. M. et al. Aplicação de sistemas supervisórios para monitoramento de bancadas experimentais em engenharia automotiva. *Revista Brasileira de Automação e Controle*, v. 9, n. 3, p. 112–120, 2022.

SILVA, J. P. et al. Avaliação estrutural e dinâmica do conjunto powertrain aplicado em veículo off-road universitário. In: *Anais do Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM*, Uberlândia, 2019.

SMITH, A.; JONES, P. *Finite Element Methods in Engineering*. 2. ed. London: Elsevier, 2015.

SPARKFUN. *HX711*. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/html-pdf/1371088/SPARKFUN/HX711/445/1/HX711.html>. Acesso em: 25 ago. 2025.

SYSMA ELETRÔNICA. *4N25*. Disponível em: <https://sysmaelettronica.it/en/products/4n25>. Acesso em: 25 ago. 2025.

TEKON ELECTRONICS. *Como os agentes do protocolo MQTT comunicam*. Disponível em: <https://www.tekonelectronics.com/pt/media/centro-aprendizagem/como-e-que-os-agentes-do-protocolo-mqtt-comunicam/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

VIANNA, M. F. *Análise de desempenho em sistemas de transmissão e frenagem aplicados a veículos off-road*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

VIEIRA, R. A.; LIMA, M. S.; CASTRO, L. M. Desenvolvimento de bancadas didáticas para testes de sistemas automotivos: uma abordagem prática em engenharia mecânica. *Revista Brasileira de Engenharia Aplicada*, v. 10, n. 3, p. 55–66, 2018.

VINITRÔNICA. Atuador linear V0-F (com sensor de feedback) - 12V. Disponível em: <https://www.vinitronica.com.br/atuator-linear-com-sensor-de-feedback-12v>. Acesso em: 20 ago. 2025.

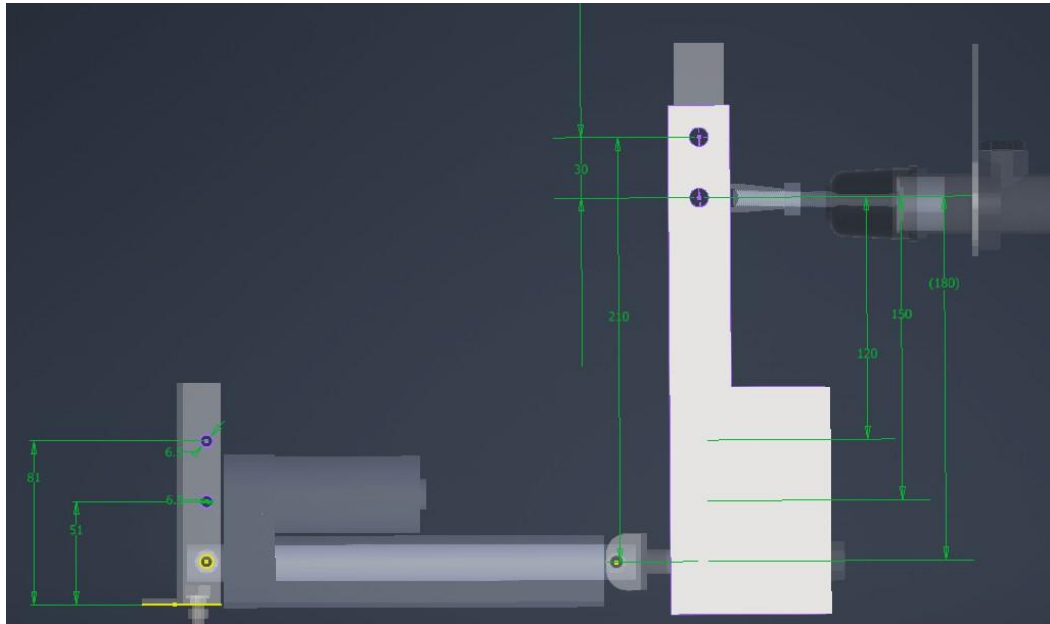
VISHAY. *6N137*. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/html-pdf/652834/VISHAY/6N137/2194/10/6N137.html>. Acesso em: 25 ago. 2025.

WONG, J. Y. *Theory of Ground Vehicles*. 4th ed. Hoboken: Wiley, 2008.

ZEMIC EUROPE. *Load Cells H3*. Disponível em:
<https://www.zemiceurope.com/en/categories/load-cells/h3>. Acesso em: 25 ago. 2025.

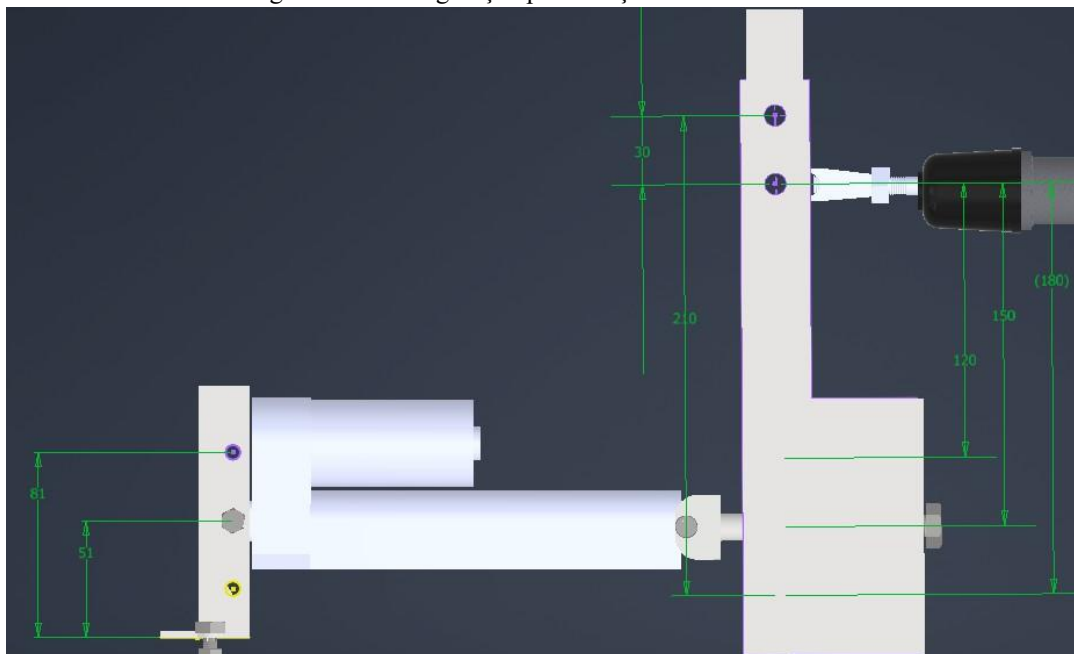
APÊNDICE A – CONFIGURAÇÕES DO ACIONAMENTO DO SISTEMA DE FRENAGEM

Figura 46 – Configuração para relação de alavanca 6:1.



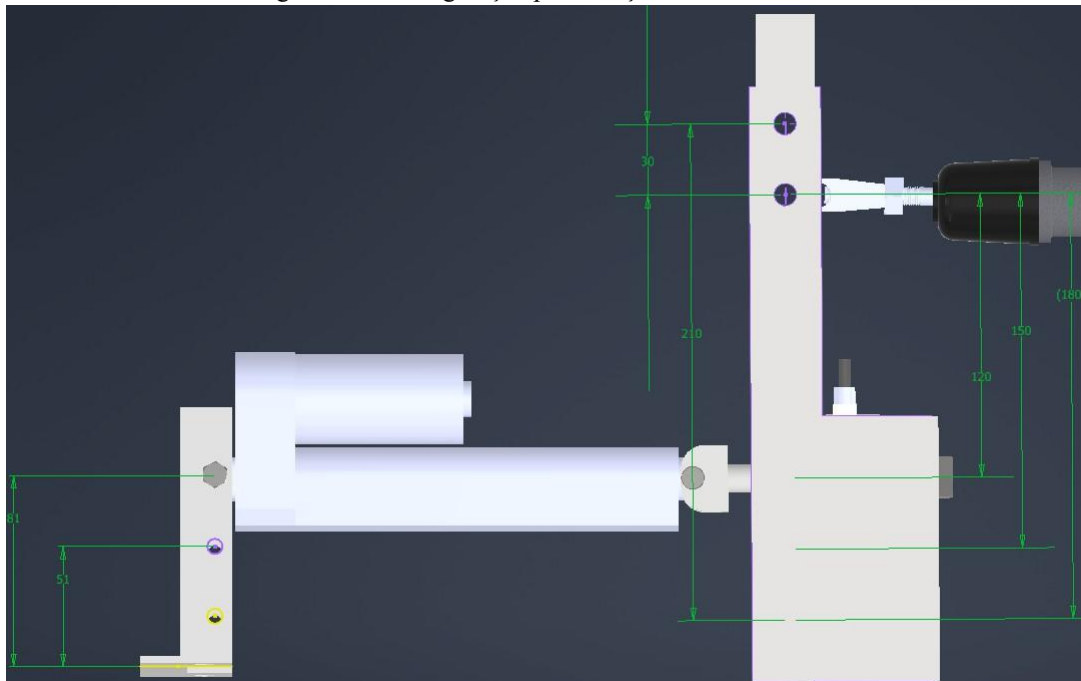
Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 47 – Configuração para relação de alavanca 5:1.



Fonte: Autoria própria, 2025.

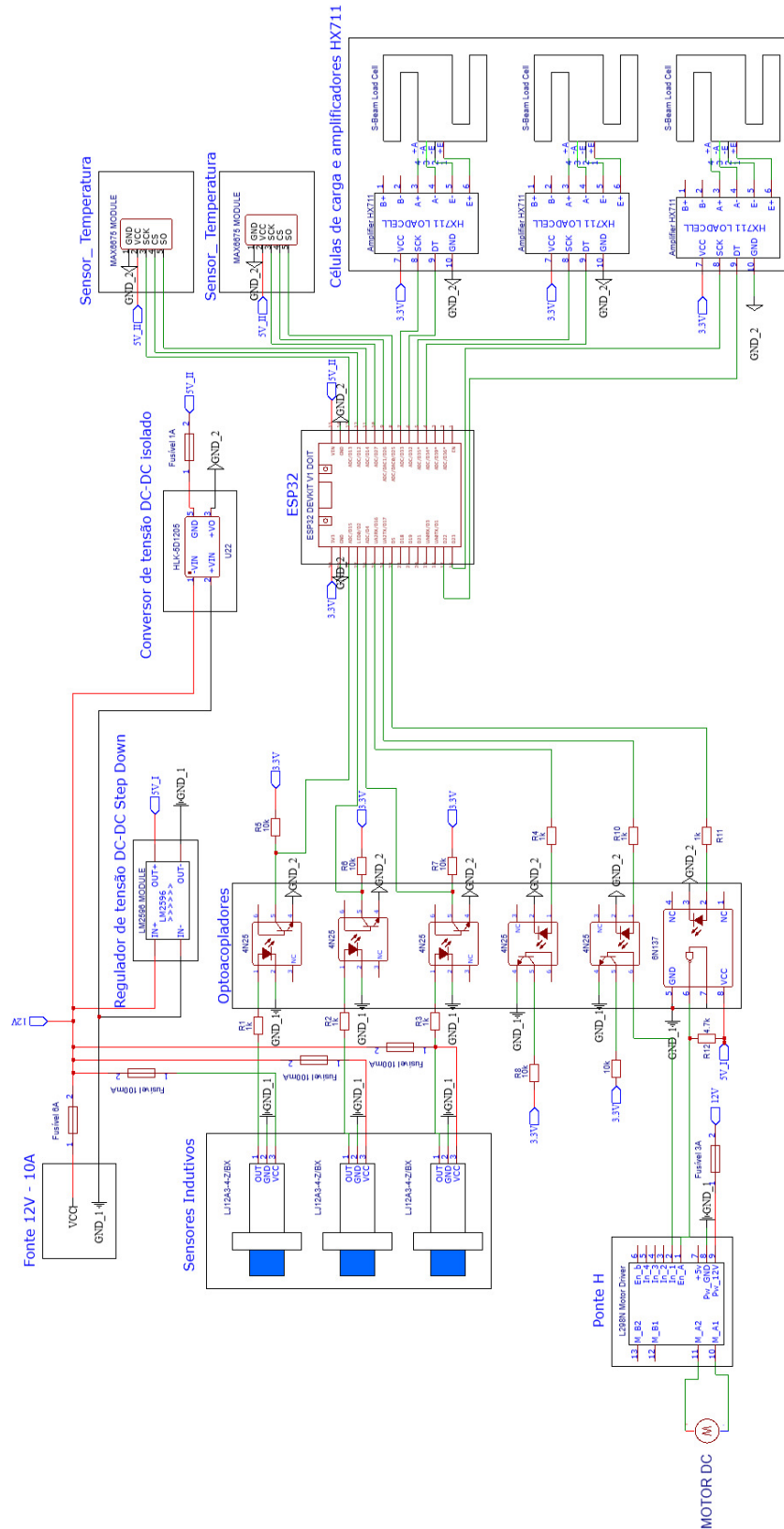
Figura 48 – Configuração para relação de alavanca 4:1.



Fonte: Autoria própria, 2025.

APÊNDICE B – CIRCUITO DE INSTRUMENTAÇÃO DA BANCADA

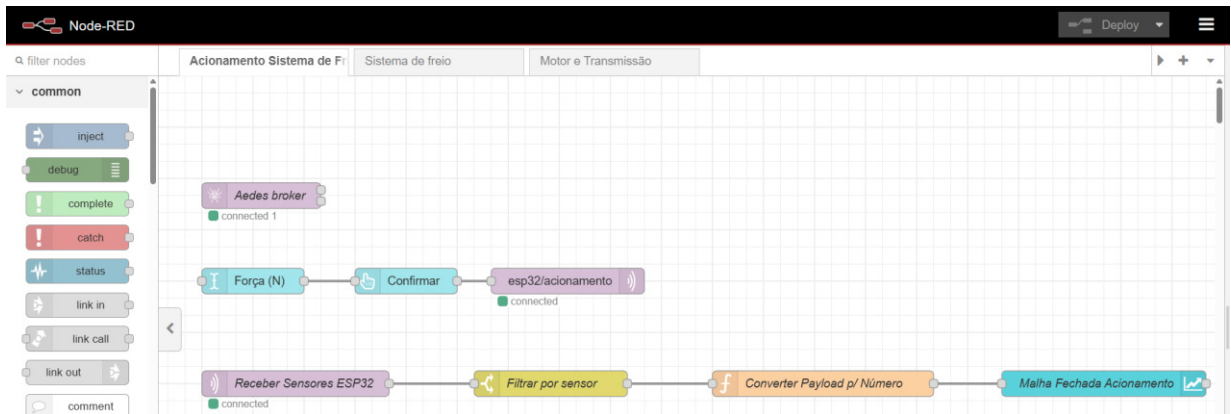
Figura 49 – Esquemático do circuito de instrumentação da bancada



Fonte: Autoria própria.

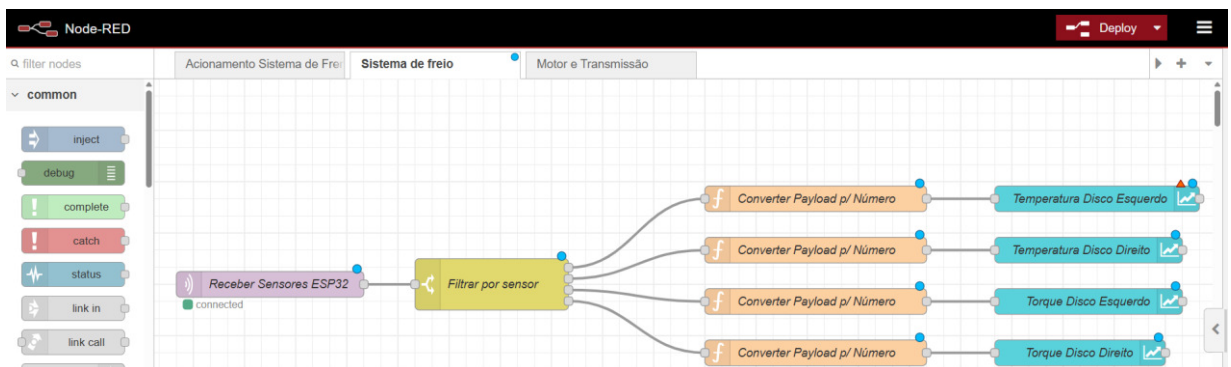
APÊNDICE C – SISTEMA SUPERVISÓRIO NODE-RED

Figura 50 – Nós Node-Red do *broker MQTT*, seleção de força de acionamento e gráfico do sistema em malha fechada do acionamento.



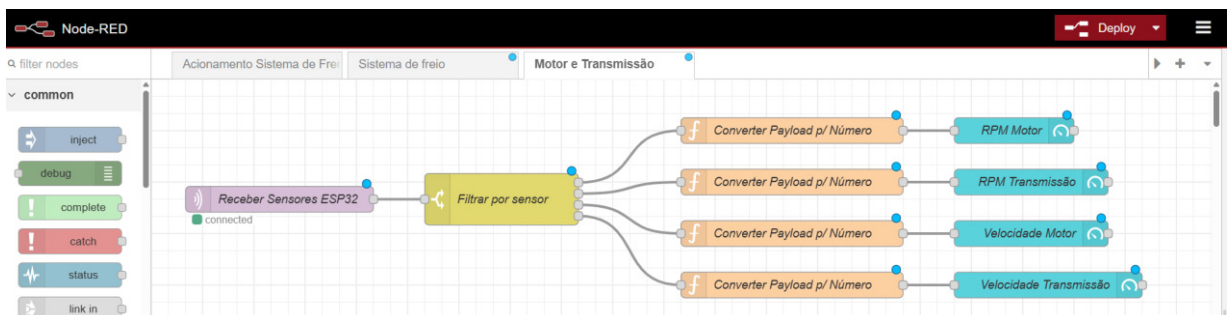
Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 51 – Nós Node-Red para receber, modularizar e exibir os dados do sistema de frenagem.



Fonte: Autoria própria, 2025.

Figura 52 – Nós Node-Red para receber, modularizar e exibir dados do sistema de *powertrain*.



Fonte: Autoria própria, 2025.

	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

Entrega de TCC

Assunto:	Entrega de TCC
Assinado por:	Felipe Silva
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:

- Felipe Carvalho da Silva, ALUNO (202012240028) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO - CAMPUS CAJAZEIRAS, em 02/10/2025 23:16:39.

Este documento foi armazenado no SUAP em 02/10/2025. 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: 1630975
Código de Autenticação: 17e9581550

