

**CENTRO PAULA SOUZA
FATEC SANTO ANDRÉ**

Tecnologia em Eletrônica Automotiva

**CARLOS HENRIQUE CAVALCANTI DE OLIVEIRA
DANILO ANDRÉ SOUZA DIAS
GABRIEL RODRIGUES DE ALMEIDA**

**MOBILIDADE INCLUSIVA: Freio e acelerador integrados ao volante
para motoristas PCD.**

Santo André

2025

CARLOS HENRIQUE CAVALCANTI DE OLIVEIRA
DANILO ANDRÉ SOUZA DIAS
GABRIEL RODRIGUES DE ALMEIDA

**MOBILIDADE INCLUSIVA: Freio e acelerador integrados ao volante
para motoristas PCD.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva da FATEC Santo André, orientado pelo Prof. Me. Nicolino Foschini Neto, como requisito parcial para obtenção do título de tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

Santo André
2025

FICHA CATALOGRÁFICA

O482m

Oliveira, Carlos Henrique Cavalcanti de
Mobilidade inclusiva: freio e acelerador integrados ao volante para motoristas PCD / Carlos Henrique Cavalcanti de Oliveira, Danilo André Souza Dias, Gabriel Rodrigues de Almeida. - Santo André, 2025. – 55f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2025.

Orientador: Prof. Me. Nicolino Foschini Neto

1. Eletrônica. 2. Veículos. 3. Adaptação. 4. Pessoas com deficiência. 5. Tecnologia. 6. Sensores. 7. Sistemas veiculares. 9. Protótipo. 10. Mobilidade. 11. Legislação. I. Dias, Danilo André Souza. II. Almeida, Gabriel Rodrigues de. III. Mobilidade inclusiva: freio e acelerador integrados ao volante para motorista PCD.

621.3815

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 06 de dezembro de 2025.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:
“MOBILIDADE INCLUSIVA: FREIO E ACELERADOR INTEGRADOS AO
VOLANTE PARA MOTORISTAS PCD” DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE
DESTA U.E.

BANCA

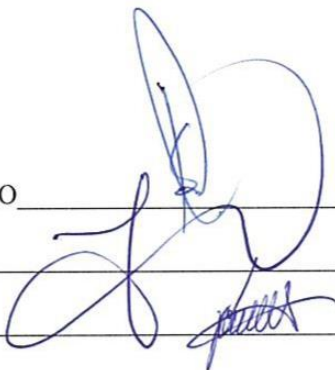
PRESIDENTE:

PROF. NICOLINO FOSCHINI NETO _____

MEMBROS:

PROF. EDSON CAORU KITANI _____

PROF. NOURIANDRES LIBORIO _____

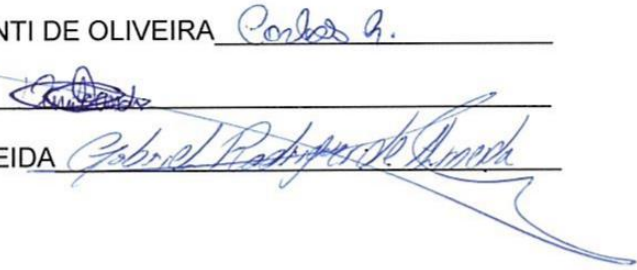


ALUNOS:

CARLOS HENRIQUE CAVALCANTI DE OLIVEIRA _____

DANILO ANDRÉ SOUZA DIAS _____

GABRIEL RODRIGUES DE ALMEIDA _____



Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por me conceder forças e sabedoria ao longo desta caminhada. À minha família, pelo amor incondicional, apoio constante e por sempre acreditarem em mim, mesmo nos momentos mais difíceis. Aos amigos que estiveram ao meu lado durante essa jornada, compartilhando desafios, conquistas e aprendizados. E a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste sonho.

Carlos Henrique Cavalcanti de Oliveira

Dedico este trabalho a Deus, minha família e principalmente a minha esposa Samara por sempre me dar forças e a meu irmão por ter me ensinado muito, e ser a minha inspiração de vida.

Danilo André Souza Dias

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança para concluir esta etapa. À minha família, por todo amor, paciência e apoio incondicional em cada momento desta caminhada. E ao professor Nicolino, cuja orientação, dedicação e conhecimento foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. A todos, minha sincera gratidão.

Gabriel Rodrigues de Almeida

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossos mais sinceros agradecimentos ao Corpo Docente da Fatec Santo André, em especial ao nosso Orientador, Professor Nicolino Foschini que, desde o início, se dedicou ao nosso desenvolvimento acadêmico e foi essencial para a realização deste trabalho. Sua orientação, paciência e dedicação marcaram profundamente nossa trajetória, e somos imensamente gratos por tudo o que aprendi com ele ao longo deste percurso.

"You are never too old to set another goal or to dream a new dream." ("Você nunca é velho demais para estabelecer um novo objetivo ou sonhar um novo sonho.")

- C.S. Lewis

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a adaptação de veículos para pessoas com deficiência (PcD), focando na integração de componentes eletrônicos nas adaptações já existentes, como os sistemas de freio e acelerador. Atualmente, as adaptações para PcD são, em sua maioria, mecânicas, o que pode limitar a flexibilidade e a personalização dos sistemas de controle. A proposta deste estudo é investigar como a eletrônica pode ser incorporada nessas adaptações, oferecendo maior conforto, precisão e segurança para os motoristas. O trabalho abrange a análise de soluções eletrônicas viáveis, como sensores e atuadores, para melhorar a funcionalidade dos controles de direção, sem comprometer a segurança. Além disso, são consideradas as legislações vigentes que regulamentam as adaptações de veículos para PcD, garantindo que as soluções propostas atendam aos requisitos legais e normativos. O estudo inclui o desenvolvimento de um protótipo experimental que visa atender às necessidades específicas de motoristas com deficiência, além de avaliar a viabilidade técnica e a aplicação prática dessas soluções em veículos adaptados.

Palavras-chave: Mobilidade Inclusiva. Pessoas com Deficiência. Adaptação de Veículos. Eletrônica. Acessibilidade. Legislação.

ABSTRACT

This work aims to adapt vehicles for people with disabilities (PcD), focusing on the integration of electronic components into existing adaptations, such as brake and accelerator systems. Currently, most adaptations for PcD drivers are mechanical, which may limit the flexibility and customization of control systems. This study proposes to investigate how electronics can be incorporated into these adaptations, offering greater comfort, precision, and safety for drivers. The research includes the analysis of viable electronic solutions, such as sensors and actuators, to improve the functionality of steering controls without compromising safety. In addition, the study considers the current legislation regulating vehicle adaptations for PcD, ensuring that the proposed solutions comply with legal and regulatory requirements. The project also includes the development of an experimental prototype designed to meet the specific needs of drivers with disabilities, as well as the evaluation of the technical feasibility and practical application of these solutions in adapted vehicles.

Keywords: Inclusive Mobility. People with Disabilities. Vehicle Adaptation. Electronics. Accessibility. Legislation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Funcionamento do sistema ABS	20
Figura 2 - Componentes do sistema EPB	22
Figura 3 - Esquema de funcionamento do sistema Brake-by-Wire	23
Figura 4 - BYD Dolphin Mini adaptado para pessoas com deficiência	29
Figura 5 - Chevrolet Bolt EV com comandos adaptados para PCD	30
Figura 6 - BMW i3 com assento giratório e controles adaptados	30
Figura 7 - Nissan Leaf adaptado com joystick eletrônico	31
Figura 8 - Foto da bancada	53
Figura 9 - Diagrama de blocos	54
Figura 10 - Fluxograma	56
Figura 11 - Código utilizado no fluxograma	57
Figura 12 - Esquema eletrônico do sistema	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplos de veículos elétricos adaptados para PcD	32
Tabela 2 - Modelos compatíveis com PcD e suas tecnologias de assistência à condução	34
Tabela 3 - Tecnologias de assistência à condução e suas funções.	34
Tabela 4 - Leis, resoluções e normas técnicas aplicáveis à adaptação de veículos para PcD no Brasil	41
Tabela 5 - Resumo de legislações aplicáveis à adaptação veicular para PcD	45
Tabela 6 - Comparativo de preços dos principais veículos PcD com e sem isenções fiscais	47
Tabela 7 - Testes realizados (20 ciclos)	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Tempo de resposta do sistema

63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems (Sistemas Avançados de Assistência ao Condutor)
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
CAN	Controller Area Network
CDPD	Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência
CNH	Carteira Nacional de Habilitação
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CSV	Certificado de Segurança Veicular
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
ECU	Electronic Control Unit (Unidade de Controle Eletrônico)
ETC	Electronic Throttle Control (Controle Eletrônico do Acelerador)
EV	Electric Vehicle (Veículo Elétrico)
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IOF	Imposto sobre Operações Financeiras
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
LBI	Lei Brasileira de Inclusão
LC	Lei Complementar
MDPI	Multidisciplinary Digital Publishing Institute
NBR	Norma Brasileira Registrada
OAM	Observatório de Acessibilidade e Mobilidade
PcD	Pessoa com Deficiência
SAE	Society of Automotive Engineers
STF	Supremo Tribunal Federal
STJ	Superior Tribunal de Justiça

UE

União Europeia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivo	17
1.2 Organização do Trabalho	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 Sistemas Eletrônicos e Tecnologias de Adaptação	21
2.1.1 Sistemas de Freio Eletrônicos: Funcionamento e Aplicações.....	21
2.1.2 Acelerador Eletrônico Veicular: Funcionamento, Aplicações Assistivas e Aspectos Regulatórios.....	25
2.1.3 Tendências Futuras.....	26
2.1.4 Acelerador Eletrônico Adaptado para PcD.....	27
2.1.5 Tipos de Adaptação para Condutores PcD.....	27
2.1.6 Benefícios da Aceleração Eletrônica Adaptada	27
2.1.7 Normas Técnicas Relacionadas	28
2.1.8 Legislação Aplicável.....	28
2.1.9 Permissão Legal e Normativa para Adaptação.....	28
2.1.10 Limitações dos Veículos Elétricos para PCD	28
2.1.11 Exemplos Práticos de Adaptação para PCD em Veículos Elétricos	30
2.1.12 Tendências Tecnológicas para o Futuro.....	34
2.1.13 Avanços em Adaptações Veiculares.....	34
2.1.14 Tecnologias de Assistência à Condução	35
2.1.15 Aplicativos de Mobilidade Acessíveis	36
2.1.16 Infraestrutura Urbana Inclusiva.....	37
2.1.17 Veículos Autônomos: Perspectivas Futuras	37
3 METODOLOGIA.....	37
3.1 Tipo de pesquisa	19
3.2 Abordagem metodológica.....	19
3.3 Procedimento técnico	19
3.4 Justificativa do método	20
4 ANÁLISE DO MERCADO ATUAL DE VEÍCULOS ADAPTADOS	39
4.1 Legislação e Benefícios Fiscais.....	39
4.2 Tempo médio e etapas do processo de isenção fiscal.....	41
4.3 Normas Técnicas e Procedimentos	42
4.4 Estatísticas e Impacto Econômico	43
4.5 Panorama Internacional.....	43
4.6 Principais Modelos de Veículos Utilizados por PcD	44
4.7 Critérios de Escolha dos Modelos	45
4.8 Modelos Populares entre o Público PcD.....	46
4.9 Adaptações Comuns	47
4.10 Acesso a Oficinas e Serviços de Adaptação	48

4.11 Aquisição do veículo.....	48
4.12 Adaptação do veículo	48
4.13 Oficinas especializadas	49
4.14 Dificuldades na adaptação do sistema	49
4.15 Desafios enfrentados pelos condutores PcD	50
4.16 Barreiras Infraestruturais para Motoristas PcD	50
4.17 Dados Econômicos sobre Veículos Adaptados	51
4.18 Caminhos para Inclusão e Boas Práticas	51
5 DESENVOLVIMENTO, MONTAGEM E FUNCIONAMENTO DA BANCADA DE FREIO	53
5.1 Finalidade da Bancada.....	53
5.2 Descrição Geral da Estrutura	53
5.3 Funcionamento do Sistema	54
5.4 Código Utilizado no Controle	55
5.5 Esquema Elétrico do Sistema.....	56
5.6 Aplicação no Contexto PCD	57
6 TESTES REALIZADOS.....	60
6.1 Procedimentos de Teste.....	60
6.2 Coleta de Dados.....	60
6.3 Análise dos Resultados	61
6.4 Simulação de Testes - Sistema Eletrônico de Freio (Drive-By-Wire)	61
Parâmetros do Sistema	61
6.5 Conclusão técnica	63
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
7.1 Propostas Futuras	65
7.2 Limitações do Estudo	66
REFERÊNCIAS	68
APÊNDICES.....	71

1 INTRODUÇÃO

A mobilidade é algo essencial na vida de qualquer pessoa. Poder se deslocar com autonomia e segurança não é só uma questão de conforto, mas também de inclusão. No caso das pessoas com deficiência (PcD), o uso do transporte público nem sempre é viável, o que faz com que a adaptação de veículos particulares se torne uma alternativa importante para garantir esse direito.

Hoje já existem diversas adaptações possíveis para veículos, como controles manuais, freios por alavanca e aceleradores específicos. No entanto, grande parte dessas soluções ainda é baseada em sistemas mecânicos, com pouca presença de tecnologia eletrônica embarcada, que poderia facilitar o uso e ampliar a segurança. Ao mesmo tempo, os veículos modernos já contam com eletrônica avançada, o que abre espaço para pensar em adaptações mais eficientes.

Nos últimos anos, o número de pessoas com deficiência que buscam veículos adaptados aumentou. Incentivos fiscais como isenção de IPI, ICMS e IPVA têm ajudado a tornar essa compra mais acessível. Apesar disso, encontrar veículos compatíveis e oficinas especializadas ainda é um desafio, principalmente fora dos grandes centros urbanos.

A legislação brasileira também tem avançado nesse tema. Resoluções do CONTRAN, normas da ABNT e leis como a nº 8.989/1995 dão suporte para que condutores PcD possam adaptar seus veículos de forma segura e dentro da lei. Ainda assim, quando falamos em integrar eletrônica aos sistemas de freio e acelerador, surgem dúvidas e dificuldades técnicas, principalmente por causa da complexidade dos sistemas atuais.

1.1 Objetivo

Este trabalho de conclusão de curso apresenta um demonstrador de adaptação veicular que integra o sistema de freio e o acelerador ao volante, com foco em motoristas com deficiência física nos membros inferiores. A ideia é aproveitar os recursos eletrônicos já presentes nos veículos atuais e desenvolver uma solução funcional e segura, respeitando os limites técnicos e legais existentes.

1.2 Organização do Trabalho

O trabalho está dividido em sete capítulos. No primeiro, é feita a apresentação do tema, com a justificativa e os objetivos do projeto. O segundo capítulo traz uma análise do mercado de veículos adaptados, as legislações envolvidas e os principais modelos disponíveis. No terceiro capítulo são exploradas as tecnologias eletrônicas e as soluções de adaptação. Por fim, no quarto capítulo, são apresentadas as conclusões, as dificuldades enfrentadas e sugestões de melhorias futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sistemas Eletrônicos e Tecnologias de Adaptação

Os freios eletrônicos são sistemas de frenagem que utilizam tecnologia eletrônica para controlar a força de frenagem, oferecendo maior precisão e segurança. Estão presentes principalmente em veículos modernos, híbridos e elétricos. Abaixo estão os principais tipos:

2.1.1 Sistemas de Freio Eletrônicos: Funcionamento e Aplicações

O ABS previne o travamento das rodas em frenagens bruscas, permitindo que o motorista mantenha o controle direcional do veículo. Cada roda é monitorada por sensores que, ao detectar risco de bloqueio, fazem com que a ECU reduza e reaplique a pressão de frenagem automaticamente, evitando derrapagens. Estudos demonstram que o uso do ABS pode reduzir significativamente acidentes em pista molhada ou escorregadia.

Legislação Aplicável: No Brasil, a obrigatoriedade do sistema ABS foi estabelecida pela Resolução CONTRAN nº 311/2009, que determinou a instalação progressiva do sistema em veículos novos a partir de 2010, alcançando 100% da frota em 2014. Na Figura 1, traz-se o funcionamento do sistema ABS.

Figura 1 - Funcionamento do sistema ABS.



Fonte: Carro de Garagem (2021).

O EBS substitui partes mecânicas e hidráulicas tradicionais por comandos eletrônicos. Ao pressionar o pedal de freio, sensores captam a intensidade do movimento e enviam sinais à unidade de controle eletrônico (ECU), que aciona atuadores para aplicar força de frenagem diretamente nas rodas. Essa resposta rápida e precisa melhora a estabilidade do veículo, sendo comum em ônibus, caminhões e veículos pesados (Moura; Soares, 2016). Além disso, o EBS facilita a integração com sistemas como ABS, EBD e controle de tração. (Fonte: Academia.edu, 2016).

Legislação Aplicável: Embora não haja uma legislação específica que torne o EBS obrigatório em todos os veículos no Brasil, a Resolução CONTRAN nº 915/2022 estabelece procedimentos para avaliação dos sistemas de freios de veículos, incluindo a obrigatoriedade do uso do sistema antitravamento das rodas (ABS) e/ou frenagem combinada das rodas (CBS), o que pode implicar na adoção de sistemas eletrônicos de frenagem em veículos pesados.

EBD: Complementa o ABS, distribuindo eletronicamente a força de frenagem entre os eixos dianteiro e traseiro, conforme a carga e a situação de rodagem.

Legislação: Não há norma específica; geralmente integrado ao ABS conforme a Resolução nº 311/2009.

O sistema de Controle Eletrônico de Estabilidade (ESC - Electronic Stability Control) é uma tecnologia que visa aumentar a estabilidade do veículo durante manobras evasivas ou em curvas acentuadas. Ele atua automaticamente, reduzindo a potência do motor e aplicando frenagem seletiva em uma ou mais rodas para corrigir a trajetória do veículo e evitar derrapagens e capotamentos.

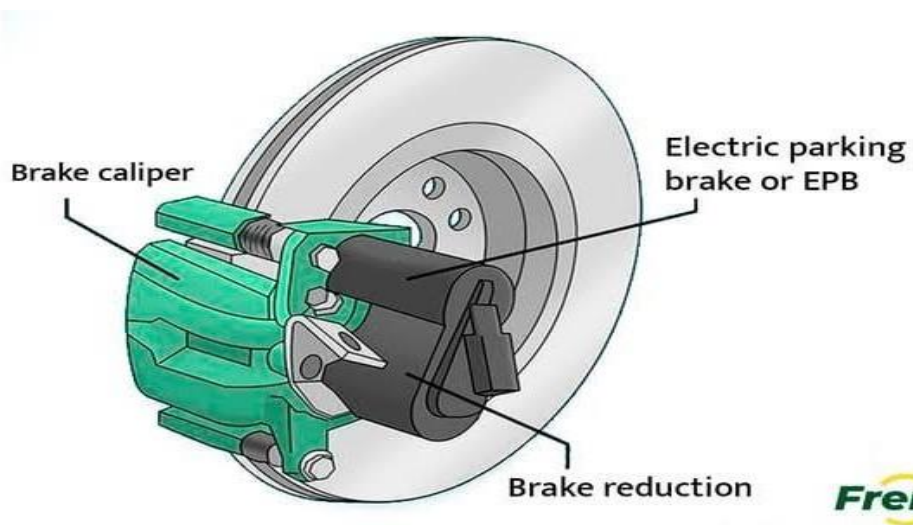
Esse sistema é especialmente útil em condições de pista escorregadia ou em situações em que o motorista perde o controle da direção. O ESC utiliza sensores que monitoram a direção desejada (através do volante) e comparam com o movimento real do veículo. Caso haja discrepância, o sistema entra em ação para corrigir a trajetória.

Legislação Aplicável: A Resolução CONTRAN nº 954/2022 estabelece a obrigatoriedade do uso de sistemas de controle de estabilidade (ESC) em veículos novos no Brasil a partir de janeiro de 2025.

O Electronic Parking Brake (EPB) substitui a alavanca tradicional do freio de mão por um botão. O sistema utiliza motores elétricos nas rodas traseiras para aplicar e manter a frenagem. Também pode integrar-se ao sistema de assistência em rampas, facilitando arrancadas em subidas. O EPB é considerado um item de segurança e conforto em veículos modernos.

Legislação Aplicável: Atualmente, não há uma legislação específica no Brasil que torne o EPB obrigatório. Sua adoção é determinada pelas montadoras, visando oferecer maior conforto e segurança aos usuários. Na Figura 2, apresenta-se os componentes do sistema EPB.

Figura 2 - Componentes do sistema EPB.



Fonte: Autoveteran Tech.

O sistema Brake-by-Wire elimina conexões mecânicas tradicionais entre o pedal do freio e os mecanismos de frenagem, substituindo-as por sinais eletrônicos. Nesse sistema, um sensor de posição detecta a pressão aplicada pelo motorista no pedal e envia sinais à ECU (Unidade de Controle Eletrônico), que por sua vez comanda atuadores elétricos ou motores nos freios para executar a frenagem.

Essa tecnologia permite uma frenagem mais rápida, precisa e adaptável, além de eliminar a necessidade de fluido de freio, reduzir o peso do veículo e permitir maior flexibilidade no design automotivo. É especialmente vantajosa em veículos elétricos e autônomos, onde a integração com outros sistemas eletrônicos é fundamental (Zhou *et al.*, 2023).

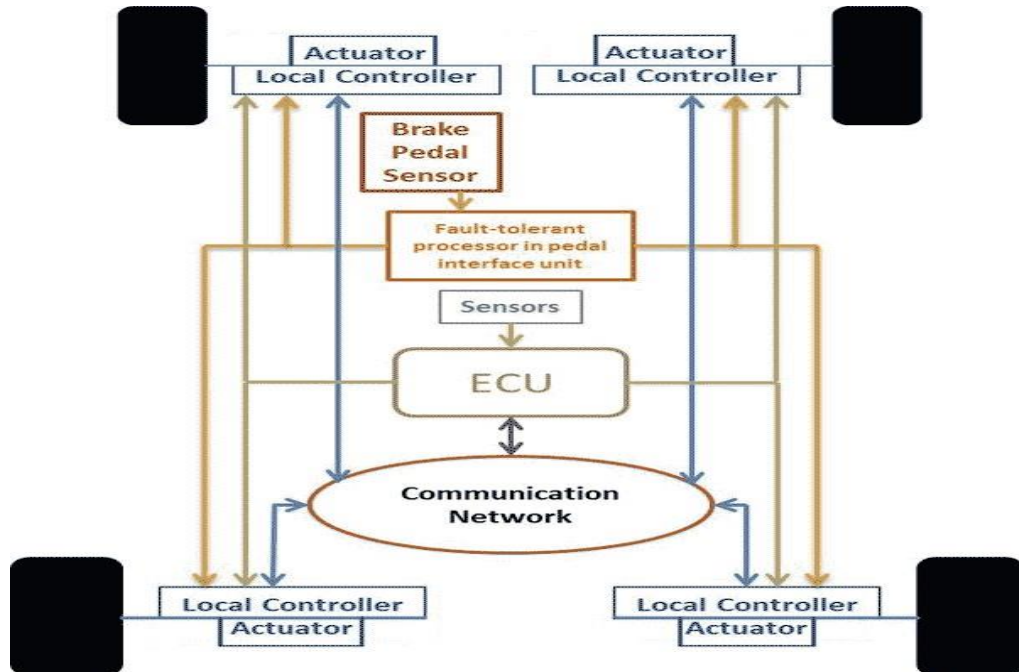
O sistema também permite a implementação de funções como frenagem regenerativa, sistemas de assistência ao condutor e frenagem automática de emergência, integrando-se perfeitamente com tecnologias como o ESC e o ABS.

Exemplo de aplicação: O Audi e-tron e o Mercedes-Benz EQS utilizam sistemas Brake-by-Wire para melhorar o tempo de resposta e integrar recursos de assistência à condução.

Atualmente, não há, no Brasil, uma legislação específica que exija a implementação do sistema Brake-by-Wire em veículos. Sua adoção está relacionada à evolução tecnológica e às estratégias das montadoras para veículos elétricos e

autônomos. Na Figura 3, apresenta-se o esquema de funcionamento do sistema Brake-by-Wire.

Figura 3 - Esquema de funcionamento do sistema Brake-by-Wire.



Fonte: Clemson University - CVEL.

2.1.2 Acelerador Eletrônico Veicular: Funcionamento, Aplicações Assistivas e Aspectos Regulatórios

O acelerador eletrônico, também conhecido como "drive-by-wire", é um sistema de controle de aceleração que substitui o tradicional cabo mecânico por sinais eletrônicos. Nesse sistema, ao pressionar o pedal do acelerador, um sensor de posição detecta a intensidade do movimento e envia um sinal elétrico para a central eletrônica do motor (ECU – Electronic Control Unit), que, por sua vez, ajusta a abertura da borboleta do acelerador, controlando a quantidade de ar admitido e, conseqüentemente, a aceleração do veículo.

Funcionamento básico:

- O pedal do acelerador contém um sensor de posição (TPS) que detecta o movimento do pé do motorista.

- O sinal é enviado à ECU, que processa os dados junto a outras informações, como temperatura do motor, rotação e carga.
- A ECU comanda um atuador eletrônico que regula a borboleta de admissão de ar.
- Esse processo ocorre em frações de segundo, garantindo respostas rápidas e precisas.

Vantagens do Acelerador Eletrônico:

- Precisão no controle da aceleração, melhorando o desempenho e a eficiência do motor.
- Redução de emissões poluentes, pois permite uma gestão mais eficiente da combustão.
- Integração com outros sistemas eletrônicos, como controle de tração (TCS), controle de estabilidade (ESC) e piloto automático (cruise control).
- Menor desgaste mecânico, já que não há cabos sujeitos a estiramento ou quebra.

Importância para Veículos Adaptados:

No contexto de tecnologias assistivas para PcD, o acelerador eletrônico é um componente essencial, pois permite a substituição do pedal físico por controles manuais, botões, alavancas ou até comandos de joystick. Isso garante:

- Maior liberdade de customização dos comandos de direção para diferentes tipos de deficiência.
- Segurança e conforto, por eliminar a necessidade de esforço físico contínuo.
- Compatibilidade com controles remotos e automações, facilitando a adaptação para motoristas com tetraplegia, amputações ou limitações severas de movimento.

2.1.3 Tendências Futuras

Com o avanço da direção autônoma e da inteligência artificial, o acelerador eletrônico deve ser integrado a sistemas de condução automatizada, onde o carro avalia em tempo real as condições do tráfego, ajustando automaticamente a aceleração. Para veículos adaptados, isso significa ainda mais segurança e independência para seus usuários.

2.1.4 Acelerador Eletrônico Adaptado para PcD

O sistema de aceleração eletrônica substitui o tradicional cabo mecânico por sensores eletrônicos que captam o movimento do pedal e enviam sinais para a central eletrônica do veículo. Essa central interpreta os sinais e ajusta a abertura da borboleta de aceleração, controlando a potência do motor. Esse mecanismo é conhecido como ETC (Electronic Throttle Control) ou EPC (Electronic Power Control).

2.1.5 Tipos de Adaptação para Condutores PcD

- Acelerador manual: permite que o motorista controle a aceleração com as mãos, utilizando alavancas ou botões instalados próximos ao volante.
- Acelerador de anel: um anel instalado no volante que responde à pressão das mãos, facilitando o controle da velocidade.
- Acelerador de joystick: oferece controle total do veículo por meio de um joystick, ideal para pessoas com mobilidade reduzida.

2.1.6 Benefícios da Aceleração Eletrônica Adaptada

- Maior acessibilidade
- Personalização conforme as necessidades individuais
- Integração com outros sistemas, como freios manuais
- Manutenção da garantia do veículo, se instalado por empresas especializadas

2.1.7 Normas Técnicas Relacionadas

- ABNT NBR 14970-1 - Requisitos para acessibilidade na condução de veículos por pessoas com mobilidade reduzida.
- ABNT NBR 9050 - Diretrizes gerais de acessibilidade.

2.1.8 Legislação Aplicável

- Resolução CONTRAN nº 227/2007 - Normas para adaptações veiculares.
- Tabela de Restrições Médicas da CNH – Determina adaptações conforme o tipo de limitação do condutor.
- Lei Complementar nº 214/2025 - Regras atuais de isenção fiscal para veículos adaptados.

2.1.9 Permissão Legal e Normativa para Adaptação

A legislação brasileira permite a adaptação de veículos elétricos para PCD, desde que as modificações sejam autorizadas por órgãos competentes e realizadas conforme as normas técnicas vigentes. Esse direito está previsto na Lei Brasileira de Inclusão da PCD (Lei nº 13.146/2015), que assegura o acesso ao transporte individual e coletivo de forma autônoma e segura. O CTB (CTB), em seu artigo 111, estabelece que qualquer alteração nas características de fábrica deve ser comunicada e aprovada pelo DETRAN, desde que siga as diretrizes do CONTRAN (CONTRAN).

Segundo dados do DENATRAN (DENATRAN), em 2023, existiam mais de 1,2 milhão de pessoas com CNH (CNH) especial no Brasil. Desse total, aproximadamente 68% apresentavam deficiência motora que exige adaptação veicular. Esses números reforçam a demanda por regulamentações mais claras e acessíveis para o segmento de veículos elétricos adaptados. (DENATRAN, 2023).

2.1.10 Limitações dos Veículos Elétricos para PCD

Apesar da permissão legal, a adaptação de veículos elétricos para PCD enfrenta uma série de limitações técnicas, que são por exemplo:

- A estrutura de muitos veículos elétricos, com baterias no piso (plataforma tipo “skateboard”), impede modificações profundas como rebaixamento do assoalho ou instalação de rampas.
- Os sistemas eletrônicos de direção, frenagem regenerativa e controle de tração são sensíveis a interferências, exigindo módulos auxiliares sofisticados e homologados.
- O espaço interno em modelos compactos é reduzido, o que limita a instalação de bancos giratórios, comandos manuais ou a entrada de cadeira de rodas.

Ou ainda, Legais e Tributárias:

- Nem todos os veículos elétricos disponíveis no Brasil se enquadram nas exigências da Lei nº 8.989/1995 para isenção fiscal.
- A falta de regulamentação específica para a adaptação de veículos 100% elétricos ainda gera insegurança jurídica para fabricantes, oficinas e consumidores.

Ou ainda, Estruturais:

- A infraestrutura de recarga pública raramente é acessível: a maioria dos pontos de recarga não possui vagas adaptadas, rampas ou altura apropriada para o manuseio dos cabos por cadeirantes.
- O tempo elevado de recarga também pode ser um problema para pessoas que dependem de terceiros para locomoção ou suporte físico.

Ou ainda, Econômicas e Industriais:

- Existem poucas oficinas certificadas com expertise em alta tensão e comunicação eletrônica veicular, o que restringe a oferta de serviços seguros de adaptação.

- O custo de adaptação de um veículo elétrico pode variar entre R\$ 5 mil e R\$ 25 mil, além do preço mais alto do próprio carro.

Segundo a ABNT NBR 9050:2020, a infraestrutura urbana deve garantir condições de uso por pessoas com mobilidade reduzida, o que inclui altura dos equipamentos, vagas reservadas e acessibilidade ao entorno das estações de recarga. Segundo a Associação Brasileira do VE (ABVE), o Brasil fechou 2024 com cerca de 210 mil veículos elétricos em circulação. Porém, apenas uma fração mínima desses veículos foi adaptada para PCD, devido às limitações estruturais e à baixa oferta de oficinas especializadas.

Atualmente, estima-se que existam menos de 100 oficinas no Brasil com capacitação técnica e certificação INMETRO para realizar adaptações em veículos elétricos. O custo médio de adaptação para VEs varia entre R\$ 10 mil e R\$ 30 mil, dependendo do modelo e da complexidade eletrônica envolvida. No que diz respeito à infraestrutura, levantamento da ABVE em 2024 aponta que apenas 12% dos pontos de recarga pública possuem vaga acessível sinalizada e rampa de acesso conforme a ABNT NBR 9050 (ABVE, 2024; INMETRO, 2021; ABVE, 2024).

2.1.11 Exemplos Práticos de Adaptação para PCD em Veículos Elétricos

Mesmo com as dificuldades, alguns modelos elétricos já foram adaptados com sucesso para atender motoristas com deficiência:

BYD Dolphin Mini (2024):

- Com isenção fiscal total, é o primeiro modelo elétrico abaixo de R\$ 100 mil voltado diretamente ao público PCD no Brasil.
- Suporta comandos manuais de aceleração/freio, pomo giratório, banco giratório e sistemas de ancoragem para cadeira de rodas.
- Empresas como Hand Drive Brasil e Cavenaghi realizam a adaptação com manutenção da garantia de fábrica.

Na Figura 4, apresenta-se o carro BYD Dolphin Mini adaptado para pessoas com deficiência.

Figura 4 - BYD Dolphin Mini adaptado para pessoas com deficiência.



Fonte: CNN Brasil (2024).

Chevrolet Bolt EV:

- Adaptado com comandos manuais do lado esquerdo, pedaleira invertida e volante com pomo giratório.
- A adaptação respeitou o sistema de regeneração de frenagem do carro, exigindo integração com a ECU via barramento CAN.

Na Figura 5, apresenta-se o carro Chevrolet Bolt EV com comandos adaptados para PCD.

Figura 5 - Chevrolet Bolt EV com comandos adaptados para PCD.



Fonte: Edmunds (2023). *Chevrolet Bolt EV 2023 – Pictures.*

BMW i3 (importado):

- Recebeu assento giratório instalado sobre estrutura de fibra de carbono, alongadores de pedal e controles manuais.
- Devido à sensibilidade do sistema, utilizou componentes com homologação europeia específicos para veículos elétricos.

Na Figura 6, apresenta-se o carro BMW i3 com assento giratório e controles adaptados.

Figura 6 – BMW i3 com assento giratório e controles adaptados.



Fonte: Edmunds (2021). *BMW i3 2021 – Pictures.*

Nissan Leaf:

- Em projeto piloto, foi adaptado com joystick eletrônico por um condutor com amputação bilateral, conectado diretamente aos sistemas de aceleração e frenagem.

Na Figura 7, apresenta-se o carro Nissan Leaf adaptado com joystick eletrônico.

Figura 7 - Nissan Leaf adaptado com joystick eletrônico.



Fonte: Autoentusiastas (2020). *Nissan Leaf: um elétrico no uso.*

A modificação foi aprovada por laudo técnico do INMETRO e passou por testes de viabilidade em circuito fechado.

Em termos técnicos, o BYD Dolphin Mini possui altura interna de 1.27m e assoalho plano, o que facilita a instalação de bancos giratórios e comandos manuais. Já o Chevrolet Bolt EV conta com 470 litros de volume útil interno, mas apresenta túnel central elevado e limitações de espaço para cadeiras de rodas. Ambos utilizam arquitetura elétrica de 400V, exigindo módulos de adaptação compatíveis com sistemas eletrônicos de frenagem regenerativa e direção assistida. (BYD, 2024). (GM, 2023). A seguir, a Tabela 1 traz exemplos de veículos elétricos adaptados para PcD.

Tabela 1 - Exemplos de veículos elétricos adaptados para PcD.

Modelo	Preço Zero Km (Estimado)	Valor Estimado da Adaptação	Custo Total Estimado (Base + Adaptação)
BYD Dolphin Mini (2024)	R\$ 99.990,00 (PCD)	R\$ 10.000 a R\$ 1.000	R\$ 100.990,00 a R\$ 100.990,00
Chevrolet Bolt EV	R\$ 261.072,00	R\$ 15.000 a R\$ 20.000	R\$ 276.072,00 a R\$ 281.072,00
BMW I3 (importado)	R\$ 340.950,00	R\$ 25.000 a R\$ 30.000	R\$ 365.950,00 a R\$ 370.950,00
Nissan Leaf (projeto piloto)	R\$ 272.497,00	R\$ 20.000 a R\$ 25.000	R\$ 292.497,00 a R\$ 297.497,00

Fonte: Elaborado pelos autores com base em informações dos fabricantes e documentos oficiais.

2.1.12 Tendências Tecnológicas para o Futuro

O mercado brasileiro de mobilidade para pessoas com deficiência (PcD) está passando por transformações significativas, impulsionadas por avanços tecnológicos que visam promover maior autonomia e inclusão. As inovações emergentes abrangem desde veículos adaptados até melhorias na infraestrutura urbana, oferecendo novas possibilidades para a acessibilidade no transporte.

2.1.13 Avanços em Adaptações Veiculares

Empresas especializadas têm desenvolvido soluções modernas para adaptar veículos às necessidades específicas de PcD. Entre as tecnologias mais comuns, destacam-se:

- Controles manuais personalizados: Permitem que motoristas com mobilidade reduzida nos membros inferiores operem aceleração e frenagem com as mãos.
- Volantes adaptados: Com empunhaduras específicas e botões adicionais, facilitam o manuseio para pessoas com limitações nos membros superiores.

- Rampas e elevadores automáticos: Facilitam o embarque e desembarque de cadeirantes, promovendo maior independência.

Essas adaptações visam proporcionar segurança e conforto, permitindo que PcD conduzam veículos com maior autonomia.

2.1.14 Tecnologias de Assistência à Condução

Além de adaptações específicas para PcD, alguns modelos de veículos comercializados no Brasil já incorporam tecnologias avançadas de assistência à condução que podem beneficiar diretamente motoristas com deficiência, como frenagem automática, alerta de ponto cego e controle de estabilidade. Essas funcionalidades aumentam a segurança e tornam a condução mais confortável, principalmente para quem possui limitações físicas.

Embora nem todos os modelos estejam automaticamente liberados para compra com isenção fiscal, é possível adquiri-los com os benefícios da legislação vigente, desde que o condutor comprove, por meio de laudo médico, a necessidade de adaptações e se enquadre nos critérios da Lei nº 8.989/1995, da Resolução Confaz nº 304/2008 e da Lei Complementar nº 214/2025.

A seguir, na Tabela 2, apresentam-se exemplos de veículos com tecnologias assistivas compatíveis com o público PcD:

Tabela 2 – Modelos compatíveis com PcD e suas tecnologias de assistência à condução

Modelo	Tecnologias Presentes
Nissan Kicks Active CVT	Alerta de colisão frontal, controle de tração e estabilidade
Chevrolet Tracker 1.0 Turbo	Alerta de ponto cego, frenagem automática, assistente de faixa (versões LTZ/Premier)
Volkswagen Virtus 170 TSI	Controle de estabilidade, assistente de partida em rampa
Toyota Yaris Sedan XL Live	Direção elétrica, controle de estabilidade, (frenagem automática nas versões topo)
Fiat Cronos Drive 1.3 AT	Câmbio automático, direção elétrica, assistente de partida em rampa

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em informações das montadoras (Nissan, Chevrolet, Volkswagen, Toyota e Fiat) e dados disponíveis em: gazetadopovo, fox isenções, guia de rodas.

A seguir, a Tabela 3 traz tecnologias de assistência à condução e suas funções.

Tabela 3 – Tecnologias de Assistência à Condução e Suas Funções.

Tecnologia	Função/Descrição
Alerta de colisão frontal	Detecta obstáculos à frente e emite alerta sonoro e visual para evitar colisões.
Frenagem automática de emergência	Aciona os freios automaticamente se o condutor não reagir a tempo.
Alerta de ponto cego	Indica presença de veículos em áreas não visíveis pelo retrovisor.
Assistente de permanência em faixa	Alerta o condutor quando o veículo sai da faixa sem usar a seta.
Assistente de partida em rampa	Impede que o carro recue em aclives, segurando-o por alguns segundos.
Controle eletrônico de estabilidade	Corrige a trajetória do veículo para evitar derrapagens em curvas ou desvios.
Direção elétrica	Reduz o esforço ao girar o volante, facilitando a direção para pessoas com limitações.
Câmbio automático CVT ou AT	Elimina a troca manual de marchas, proporcionando condução mais suave e acessível.

Fonte: Elaborado pelos autores, com base em informações das montadoras.

2.1.15 Aplicativos de Mobilidade Acessíveis

Aplicativos de mobilidade urbana têm evoluído para incluir funcionalidades voltadas à acessibilidade. Plataformas como o Moovit e o Google Maps oferecem informações em tempo real sobre Elevadores e rampas, indicando rotas acessíveis para cadeirantes e veículos adaptados, informando quais ônibus ou estações possuem infraestrutura adequada.

Essas ferramentas auxiliam PcD no planejamento de deslocamentos mais seguros e eficientes.

2.1.16 Infraestrutura Urbana Inclusiva

Cidades brasileiras têm investido em melhorias na infraestrutura urbana para promover a inclusão de PcD. Iniciativas incluem:

- Paradas de ônibus acessíveis: Com rampas e sinalização tátil.
- Semáforos com alertas sonoros: Auxiliando pessoas com deficiência visual na travessia de ruas.
- Sistemas de pagamento integrados: Facilitando o acesso ao transporte público sem a necessidade de contato físico.

Essas ações visam criar um ambiente urbano mais inclusivo e acessível para todos.

2.1.17 Veículos Autônomos: Perspectivas Futuras

Embora ainda em fase de desenvolvimento e regulamentação no Brasil, os veículos autônomos representam uma promessa significativa para a mobilidade de PcD. A capacidade de um carro se locomover sem intervenção humana pode beneficiar especialmente aqueles com limitações físicas severas. Além disso, a inteligência artificial integrada nesses veículos pode adaptar rotas e comportamentos de condução conforme as necessidades específicas do usuário. Países como os Estados Unidos, Alemanha e Japão são exemplos de sucesso nesse campo, com programas de testes avançados, corredores dedicados e regulamentações específicas que viabilizam o uso seguro de veículos autônomos em vias públicas. Por exemplo, estados norte-americanos como Califórnia e Nevada já permitem testes e

operação comercial desses veículos, enquanto a Alemanha possui legislação que autoriza o uso de veículos autônomos de nível 4 em determinadas situações.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta, de forma detalhada, os procedimentos adotados para o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso. A metodologia foi estruturada considerando os objetivos da pesquisa, a natureza do problema investigado e as etapas necessárias para conceber, implementar e avaliar um sistema eletrônico de freio e acelerador integrado ao volante para condutores com deficiência nos membros inferiores. O percurso metodológico baseou-se em autores de referência em pesquisa científica (Gil, 2017; Gerhardt; Silveira, 2009; Yin, 2015).

3.1 Tipo de pesquisa

Esta pesquisa caracteriza-se como aplicada, pois visa ao desenvolvimento de uma solução tecnológica com finalidade prática, voltada à adaptação de comandos veiculares acessíveis para pessoas com deficiência, utilizando microcontroladores. A pesquisa aplicada busca gerar conhecimentos destinados à solução de problemas específicos do mundo real, contribuindo para inovações tecnológicas (Gil, 2017).

3.2 Abordagem metodológica

A abordagem metodológica adotada foi qualitativa de natureza técnica, uma vez que o estudo concentrou-se na análise do funcionamento, integração e desempenho dos componentes eletrônicos no sistema final. Foram avaliados aspectos como usabilidade, confiabilidade, precisão e segurança operacional do protótipo, com foco na compreensão do comportamento do sistema e não na análise estatística de dados (Gerhardt; Silveira, 2009).

3.3 Procedimento técnico

O procedimento técnico consistiu no desenvolvimento e teste de um protótipo experimental, envolvendo as etapas de projeto, montagem, programação e validação funcional de um sistema de freio e acelerador eletrônico acoplado ao volante. Esse procedimento é característico de pesquisas experimentais e de desenvolvimento tecnológico, permitindo a verificação prática da viabilidade da solução proposta em ambiente controlado (Yin, 2015).

Etapas realizadas:

- Revisão técnica e normativa (CONTRAN, ABNT, INMETRO);
- Seleção dos componentes do sistema eletrônico;
- Montagem do circuito e prototipagem;
- Desenvolvimento do *software* embarcado em C para o RP2040;
- Testes práticos e ajustes de funcionamento;
- Documentação completa do processo.

3.4 Justificativa do método

O estudo de caso permite analisar em uma situação real de uso, considerando a aplicação do protótipo em um veículo adaptado para pessoas com deficiência física (PcDs). Dessa forma, é possível testar o comportamento do sistema eletrônico de freio e acelerador integrado ao volante em condições próximas às encontradas na condução cotidiana, avaliar seu desempenho e realizar ajustes no protótipo. Essa abordagem garante coerência entre o problema investigado, a solução desenvolvida e o objetivo central do TCC: demonstrar a viabilidade de um sistema eletrônico de freio e acelerador integrado ao volante para PcDs (Yin, 2015).

4 ANÁLISE DO MERCADO ATUAL DE VEÍCULOS ADAPTADOS

A análise do mercado atual de veículos adaptados para PcD envolve uma compreensão abrangente da legislação vigente, dos benefícios fiscais, dos procedimentos técnicos exigidos e do impacto econômico e social gerado por esse segmento. Além disso, a comparação com práticas internacionais fornece subsídios relevantes para a avaliação de políticas públicas e desenvolvimento tecnológico no Brasil.

4.1 Legislação e Benefícios Fiscais

A aquisição de veículos por pessoas PcD no Brasil é amparada por um conjunto de leis e normas que visam promover a acessibilidade por meio de isenções fiscais. Os principais tributos contemplados são o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) e o Imposto sobre Operações Financeiras (IOF).

A Lei Federal nº 8.989/1995 assegura a isenção de IPI para pessoas com deficiência física, visual, mental severa ou profunda, além de pessoas com transtorno do espectro autista, inclusive menores de idade. Em complemento, a Resolução nº 304/2008 do Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz) estabelece os critérios para isenção de ICMS, condicionando a concessão à comprovação da deficiência e à aquisição de veículos dentro de um limite de valor determinado.

Com o passar dos anos, novas regulamentações foram incorporadas. A mais recente, a Lei Complementar nº 214/2025, impôs restrições adicionais à isenção do ICMS, limitando o benefício apenas à aquisição de veículos que exijam adaptações efetivas. Com isso, veículos automáticos sem alterações estruturais deixaram de ser contemplados, impactando uma parcela expressiva do público PcD. Estimativas indicam que essa mudança pode afetar mais de 95% dos beneficiários anteriormente atendidos pelas regras anteriores.

Além das leis tributárias, a aquisição e a adaptação de veículos estão sujeitas a normas técnicas e de segurança. O Artigo 98 do Código de Trânsito Brasileiro (Lei nº 9.503/1997) determina que qualquer modificação no veículo deve ser previamente autorizada pela autoridade de trânsito. A Resolução CONTRAN nº 919/2022 consolida

as diretrizes sobre modificações veiculares, exigindo a emissão do Certificado de Segurança Veicular (CSV). Complementarmente, a Portaria INMETRO nº 55/2021 define os requisitos técnicos e os procedimentos de inspeção obrigatórios para garantir a conformidade e a segurança das alterações realizadas. A Tabela 4 traz as leis, resoluções e normas técnicas aplicáveis à adaptação de veículos para PcD no Brasil.

Tabela 4 - Leis, resoluções e normas técnicas aplicáveis à adaptação de veículos para PcD no Brasil.

Norma / Lei	Descrição / Aplicação
Lei nº 8.880/1995	Concede isenção de IPI para PcD e autistas, inclusive menores de idade.
Lei Complementar nº 214/2005	Restringe a isenção de ICMS a veículos com adaptações estruturais.
Resolução Confaz nº 304/2008	Estabelece regras para concessão da isenção de ICMS.
Código de Trânsito Brasileiro (Art. G8)	Exige autorização prévia para qualquer modificação em veículo.
Resolução CONTRAN nº 425/2012	Define exigências para obtenção de CNH especial e adaptação veicular.
Resolução CONTRAN nº 716/2017	Estabelece diretrizes específicas para adaptação de veículos por PcD.
Resolução CONTRAN nº G1G/2022	Consolida as regras para modificação veicular, incluindo exigência de CSV.
Portaria INMETRO nº 55/2021	Define os requisitos técnicos e procedimentos para avaliação da segurança veicular.
NBR 14533 (ABNT)	Especifica os requisitos técnicos de desempenho de frenagem para veículos.
NBR 15703 (ABNT)	Requisitos gerais de veículos automotores adaptados para pessoas com mobilidade reduzida.
CSV (Certificado de Segurança Veicular)	Documento obrigatório após modificações, emitido por ITL autorizada.

Fonte: Elaborado pelos autores com base em informações da legislação brasileira vigente, CONTRAN (2022), INMETRO (2021), ABNT e Confaz (2008).

4.2 Tempo médio e etapas do processo de isenção fiscal

Apesar das legislações vigentes assegurarem benefícios importantes às pessoas com deficiência (PcD) na aquisição de veículos, o processo para obtenção das isenções fiscais ainda é burocrático e pode ser demorado. Em média, o tempo total para que uma pessoa conclua todas as etapas varia de 30 a 90 dias, podendo se estender em casos com pendências documentais ou processos manuais.

O processo começa com a emissão do laudo médico, que comprova a deficiência e a necessidade de adaptação veicular. Em seguida, quando necessário, o condutor deve obter ou renovar a Carteira Nacional de Habilitação (CNH) especial, o que envolve exames específicos e, em alguns casos, aulas e prova prática.

Após essa etapa, inicia-se a solicitação das isenções:

- IPI e IOF, por meio do sistema da Receita Federal (Sisen), com análise geralmente entre 7 a 20 dias úteis;
- ICMS e IPVA, concedidos pelas Secretarias Estaduais da Fazenda, que podem levar de 15 a 30 dias úteis dependendo do estado.

Com as isenções aprovadas, o comprador pode finalizar a aquisição do veículo, que é faturado com os descontos aplicados pela concessionária.

Embora algumas etapas possam ser feitas digitalmente, a falta de padronização nacional e a necessidade de análises presenciais em alguns estados contribuem para atrasos e dificultam o acesso ágil ao benefício. A simplificação do processo, com uso mais amplo de sistemas digitais integrados, é uma das melhorias apontadas por especialistas para garantir mais eficiência e inclusão no processo de compra de veículos adaptados.

4.3 Normas Técnicas e Procedimentos

A adaptação de veículos deve seguir diretrizes técnicas específicas. A Resolução CONTRAN nº 227/2007 estabelece as exigências para a instalação de equipamentos adaptados. Além disso, a norma ABNT NBR 16505 padroniza os requisitos de adaptação para veículos de uso por pessoas com deficiência (HANDDRIVE, 2023).

Conforme Balconistasa (2024), as adaptações mais comuns incluem comandos manuais, inversores de pedal e rampas de acesso. O processo para aquisição de veículos com isenção fiscal envolve etapas burocráticas, como a obtenção de laudo médico, emissão de Carteira Nacional de Habilitação (CNH) especial e a formalização dos pedidos de isenção junto aos órgãos federais e estaduais competentes. Esses procedimentos, segundo o Banco Mercantil (2024), têm evoluído, mas ainda representam um entrave para muitos consumidores.

4.4 Estatísticas e Impacto Econômico

A relevância do mercado de veículos adaptados se reflete nos dados de crescimento. Entre 2013 e 2018, as vendas de automóveis com isenção para PcD aumentaram 340%, passando de 62 mil para 210 mil unidades. Em 2018, estima-se que cerca de 12% dos veículos emplacados no Brasil foram destinados a pessoas com deficiência (CONJUR, 2019).

Esse crescimento indica não apenas um aumento da demanda por mobilidade inclusiva, mas também um fortalecimento da consciência social e política em torno da acessibilidade. Contudo, as recentes alterações legislativas podem gerar um retrocesso nesse cenário, com a exclusão de grande parte dos beneficiários anteriores.

A seguir, apresenta-se um resumo das principais leis, resoluções e normas técnicas que regulamentam a adaptação de veículos para pessoas com deficiência (PcD) no Brasil. A tabela destaca a aplicação de cada norma e sua importância no processo de legalização, segurança e acessibilidade veicular.

4.5 Panorama Internacional

A acessibilidade veicular para pessoas com deficiência também tem sido pauta em diversos países, que buscam implementar políticas públicas, incentivos e tecnologias que ampliem a mobilidade e a inclusão social. Conhecer essas práticas é essencial para comparar o cenário brasileiro e identificar oportunidades de melhoria.

Nos Estados Unidos, a legislação voltada à acessibilidade veicular é regida pela Americans with Disabilities Act (ADA, 1990). Essa legislação obriga que veículos de transporte público e privado garantam condições mínimas de acessibilidade. Além

disso, o governo federal e alguns estados oferecem incentivos fiscais e financiamentos para aquisição de veículos adaptados.

Na União Europeia, o Ato Europeu de Acessibilidade (EUROPEAN UNION, 2021) padroniza as exigências de acessibilidade entre os países membros. Governos nacionais oferecem subsídios e isenções fiscais para incentivar a adaptação de veículos. Além disso, há iniciativas que promovem a produção de tecnologias assistivas, como comandos de voz e direção autônoma.

O Japão é referência mundial em mobilidade inclusiva. O país investe fortemente em tecnologias de acessibilidade veicular, como sistemas de direção automatizada, rampas hidráulicas e comandos integrados ao volante. Programas governamentais oferecem subsídios substanciais para aquisição e adaptação de veículos (JAPAN MOBILITY COUNCIL, 2022).

4.6 Principais Modelos de Veículos Utilizados por PcD

O mercado brasileiro de veículos adaptados para PcD tem se expandido significativamente, impulsionado por políticas públicas que oferecem isenções fiscais, como IPI, ICMS e IPVA. Essas medidas visam facilitar o acesso à mobilidade para pessoas com deficiência, permitindo a aquisição de veículos novos com preços mais acessíveis.

A seguir, a Tabela 5 resume as principais legislações que regulam essas isenções, especificando quais impostos podem ser dispensados, quem tem direito a cada um deles e a frequência com que podem ser utilizados.

Tabela 5 - Resumo de legislações aplicáveis à adaptação veicular para PcD.

Imposto	O que é	Quem tem direito	Frequência
IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados)	Reduz o custo de fabricação e venda	PcD físico, visual, mental severa, autistas	A cada 3 anos
ICMS (Estadual)	Reduz o custo final de compra	PcD com laudo e adaptação no veículo	A cada 2 anos (varia por estado)
IPVA (Anual)	Isenta o imposto do veículo	PcD com veículo próprio adaptado	Todo ano
IOF (Financiamento)	Isenta imposto sobre operação de crédito	Apenas PcD física	1x por CPF

Fonte: Elaborado com base em informações do Gov.br e Receita Federal (2025).

4.7 Critérios de Escolha dos Modelos

Ao selecionar um veículo adaptado, às pessoas com deficiência consideram diversos fatores, incluindo:

- **Facilidade de adaptação:** Veículos que permitem instalação de controles manuais, rampas ou elevadores.
- **Conforto e ergonomia:** Espaço interno adequado para acomodar dispositivos de auxílio à mobilidade.
- **Tecnologia assistiva:** Recursos como direção elétrica, câmbio automático e sistemas de assistência ao condutor.
- **Custo-benefício:** Preço acessível, especialmente dentro dos limites estabelecidos para isenções fiscais.

4.8 Modelos Populares entre o Público PcD

Com base na popularidade entre consumidores PcD e na viabilidade de adaptação, diversos veículos se destacam no mercado brasileiro. Além disso, fatores como o custo-benefício, acessibilidade e as isenções fiscais oferecidas pelo governo influenciam diretamente a escolha do modelo.

Esses modelos aparecem com frequência nas listas de veículos adquiridos por PcD, considerando adaptação e benefícios fiscais disponíveis:

- Chevrolet Onix
- Fiat Argo
- Hyundai HB20
- Nissan Kicks
- Renault Kwid

Sobre as Isenções Fiscais, para tornar o acesso aos veículos mais viável, o governo brasileiro oferece descontos e isenções de diversos impostos.

Documentos necessários para solicitar os benefícios:

- Laudo médico emitido por profissional credenciado ao SUS.
- CNH especial (para quem for condutor).
- Comprovação de renda e residência.
- Requerimento nos órgãos competentes (Receita Federal, Detran, Secretaria da Fazenda).

A seguir, a Tabela 6 traz valores atualizados de modelos populares com e sem os descontos aplicados, referente ao ano de 2025.

Tabela 6 - Comparativo de preços dos principais veículos PcD com e sem isenções fiscais.

Modelo	Preço Público	Preço com Isenções
Fiat Cronos Drive 1.3 CVT	R\$ 102.990	R\$ 78.326
Hyundai HB20 Comfort Plus 1.0 Turbo	R\$ 109.400	R\$ 96.320
Renault Kardian Evolution	R\$ 113.790	R\$ 93.378
Nissan Kicks Active 1.6 CVT	R\$ 111.990	R\$ 86.690
Volkswagen Virtus 170 TSI	R\$ 111.910	R\$ 91.176
Chevrolet Onix Plus LT 1.0	R\$ 118.304	R\$ 92.051
Chevrolet Tracker 1.0 Turbo	R\$ 119.900	R\$ 105.860
Jeep Renegade 1.3 Turbo	R\$ 119.290	R\$ 102.900

Fonte: Adaptado de FDR (2025). Disponível em: <https://fdr.com.br/2025/02/21/lista-com-carros-pcd-2025-com-isencao-total/>.

De acordo com a Lei nº 8.989/1995, pessoas com deficiência têm direito à isenção do IPI na compra de veículos, desde que observados os critérios estabelecidos na norma. Já a Resolução 304/2008 e a mais recente Lei Complementar nº 214/2025 restringem a isenção do ICMS a veículos que necessitem de adaptação, o que impacta diretamente a escolha dos modelos por parte dos consumidores PcD.

4.9 Adaptações Comuns

As adaptações mais frequentes nos veículos para PcD incluem:

- Controles manuais: Permitem aceleração e frenagem sem o uso dos pés.
- Pomo giratório no volante: Facilita a direção para pessoas com mobilidade reduzida nos membros superiores.
- Rampas ou plataformas elevatórias: Facilitam o acesso de cadeirantes ao veículo.
- Assentos giratórios: Auxiliam na transferência do condutor ou passageiro para o banco do carro.

A escolha do veículo ideal para pessoas com deficiência depende das necessidades individuais e das possibilidades de adaptação. É fundamental consultar profissionais especializados e realizar testes para garantir que o modelo escolhido atenda às exigências de conforto, segurança e funcionalidade.

4.10 Acesso a Oficinas e Serviços de Adaptação

A adaptação de veículos para pessoas com deficiência no Brasil ainda enfrenta diversos desafios, mesmo com os avanços em termos de legislação e tecnologias assistivas. Embora o número de oficinas especializadas tenha aumentado, o processo de aquisição e modificação veicular continua burocrático e, muitas vezes, inacessível para parte da população.

A regularização das adaptações exige o cumprimento de uma série de normas técnicas. A Resolução CONTRAN nº 292/2008 (parcialmente consolidada pela Resolução nº 919/2022) determina que modificações estruturais no veículo, como instalação de comandos manuais ou alteração no sistema de freios, devem ser vistoriadas por uma Instituição Técnica Licenciada (ITL), com emissão do Certificado de Segurança Veicular (CSV). Esse processo deve ser acompanhado de um laudo técnico assinado por engenheiro habilitado e registrado no CREA.

4.11 Aquisição do veículo

Para adquirir um veículo com isenção fiscal, a pessoa com deficiência deve seguir uma série de etapas. O processo geralmente inclui a obtenção de um laudo médico detalhado, a emissão da CNH especial (quando aplicável), a autorização junto ao Detran e o pedido das isenções fiscais previstas em lei, como IPI, IOF, ICMS e IPVA. Somente após a aprovação de toda a documentação é que o veículo pode ser adquirido e encaminhado para adaptação.

4.12 Adaptação do veículo

As adaptações são realizadas de acordo com as necessidades específicas de cada condutor. Podem incluir itens como comandos manuais para aceleração e frenagem, direção com pomo giratório, plataformas elevatórias, inversão de pedais ou sistemas mais sofisticados, como direção automatizada. Esses ajustes devem ser feitos por oficinas registradas junto aos órgãos competentes, respeitando normas técnicas e de segurança estabelecidas por entidades como o INMETRO e a ABNT.2.3.3.

4.13 Oficinas especializadas

Embora haja oficinas especializadas em adaptação veicular, elas estão majoritariamente concentradas nos grandes centros urbanos, como São Paulo, Curitiba, Brasília e Belo Horizonte. Em regiões mais afastadas ou cidades pequenas, a oferta desse tipo de serviço é limitada, o que dificulta o acesso à mobilidade por parte de muitas pessoas com deficiência.

Custo:

O valor das adaptações varia conforme a complexidade da modificação. Intervenções mais simples podem custar entre R\$ 2.000 e R\$ 5.000, enquanto adaptações completas, que envolvem eletrônica embarcada ou alterações estruturais, podem ultrapassar R\$ 20.000. Esses custos raramente são cobertos por políticas públicas, o que torna o processo financeiramente inviável para muitas famílias.

4.14 Dificuldades na adaptação do sistema

Entre os principais obstáculos enfrentados por condutores PcD estão a dificuldade para obter informações claras sobre o processo, o alto custo das adaptações, a escassez de oficinas credenciadas em áreas remotas e a morosidade na liberação de isenções e documentos. Além disso, a falta de padronização entre os órgãos públicos contribui para tornar o processo ainda mais demorado e burocrático.

4.15 Desafios enfrentados pelos condutores PcD

A inclusão das pessoas com deficiência (PcD) no Brasil é regida por um arcabouço legal e político que busca garantir direitos fundamentais, como o direito ao transporte e à mobilidade. Segundo o Censo 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), aproximadamente 18,6 milhões de pessoas no Brasil possuem alguma deficiência que impacta diretamente a sua mobilidade, o que faz da acessibilidade um tema de grande relevância no país.

No entanto, apesar de a Lei Brasileira de Inclusão (LBI) (Lei nº 13.146/2015) assegurar direitos à acessibilidade e à mobilidade, a realidade ainda é marcada por desafios no cotidiano dos motoristas com deficiência. A legislação brasileira, por mais que avance em termos de direitos, ainda apresenta lacunas quando se trata de implementar a inclusão real e efetiva.

4.16 Barreiras Infraestruturais para Motoristas PcD

Motoristas com deficiência física enfrentam dificuldades em diversas áreas, principalmente relacionadas à infraestrutura urbana, que muitas vezes não é adaptada ou é adaptada de forma inadequada. Estudo realizado pelo Instituto Locomotiva (2024) revelou que 65% dos motoristas com deficiência enfrentam dificuldades em estacionamentos, com a falta de vagas exclusivas ou a utilização indevida dessas vagas por veículos não autorizados.

Além disso, o acesso a rampas e calçadas adaptadas é outro obstáculo significativo. Pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Mobilidade e Acessibilidade (ABRAMA) (2023) indicou que apenas 48% das cidades brasileiras possuem calçadas acessíveis de acordo com os padrões estabelecidos pelo Código de Trânsito Brasileiro (CTB) e a Lei de Acessibilidade (Lei nº 10.098/2000).

Outro desafio que os motoristas com deficiência enfrentam no Brasil são as barreiras atitudinais, ou seja, a falta de empatia e conscientização da sociedade. O estudo mencionado do Instituto Locomotiva (2024) também revelou que 72% dos motoristas com deficiência já enfrentaram desrespeito no trânsito, desde o uso indevido de vagas especiais até a falta de compreensão sobre a necessidade de adaptações específicas no veículo.

Uma pesquisa feita pelo Observatório de Acessibilidade e Mobilidade (OAM) (2023) mostrou que, mesmo com a presença de vagas de estacionamento, 64% dos motoristas PcD relataram ter dificuldades em encontrá-las vagas livres, e 56% mencionaram já ter sido alvo de atitudes discriminatórias por parte de outros motoristas, que questionam a legitimidade de sua deficiência.

A adaptação de veículos para motoristas com deficiência física no Brasil envolve um processo burocrático que pode ser longo e complexo. Para garantir a isenção de impostos como o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) e o Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), os motoristas devem comprovar a deficiência e passar por uma série de procedimentos, incluindo o laudo médico, a Carteira Nacional de Habilitação (CNH) especial e a aprovação da adaptação veicular junto ao Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN).

De acordo com o Banco Mercantil (2024), o processo burocrático para isenção de impostos e a adaptação de veículos leva, em média, 6 meses, o que pode ser desestimulante para muitos motoristas, especialmente para aqueles com deficiência física que necessitam de soluções rápidas para garantir sua mobilidade.

4.17 Dados Econômicos sobre Veículos Adaptados

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o Brasil registrou, em 2022, mais de 250 mil veículos com isenção fiscal para pessoas com deficiência. Esse aumento nas vendas reflete o crescente interesse pela aquisição de veículos adaptados, uma vez que as isenções fiscais permitem maior acessibilidade para esse público.

Contudo, a recente mudança nas leis de isenção, como a Lei Complementar nº 214/2025, que limita as isenções fiscais a veículos adaptados com modificações estruturais, afetou significativamente esse mercado. Estima-se que cerca de 50% dos motoristas PcD que anteriormente se beneficiavam da isenção de impostos para veículos automáticos sem adaptações estruturais perderam esse direito, o que pode impactar negativamente a mobilidade e a qualidade de vida dessa população.

4.18 Caminhos para Inclusão e Boas Práticas

O Brasil ainda está em processo de amadurecimento no que se refere à inclusão de motoristas PcD. No entanto, algumas boas práticas estão sendo implementadas em diversas cidades e estados. Entre elas:

Campanhas de Conscientização: Diversas cidades têm investido em campanhas para educar a população sobre a importância de respeitar as vagas reservadas e a acessibilidade.

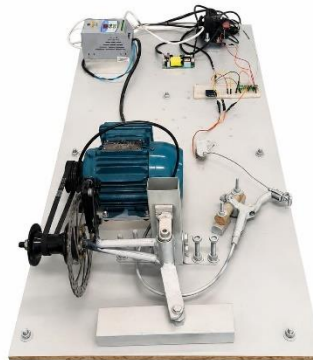
Tecnologias Assistivas: Há uma crescente adoção de tecnologias assistivas que facilitam a adaptação dos veículos, como o uso de câmeras e sensores que auxiliam motoristas com deficiência visual e auditiva.

Programas de Inclusão no Trânsito: Algumas cidades, como São Paulo e Curitiba, implementaram programas de treinamento para motoristas PcD, abordando desde a obtenção de CNH especial até a adaptação de veículos e as boas práticas no trânsito.

5 DESENVOLVIMENTO, MONTAGEM E FUNCIONAMENTO DA BANCADA DE FREIO

A bancada prática foi desenvolvida para demonstrar o funcionamento de um sistema de freio eletrônico adaptado para PCD. O sistema simula o acionamento manual do freio, como ocorre em veículos adaptados onde o motorista utiliza uma alavanca atrás do volante simulando o pedal do freio. A bancada permite observar a relação entre o acionamento manual, o processamento eletrônico e a resposta mecânica do servo motor. Na Figura 8 é apresentada uma imagem da bancada.

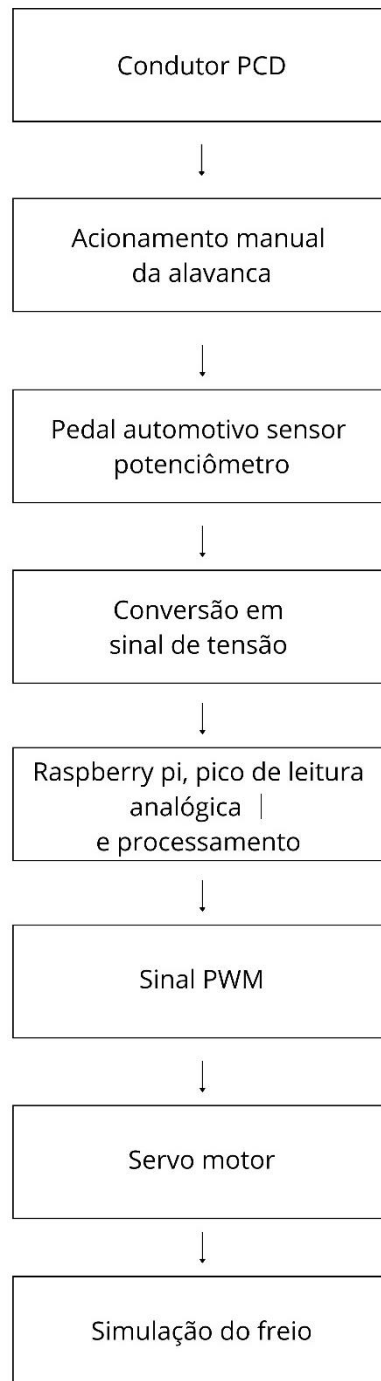
Figura 8: Foto da bancada.



Fonte: Autores.

5.1 Finalidade da Bancada

A finalidade da bancada é representar, em escala reduzida, o acionamento manual do freio por um condutor PCD. O movimento aplicado na alavanca é convertido em variação de tensão por meio de um pedal automotivo com sensor potenciométrico. Essa tensão é interpretada pela Raspberry Pi Pico, que envia um comando proporcional ao servo motor responsável por simular o efeito de frenagem. Na Figura 9, é apresentado um diagrama de blocos demonstrando a finalidade da bancada.

Figura 9: Diagrama de blocos.

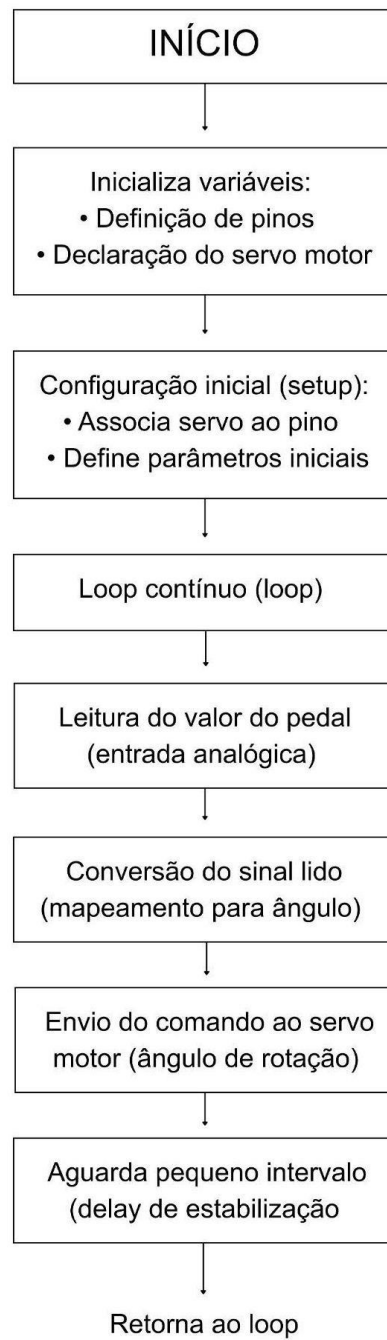
Fonte: Elaborado pelos autores.

5.2 Funcionamento do Sistema

Quando o pedal é acionado, o potenciômetro interno altera sua resistência, produzindo uma tensão proporcional à força aplicada. A Raspberry Pi Pico lê essa tensão por meio do ADC (Conversor Analógico-Digital) e converte o valor para porcentagem de frenagem. Em seguida, essa porcentagem é transformada em um ângulo entre 0° e 60° , que define a posição do servo motor. Dessa forma, o servo atua simulando o acionamento mecânico do freio.

5.3 Código Utilizado no Controle

Na Figura 10 é apresentado o fluxograma correspondente ao código empregado no controle do sistema. Já na Figura 11 é apresentado o código utilizado no fluxograma.

Figura 10: Fluxograma.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 11 - Código utilizado no fluxograma.

```

#include "pico/stdlib.h"
#define "hardware/pwm.h"
#define "hardware/adc.h"
#include stdio.h

uint16_t angle_to_pwm(float angle, uint32_t top) {
    if (angle > 60); deg
    if (angle < 60 ;

    fan_min_us = 640;
    fan_max_us = 2400;
    float min = max_us + max_us - min_us) * (dw * / 1800.0;
    float duty = us/2000.0;

    return (uint16_t)((cos x + 1 t' + duty);
}

int main() {
    stdio_intt_all();
    sleep_ms2000;

    gpio_set_function(SEERVO_PIN, GPID_EUNC_PWM);
    pwm_gpio_to_slice_num_set_wrap(pwm_(SERVO_PIN));

    float div = 64;
    uint32_t top = (uint32_t)(12500000 / (div * 50) - 1;

    gpio_set_clkdiv(360, 90C);
    pwm_set_wrap(slice, top);
    pwm_set_enabled(slice, true);

    wun_seti() == 64;
    adc_gpio_init(t(PEDAL_ADC_5);
    adc_select_input(PEDAL_ADC_CM);

    float tr3 ram = adc.read (100 - 1/3- (Tensao = 2.07 * 1 0;
    float Tensso = 60 1/4// porcentagendo = (1.6);
    float angulo_0 = 0.6 - 0.6 6f;

    pwm_set_gpio_level(SERVO_PIN, to_pwm(tensso, angulo_0);
    printf("Tensso 3: %f V | angulo: %f grau / Porcentagem):

```

Fonte: Elaborado pelos autores.

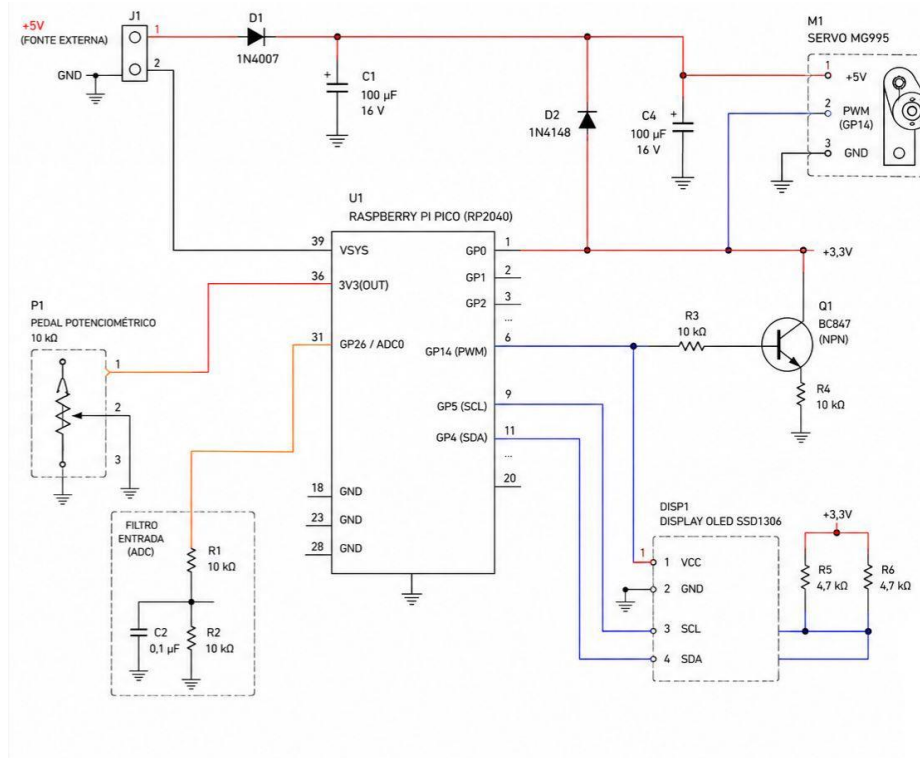
O código implementado realiza:

- Leitura analógica do pedal;
- Cálculo da tensão equivalente;
- Conversão de valores para porcentagem e ângulo;
- Escrita do comando no PWM que controla o servo motor.

5.3 Esquema Elétrico do Sistema

A Figura 12 ilustra o esquema elétrico do sistema, detalhando a interligação de seus componentes.

Figura 12 – Esquema eletrônico do sistema.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de documentação da Raspberry Pi Foundation e diretrizes técnicas de sistemas de acionamento eletrônico.

O sistema elétrico é composto pelas conexões entre:

- Pedal potenciométrico;
- Raspberry Pi Pico;
- Servo motor;
- Fonte e aterramento comum.

5.4 Aplicação no Contexto PCD

A bancada evidencia o potencial do sistema de freio acionado eletronicamente para atender motoristas PCD. A simulação demonstra como o acionamento do freio pode ser realizado com precisão, conforto e segurança, servindo como base para futuras adaptações automotivas.

O esquema elétrico demonstra a relação entre entrada (sensor), processamento (microcontrolador) e saída (servo).

6 TESTES REALIZADOS

Este capítulo tem como objetivo descrever os testes realizados no sistema desenvolvido, bem como os critérios adotados para validação de seu funcionamento. São apresentados os tipos de testes executados, os procedimentos de coleta de dados e a análise dos resultados obtidos, visando avaliar a confiabilidade e a viabilidade da solução proposta.

6.1 Procedimentos de Teste

Os testes foram realizados em ambiente controlado, com o sistema devidamente alimentado e configurado conforme o esquema elétrico apresentado anteriormente. O acionamento foi feito de forma manual, simulando as condições de uso previstas para o sistema de freio eletrônico.

Foram definidos três tipos principais de testes:

- **Teste de resposta do servo motor ao acionamento manual:** Avaliou-se o comportamento do servo motor a partir do comando manual do pedal, observando o tempo de resposta, suavidade do movimento e ausência de travamentos;
- **Teste de proporcionalidade entre o movimento do pedal e o ângulo do servo motor:** Este teste teve como objetivo verificar se o deslocamento do pedal resulta em variação proporcional do ângulo do servo, garantindo um acionamento progressivo do freios;
- **Teste de repetibilidade:** Foram realizadas múltiplas repetições do acionamento do sistema sob as mesmas condições, a fim de verificar a consistência dos resultados e a estabilidade do comportamento do servo motor.

6.2 Coleta de Dados

Durante os testes, foram observados e registrados os seguintes parâmetros:

- Resposta visual do servo motor ao comando;

- Correspondência entre o curso do pedal e o ângulo de rotação;
- Ocorrência de variações ou falhas ao longo das repetições.

A coleta de dados foi predominantemente qualitativa, baseada na observação do comportamento do sistema, considerando a etapa de desenvolvimento do protótipo.

6.3 Análise dos Resultados

Os resultados indicaram que o servo motor respondeu de forma adequada ao acionamento manual, apresentando movimentos coerentes e estáveis. Observou-se proporcionalidade entre o deslocamento do pedal e o ângulo do servo, permitindo um controle progressivo do acionamento, aspecto fundamental para aplicações automotivas.

Além disso, os testes de repetibilidade demonstraram comportamento consistente ao longo das execuções, sem variações significativas, o que evidencia a estabilidade do sistema.

Dessa forma, os testes realizados confirmam a viabilidade funcional do protótipo, indicando que o sistema atende aos requisitos básicos propostos para a aplicação pretendida.

6.4 Simulação de Testes – Sistema Eletrônico de Freio (Drive-By-Wire)

Este relatório apresenta a simulação dos testes do sistema eletrônico de acionamento de freio utilizando pedal eletrônico como entrada de sinal para a placa de controle.

Parâmetros do Sistema:

- Pedal Desacionado (0%): 2.1 V
- Pedal Acionado (100%): 0.9 V
- Tempo médio de resposta: 0.308 s
- Tempo mínimo registrado: 0.205 s
- Tempo máximo registrado: 0.397 s

A Tabela 7 apresenta os testes realizados no estudo, descrevendo de forma mais detalhada cada um deles.

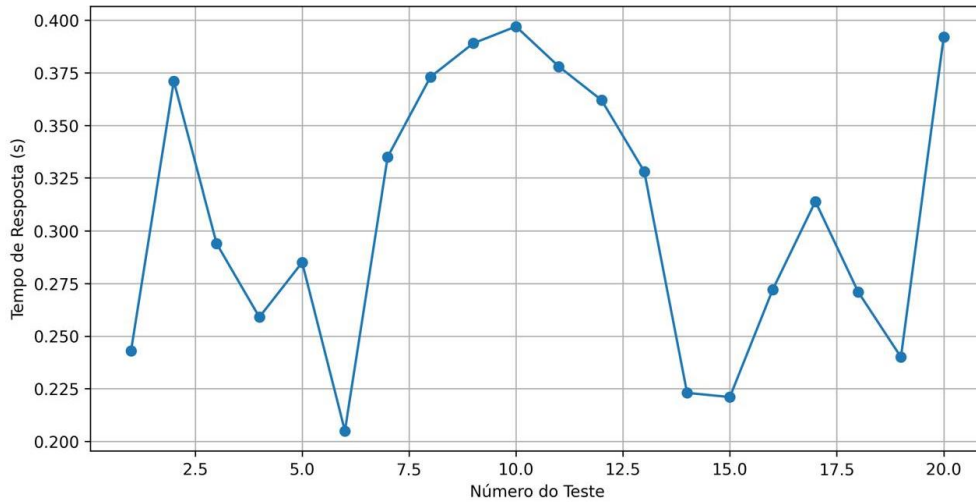
Tabela 7 - Testes realizados (20 ciclos).

Teste	Desacionado (V)	Acionado 100% (V)	Tempo Resposta (s)
1.0	2.1	0.9	0.243
2.0	2.1	0.9	0.371
3.0	2.1	0.9	0.294
4.0	2.1	0.9	0.259
5.0	2.1	0.9	0.285
6.0	2.1	0.9	0.205
7.0	2.1	0.9	0.335
8.0	2.1	0.9	0.373
9.0	2.1	0.9	0.389
10.0	2.1	0.9	0.397
11.0	2.1	0.9	0.378
12.0	2.1	0.9	0.362
13.0	2.1	0.9	0.328
14.0	2.1	0.9	0.223
15.0	2.1	0.9	0.221
16.0	2.1	0.9	0.272
17.0	2.1	0.9	0.314
18.0	2.1	0.9	0.271
19.0	2.1	0.9	0.24
20.0	2.1	0.9	0.392

Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

O Gráfico 1 apresenta os tempos de resposta obtidos durante os 20 ciclos de acionamento do sistema de freio eletrônico, permitindo analisar a estabilidade e a repetibilidade do protótipo desenvolvido.

Gráfico 1 - Tempo de resposta do sistema.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

6.5 Conclusão técnica

O sistema demonstrou comportamento estável durante os testes simulados. Com o pedal desacionado, o sinal permaneceu em 2,1 V. Com o pedal totalmente acionado, o sinal reduziu para 0,9 V, confirmando coerência na leitura do sensor. O tempo médio de resposta ficou dentro da faixa observada experimentalmente (0,2 s a 0,4 s), sendo aceitável para um protótipo acadêmico.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma pesquisa exploratória sobre a adaptação de veículos para motoristas PCD, abordando desde a legislação até os aspectos técnicos, tipos de deficiência atendidos e modelos de veículos que podem ser adaptados. Foi possível entender a importância dessas modificações para garantir mais autonomia, mobilidade e inclusão social. O estudo também ajudou a esclarecer os direitos e cuidados necessários durante o processo de adaptação.

O mercado de veículos adaptados para PcD tem crescido nos últimos anos, impulsionado principalmente por isenções fiscais. No entanto, a oferta de modelos compatíveis ainda é limitada, e a complexidade e a frequência de alterações na legislação, somadas à falta de suporte e orientação adequada por parte do poder público, dificultam o acesso de parte do público ao benefício. Os modelos mais procurados são automáticos e com características que facilitam adaptações, mas nem todos se enquadram nas regras atuais. Ainda há espaço para melhorias, tanto na variedade de veículos disponíveis quanto no suporte oferecido ao consumidor PcD.

Embora a legislação atual garanta importantes direitos às pessoas com deficiência, como a isenção de IPI (Lei nº 8.989/1995) e a promoção da inclusão (Lei Brasileira de Inclusão – LBI), o processo para obter os benefícios ainda é burocrático e lento. A exigência de diversos documentos como laudo médico com CID e especificação da deficiência, CNH especial, declaração de isenção assinada, comprovante de residência, entre outros e laudos dificulta o acesso e vai contra o princípio da acessibilidade.

Como proposta, sugere-se a revisão das normas para simplificar os procedimentos, com padronização nacional e sistemas digitais integrados, inspirados em modelos internacionais. Além disso, a ampliação do limite de valor para veículos isentos e a criação de um órgão específico para regulamentar adaptações veiculares também poderiam tornar o processo mais ágil, justo e acessível.

Embora avanços importantes em legislação e tecnologia tenham facilitado a adaptação de veículos para pessoas com deficiência no Brasil, o acesso a esses serviços ainda enfrenta diversos obstáculos. A burocracia para obtenção de isenções, os altos custos das adaptações e a concentração das oficinas especializadas nos grandes centros urbanos limitam significativamente a inclusão e a mobilidade dessas pessoas.

Além disso, a falta de informação adequada e o longo tempo de espera para concluir as modificações agravam ainda mais essa situação. Para garantir que a mobilidade seja um direito acessível a todos, é fundamental que políticas públicas ampliem o investimento em oficinas especializadas, especialmente em regiões menos atendidas, e que sejam criados mecanismos de subsídio para diminuir os custos das adaptações.

A pesquisa mostrou que os avanços tecnológicos têm desempenhado um papel fundamental na mobilidade de pessoas com deficiência. Sistemas como aceleradores e freios eletrônicos, comandos por botão e tecnologias assistivas (ADAS) já estão presentes em diversos veículos adaptados. Esses recursos oferecem mais conforto, autonomia e segurança ao condutor PcD. As tendências futuras, como veículos autônomos e comandos inteligentes, apontam para um cenário cada vez mais acessível, desde que acompanhadas por regulamentações adequadas e políticas inclusivas.

7.1 Propostas Futuras

Uma das principais dificuldades enfrentadas por pessoas com deficiência na hora de adquirir um veículo adaptado é a limitação de modelos compatíveis disponíveis no mercado. Grande parte das opções depende de adaptações externas e personalizadas, o que eleva o custo e dificulta o acesso.

Como proposta de melhoria, sugere-se a criação de incentivos à produção nacional de veículos com versões adaptáveis já de fábrica. Isso incluiria modelos com predisposição para instalação de aceleradores manuais, freios ao volante, e outros sistemas de acessibilidade. Com apoio governamental e estímulo à indústria automotiva, seria possível aumentar a variedade de veículos adaptados no mercado, reduzir os custos e ampliar o acesso à mobilidade para PcD em todo o país.

A legislação brasileira tem avançado na promoção da mobilidade para pessoas com deficiência, especialmente por meio da isenção de impostos e do reconhecimento de direitos, como previsto na Lei nº 8.989/1995 e na Lei Brasileira de Inclusão. No entanto, o processo para obter esses benefícios ainda enfrenta entraves, como burocracia, exigência de documentos e falta de padronização entre estados.

A nova Lei Complementar nº 214/2025 também trouxe limitações, como o teto de R\$ 70 mil para isenção total, o que restringe o acesso a veículos adaptáveis.

Além disso, decisões judiciais nem sempre são aplicadas de forma uniforme, o que gera insegurança jurídica. Para que os direitos garantidos por lei sejam de fato acessíveis, é necessária maior integração entre os órgãos públicos, padronização de processos e mais divulgação das informações.

A concentração de oficinas especializadas em grandes centros urbanos dificulta o acesso de pessoas com deficiência (PcD) que vivem em regiões mais afastadas. Para garantir a equidade no atendimento e o cumprimento das leis de acessibilidade, como a LBI, é necessário descentralizar esses serviços.

A proposta sugere a criação de oficinas adaptadoras em diferentes regiões do país, com apoio de políticas públicas, incentivos fiscais e programas de capacitação. Dessa forma, seria possível ampliar a cobertura nacional, promover inclusão e assegurar o direito à mobilidade de forma prática e acessível para todos.

Para que as tecnologias assistivas se tornem mais acessíveis, é necessário viabilizar sua presença também em veículos de entrada, não apenas em modelos de alto custo. A proposta é incentivar políticas públicas que reduzam os impostos sobre tecnologias de assistência, fomentar a produção nacional de componentes e criar programas de capacitação técnica para instaladores. Isso tornaria possível incluir comandos eletrônicos, assistência de direção e sensores em veículos mais simples, ampliando o acesso de pessoas com deficiência à mobilidade segura e eficiente.

Como proposta de realização prática, sugere-se o desenvolvimento de um protótipo funcional em escala real utilizando componentes automotivos e sistemas eletrônicos embarcados, permitindo a validação do acionamento integrado de freio e acelerador ao volante. A implementação poderia incluir sensores potenciométricos, servo motores e microcontroladores, como a Raspberry Pi Pico, possibilitando testes de resposta, segurança e ergonomia do sistema. Além disso, futuras etapas poderiam envolver parcerias com oficinas especializadas e instituições de pesquisa para realização de testes em veículos adaptados, análise de confiabilidade e adequação às normas técnicas e de acessibilidade vigentes.

7.2 Limitações do Estudo

Embora este trabalho tenha abordado de forma abrangente a realidade do mercado de veículos adaptados e proposto soluções baseadas na integração de sistemas eletrônicos, algumas limitações se destacaram ao longo da pesquisa.

A principal delas está relacionada à viabilidade técnica da adaptação eletrônica do sistema de freio, que envolve altos níveis de segurança, controle e homologação por

órgãos competentes. Por se tratar de um componente crítico à segurança veicular, qualquer modificação precisa seguir normas rígidas e exigir validação por engenheiros certificados, o que restringe a execução prática dessa proposta por estudantes ou profissionais não habilitados para intervenções complexas em sistemas de frenagem.

Outra limitação observada foi o acesso limitado a oficinas especializadas em adaptações eletrônicas, que estão concentradas em grandes centros urbanos e dificultam a realização de testes e protótipos em regiões mais afastadas. Além disso, a falta de padronização nas adaptações e a ausência de incentivos diretos para pesquisas acadêmicas em tecnologia automotiva inclusive restringem o aprofundamento técnico do projeto.

Por fim, a pesquisa também esbarrou em dificuldades na obtenção de dados atualizados e oficiais sobre veículos adaptados e sua relação com as novas legislações, visto que parte das informações é descentralizada ou disponibilizada apenas por fabricantes e sites comerciais.

Apesar dessas limitações, o estudo cumpre seu papel ao propor soluções viáveis, identificar desafios reais e abrir caminhos para futuras pesquisas mais aprofundadas, em parceria com fabricantes, profissionais habilitados e instituições de regulamentação.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2020.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14022: Adaptações de veículos automotores. Rio de Janeiro, 2011.
- ADA. Americans with Disabilities Act, 1990.
- AUTOENTUSIASTAS (2020). Nissan Leaf: um elétrico no uso. [S.l.]: Autoentusiastas, 2020. Disponível em: <https://autoentusiastas.com.br/2020/09/nissan-leaf-um-eletrico-no-uso-com-video/>.
- AUTOVETERAN TECH. Autoveteran Tech, [s.l.]. Disponível em: <https://autoveteran.tech/blog/details/596/freio-eletrico-de-estacionamento-epb>.
- BALCONISTASA. Carro para PcD: conheça as normas que regem as adaptações feitas dentro do país. Balconistasa, [s.l.]. Disponível em: <https://balconistasa.com>. Acesso em: mai. 2025.
- BANCO MERCANTIL. Carros com desconto para PcD. Blog do Banco Mercantil, [s.l.]. Disponível em: <https://blog.bancomercantil.com.br>. Acesso em: mai. 2025.
- BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Resolução nº 478, de 20 de janeiro de 2014. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2014.
- BRASIL. CONTRAN. Resolução nº 927, de 28 de março de 2022. Brasília, 2022.
- BRASIL. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO (CTB). Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1997.
- BRASIL. Lei nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000. Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida. (LEI DE ACESSIBILIDADE). Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2000.
- BRASIL. Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. Institui a LEI BRASILEIRA DE INCLUSÃO (LBI) da Pessoa com Deficiência. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2015.
- BYD. Manual do proprietário BYD Dolphin Mini. 2024.
- Carro de Garagem (2021). [S.l.]: Carro de Garagem, 2021. Disponível em: <https://www.carrodegagem.com/y/1292/Freios-ABS-450.webp>.

CNN Brasil (2024). BYD oferece Dolphin Mini para PCD por menos de R\$ 100 mil.

CNN Brasil, [s.l.], 2024. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/aut/byd-oferece-dolphin-mini-para-pcd-por-menos-de-r-100-mil>.

CONJUR. Dados complementares sobre veículos para pessoas com deficiência.

Conjur, [s.l.]. Disponível em: <https://www.conjur.com.br>. Acesso em: mai. 2025.

CONTRAN. Resolução nº 425, de 27 de novembro de 2012. Dispõe sobre as exigências para concessão da CNH para condutores com deficiência. Brasília, DF:

Diário Oficial da União, 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/resolu-o-uo-425-1.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2025.

DETRAN.SP. Veículos adaptados: regras e exigências. Detran.SP, [s.l.]. Disponível

em: <https://www.detran.sp.gov.br/wps/portal/portaldetran/cidadao/habilitacao/veiculo-adaptado/>. Acesso em: 13 abr. 2025.

Edmunds (2021). BMW i3 2021 - Pictures. Edmunds, [s.l.], 2021. Disponível em:

<https://www.edmunds.com/chevrolet/bolt-ev/2023/pictures/>.

Edmunds (2023). Chevrolet Bolt EV 2023 - Pictures. Edmunds, [s.l.], 2023.

Disponível em: <https://www.edmunds.com/bmw/i3/2021/pictures/>.

Elaborado pelos autores, com base em informações das montadoras (Nissan, Honda, Hyundai, Fiat, Omoda & Jaecoo) e dados disponíveis em: nissan.com.br, hondacaiuas.com.br, hyundai.com.br, fiat.com.br, omodajaecoonow.com.br, deltafiat.com.br, verificarauto.com.br.

EUROPEAN UNION. European Accessibility Act, 2021.

Gerhardt, T. E.; Silveira, D. T. Métodos de Pesquisa. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

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

GM. Manual do proprietário Chevrolet Bolt EV. 2023.

HANDDRIVE. Adaptações veiculares: conheça as normas e a legislação no Brasil.

Handdrive, [s.l.]. Disponível em: <https://handdrive.com.br>. Acesso em: mai. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo

Demográfico 2022: Pessoas com Deficiência. IBGE, [s.l.]. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: mai. 2025.

INSTITUTO LOCOMOTIVA. Pesquisa sobre mobilidade e acessibilidade de pessoas com deficiência. 2024.

INMETRO. Regulamento de Avaliação da Conformidade para Equipamentos de Mobilidade Assistida, Portaria nº 168/2021.

INMETRO. Portaria nº 30, 2021. Brasília, 2021.

JAPAN MOBILITY COUNCIL. Accessible Vehicle Technologies in Japan. 2022.

LEI BRASILEIRA DE INCLUSÃO (LBI). Lei nº 13.146/2015.

LEI DE ACESSIBILIDADE (Lei nº 10.098/2000).

Moura, L. F.; Soares, J. A. Electronic Braking System. Academia.edu, 2016.

OBSERVATÓRIO DE ACESSIBILIDADE E MOBILIDADE (OAM). Desafios da acessibilidade para motoristas com deficiência. 2023.

YIN, R. K. Estudo de Caso: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZHOU, Y. *et al.* Analysis of Brake-by-Wire Technologies for Modern EVs.

ScienceDirect, 2023.

APÊNDICES

7.3 Apêndice A: Descrição Geral da Estrutura

A bancada é composta por:

- Pedal automotivo com sensor potenciométrico interno;
- Raspberry Pi Pico (RP2040) como unidade de controle;
- Servo motor responsável por reproduzir o movimento do freio;
- Fonte AC/DC utilizada para alimentação do Servo motor;
- Protoboard e cabos de conexão;
- Discos de freio;
- Pinça Hidráulica;
- Motor com inversor;
- Correia;
- Parafusos;
- Porcas;
- Arruelas;
- Cubo e eixo de Bicicleta;
- Cabo de Aço;
- Cabo Jumper;
- Estrutura de madeira para fixação dos componentes;
- Metalon.

A montagem foi realizada de forma que todos os elementos possam ser visualizados claramente, possibilitando análise e ajustes durante os testes.