

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Leonardo Roso Colpo

**PROJETO CONCEITUAL DE UM VEÍCULO ELÉTRICO DE PEQUENO
PORTE PARA O TRANSPORTE URBANO INDIVIDUAL**

Santa Maria, RS
2021

Leonardo Roso Colpo

**PROJETO CONCEITUAL DE UM VEÍCULO ELÉTRICO DE PEQUENO PORTE PARA O
TRANSPORTE URBANO INDIVIDUAL**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Área de concentração em Projeto e Análise de Sistemas Mecânicos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Mecânica**.

Orientador: Dr. Macklini Dalla Nora
Coorientador: Dr. Leonardo Nabaes Romano

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Colpo, Leonardo Roso
Projeto conceitual de um Veículo Elétrico de Pequeno
Porte para o Transporte Urbano Individual / Leonardo
Roso Colpo.- 2021.
144 p.; 30 cm

Orientador: Macklini Dalla Nora
Coorientador: Leonardo Nabaes Romano
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica, RS, 2021

1. Veículo Elétrico 2. Desenvolvimento de produto 3.
Mercado Brasileiro I. Dalla Nora, Macklini II. Nabaes
Romano, Leonardo III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, LEONARDO ROSO COLPO, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Leonardo Roso Colpo

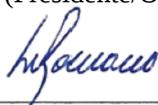
**PROJETO CONCEITUAL DE UM VEÍCULO ELÉTRICO DE PEQUENO PORTE PARA O
TRANSPORTE URBANO INDIVIDUAL**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Área de concentração em Projeto e Análise de Sistemas Mecânicos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Mecânica**.

Aprovado em 23 de setembro de 2021:



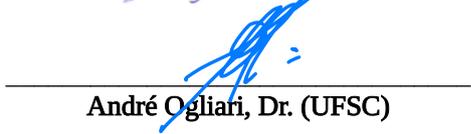
Macklini Dalla Nora, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Leonardo Nabaes Romano, Dr. (UFSM)
(Coorientador)



Alexandre Aparecido Buenos, Dr. (UFSM)



André Ogliari, Dr. (UFSC)

DEDICATÓRIA

A meus pais Sidnei e Eliane, meu irmão Lucas e minha namorada Camila.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela coragem de tomar esse desafio, e por toda a força durante essa trajetória.

Agradeço enormemente à minha família, pelo apoio incondicional na vida e durante todas as etapas desse trabalho. Em especial meus pais, Eliane e Sidnei; meu irmão Lucas, minha namorada Camila, meus sogros João e Liliana e meu cunhado Gabriel.

A meu orientador, professor Macklini Dalla Nora; e a meu coorientador, professor Leonardo Nabaes Romano, pelas oportunidades, ensinamentos e dedicação destes para a qualidade deste trabalho.

Aos professores Cassiano Rech e Ronaldo Martins Glufke, pelo tempo disposto a este trabalho e os conhecimentos que ambos aplicaram neste.

Aos membros da banca avaliadora, por aceitarem meu convite e compartilharem seus conhecimentos e experiências.

À CAPES, pela bolsa de estudos concedida. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A todos os professores que tive durante a graduação e agora em meu mestrado.

À equipe Bombaja UFSM, que além de fundamentar minha formação em projeto de veículos durante a graduação, cedeu por meio de seus membros, meus estimados amigos, tempo e recursos para auxílio em minha pesquisa.

Enfim, agradeço a todos aqueles que fizeram e fazem parte da minha vida, e que contribuíram de alguma forma ou outra para este trabalho.

Patine para onde o disco vai, não para onde ele estava.

Wayne Gretzky

Santa Maria, RS
2021

RESUMO

PROJETO CONCEITUAL DE UM VEÍCULO ELÉTRICO DE PEQUENO PORTE PARA O TRANSPORTE URBANO INDIVIDUAL

AUTOR: Leonardo Roso Colpo
ORIENTADOR: Macklini Dalla Nora
COORIENTADOR: Leonardo Nabaes Romano

O transporte veicular é parte do cotidiano de grande parte da população, especialmente aos habitantes de centros urbanos. Essa utilização faz com que esse setor seja um dos principais emissores de poluentes, além de consumir outros materiais fósseis e emitir gases do efeito estufa (GEE). A combinação da necessidade da utilização de automóveis e seus efeitos nocivos no ambiente faz com que pesquisas sejam direcionadas na busca por soluções sustentáveis no setor, buscando maior eficiência e menores impactos no meio ambiente. Em meio à essa busca, veículos elétricos surgem como uma das possíveis soluções, pois não emitem GEE localmente e apresentam eficiência superior a motores de combustão interna convencionais. Nesse sentido, essa pesquisa buscou entender as restrições e requisitos de projeto, além das necessidades dos consumidores e então aplicá-las no projeto conceitual de um veículo por meio de uma metodologia de projeto de produto. O projeto se divide na fase de planejamento, projeto informacional e projeto conceitual. Os requisitos de clientes foram buscados em uma revisão sistemática da literatura acerca do cenário energético brasileiro e sua capacidade de incluir veículos elétricos na frota; além de uma revisão sobre aspectos de veículos elétricos que barram sua adoção e como os consumidores têm reagido à tecnologia. Os requisitos de cliente foram avaliados de acordo com o diagrama de Mudge e traduzidos em requisitos de projeto, com métricas definidas e formas de avaliação. Os requisitos de projeto foram avaliados com o uso de uma matriz QFD, de forma a se obter a importância relativa de cada requisito de projeto e hierarquizá-los de acordo com o quão importante são para que se atinjam as necessidades dos clientes. Com isso, pode-se determinar as especificações do produto, com os valores metas para os requisitos de projeto, o que encerrou o projeto informacional e deu início à fase de projeto conceitual. Nesta, a estrutura de funções do produto é decomposta e potenciais soluções foram apontadas para que seja possível gerar diferentes concepções de veículos. O conceito resultante, após as análises de acordo com os requisitos de projeto, descreve um pequeno veículo destinado ao exclusivamente uso urbano e com até um passageiro, abrangendo os perfis de utilização mais comuns no país. Ainda, o veículo apresenta pequenas dimensões e um pequeno pacote de baterias, de forma a ser facilmente operado com um custo reduzido, mas que atenda a um deslocamento rotineiro com facilidade. Por fim, um design moderno e tecnologias de monitoramento e entretenimento a bordo do veículo fazem-se presentes como uma atratividade ao consumidor, para que este não sinta que apenas está contribuindo ao meio ambiente como também adquirindo um produto de valor agregado que entrega as mesmas experiências que a atual geração da frota brasileira. Os resultados e discussões mostram que esse conceito resultante está preparado para suprir as necessidades da maior parte dos consumidores e ser inserido no mercado no presente momento, destinando-se ao uso cotidiano em centros urbanos e colaborando com a mitigação dos efeitos adversos do setor de transportes.

Palavras-chave: Veículo Elétrico. Desenvolvimento de produto. Mercado Brasileiro

ABSTRACT

CONCEPTUAL DESIGN OF A SMALL ELECTRIC VEHICLE FOR THE PARTICULAR URBAN TRANSPORTATION

AUTHOR: Leonardo Roso Colpo
ADVISOR: Macklini Dalla Nora
CO-ADVISOR: Leonardo Nabaes Romano

Mobility is part of the daily life of a large part of the population, especially those living in urban centers. This use makes this sector one of the main emitters of pollutants, in addition to consuming other fossil materials and emitting greenhouse gases (GHG). The combination of the need for the use of automobiles and their harmful effects on the environment makes research be directed towards the search for sustainable solutions in the sector, seeking greater efficiency and less impact on the environment. In the midst of this search, electric vehicles emerge as one of the possible solutions, as they do not emit GHG locally and are more efficient than conventional internal combustion engines. In this sense, this research sought to understand the aspects of technology and the market that bar the widespread adoption of electric vehicles, in addition to consumer needs, and then apply them to the conceptual design of a vehicle through a product design methodology. The project is divided into the planning phase, informational design and conceptual design. Customer requirements were sought in a systematic literature review about the Brazilian energy scenario and its ability to include electric vehicles in the fleet; as well as a review of aspects of electric vehicles that impede their adoption and how consumers have reacted to the technology. Customer requirements were evaluated according to the Mudge diagram and translated into project requirements, with defined metrics and forms of evaluation. The project requirements were evaluated using a QFD matrix, in order to obtain the relative importance of each project requirement and rank them according to how important they are to meet the customers' needs. With this, it is possible to determine the product specifications, with the target values for the design requirements, which ended the informational design and started the conceptual design phase. In this, the structure of product functions is decomposed and potential solutions were pointed out so that it is possible to generate different vehicle concepts. The resulting concept, after analysis according to the design requirements, describes a small vehicle intended for urban use only and with up to one passenger, covering the most common usage profiles in the country. Furthermore, the vehicle has small dimensions and a small battery pack, in order to be easily operated with a reduced cost, but that meets a routine displacement with ease. Finally, a modern design and in-vehicle monitoring and entertainment technologies are present as an attractiveness to the consumer, so that they do not feel that they are only contributing to the environment, but also purchasing a value-added product that delivers them experiences that the current generation of the Brazilian fleet. The results obtained show that this resulting concept is prepared to meet the needs of most consumers and be inserted in the market at the present time, intended for daily use in urban centers and helping to mitigate the adverse effects of the transport sector.

Keywords: Electric Vehicle. Product Development. Brazilian Market.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Concentração de material particulado em cidades brasileiras.....	34
Figura 2 – Emissão de CO ₂ per capita de algumas localidades de interesse	36
Figura 3 - Emissões de CO ₂ por setor no Brasil	37
Figura 4 - Emissões no setor de energia	37
Figura 5 - Emissões de um veículo elétrico comparado com um veículo Diesel.....	38
Figura 6 - Número de publicações referentes a veículos elétricos na base SCOPUS	40
Figura 7 - Vendas de veículos elétricos nos últimos anos	40
Figura 8 – Curva do ciclo de vida de um projeto	42
Figura 9 - Metodologia proposta por Bonsiepe (1984)	43
Figura 10 – Metodologia proposta por Baxter (2000).....	44
Figura 11 - Metodologia de Pahl e Beitz (2007)	45
Figura 12 - Macrofases e fases do PDMA.....	46
Figura 13 - Tipologia de projeto devido ao tipo de produto	46
Figura 14 - Fluxograma do projeto informacional	48
Figura 15 – Fluxograma do projeto conceitual.....	48
Figura 16 - Decomposição de forças atuantes no veículo em movimento	49
Figura 17 - Forças estáticas no veículo	52
Figura 18 - Forças atuantes na frenagem.....	52
Figura 19 – Forças atuantes em curva	54
Figura 20 - Geometrias de transferência de carga lateral	55
Figura 21 - EDT do projeto VEUFMSM	59
Figura 22 - Macrofases e fases do projeto VEUFMSM.....	60
Figura 23 - Atividades chave de cada fase	61
Figura 24 - Mapa das categorias e classe de informações	64
Figura 25 - Estrutura de subsistemas do veículo	68
Figura 26 - Declaração da função global do veículo	76
Figura 27 –Estrutura de funções do VE.....	110
Figura 28 - Conceito de veículo com passageiros lado a lado	121
Figura 29 – Conceito de veículo com passageiros dispostos linearmente.....	121
Figura 30 - Painel com volante central, botões e multimídia	121
Figura 31 - Painel com volante lateral, tela e botões.....	122
Figura 32 - Painel com volante lateral e tela com comandos	122
Figura 33 - Vista isométrica do conceito do veículo	125
Figura 34 - Lateral do veículo sem (A) e com (B) ilustração dos ocupantes internos	125
Figura 35 - Vista posterior (A) e frontal (B) do veículo	126
Figura 36 - Dimensões do veículo em metros	126
Figura 37 - Curva de torque e potência dos motores somados.....	130
Figura 38 - Modelo da análise construído no <i>Simulink</i>	130
Figura 39 - Resultados de velocidade e aceleração	131
Figura 40 - Perfil de velocidades do ciclo WLTC 3	131
Figura 41 - Potência consumida no ciclo.....	132
Figura 42 - Consumos de energia durante o ciclo	133
Figura 43 - Forças de frenagem ótimas	134
Figura 44 – Forças de frenagem ótimas normalizadas	135
Figura 45 - Atuação da válvula equalizadora Wilwood® 260-8419	136
Figura 46 – Forças de frenagem ótimas e atingíveis pelo veículo.....	137

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Saídas de cada fase	47
Quadro 2 - Sistema de transporte do veículo elétrico.....	65
Quadro 3 - Processo operacional do veículo elétrico	65
Quadro 4 - Interferências e limites	66
Quadro 5 - Fatores de influência de requisitos energéticos.....	67
Quadro 6 - Subsistemas do veículo	69
Quadro 7 – Tipologia de projeto.....	70
Quadro 8 - Clima e ambiente.....	71
Quadro 9 - Pavimentos	71
Quadro 10 - Tráfego	72
Quadro 11 - Adequação aos processos	73
Quadro 12 - Adequação à segurança	73
Quadro 13 - Análise de dimensões	74
Quadro 14 - Propriedades interessantes ao mercado	74
Quadro 15 - Análise de operações do veículo	75
Quadro 16 – Matriz morfológica de princípios de solução	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de acordo com o atendimento das especificações de projeto	118
Tabela 2 - Comparação das concepções de motores.....	118
Tabela 3 - Comparação das concepções geradas	124
Tabela 4 – Parâmetros de massa do veículo	128
Tabela 5 – Parâmetros de transmissão do veículo	128
Tabela 6 - Parâmetros referentes à dinâmica lateral do veículo	129
Tabela 7 - Parâmetros do sistema de freio	135
Tabela 8 - Distribuição estática de carga nos pneus	138
Tabela 9 - Parâmetros de pilotagem em curva.....	138
Tabela 10 - Transferências de carga em cada situação de curva.....	139

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

QFD	<i>Quality Function Deployment</i>
MCI	Motor de combustão interna
VE	Veículo elétrico
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases
SOGA	<i>State of Global Air</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
GEE	Gases de Efeito Estufa
PMI	<i>Project Management Institute</i>
PDMA	Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
MDT	Manual de Dissertações e Teses
ECU	<i>Electronic Control Unit</i>
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
DETRAN	Departamento de trânsito
NVH	<i>Noise, vibration, and harshness</i>
CG	Centro de gravidade
FTP	<i>Fixed Throttle Performance</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Aceleração
A_f	Área frontal
A_{mc}	Área do cilindro mestre
A_{wc}	Área do êmbolo da pinça de freio
A_y	Aceleração lateral
BF	<i>Brake Factor</i>
C_d	Coefficiente de arrasto aerodinâmico
C_{rr}	Coefficiente de rolamento
E_{tot}	Energia total
F_a	Força aerodinâmica
F_r	Força de rolamento
F_s	Força de rampa
F_t	Força trativa
F_{tot}	Força total
F_{xF}	Força longitudinal dianteira
$F_{xF,opt}$	Força longitudinal dianteira ótima
F_{xR}	Força longitudinal traseira
$F_{xR,opt}$	Força longitudinal traseira ótima
F_{ZF}	Força normal dianteira
$F_{ZF, din}$	Força normal dianteira dinâmica
F_{ZR}	Força normal traseira
$F_{ZR, din}$	Força normal traseira dinâmica
g	Aceleração da gravidade
h	Altura do centro de gravidade
H	Distância entre o centro de gravidade e o eixo de rolagem
h_c	Altura do centro de gravidade com o carro carregado
i	Relação de transmissão
K_F	Rigidez à rolagem dianteira
K_R	Rigidez à rolagem traseira
L	Distância entre eixos
l_F	Distância do centro de gravidade ao eixo dianteiro
l_p	Alavanca do pedal de freio
l_R	Distância do centro de gravidade ao eixo traseiro
m	Massa
m_c	Massa com o veículo carregado
M_c	Momento de aceleração lateral
M_{rol}	Momento de rolagem
p	pressão
P_{tot}	Potência total
R_c	Raio de curva
r_d	Raio efetivo do disco de freio
r_w	Raio dinâmico do pneu
t	Bitola
t_F	Bitola dianteira
T_m	Torque do motor
t_R	Bitola traseira
v	Velocidade do veículo
W	Peso do veículo

W_i	Carregamento na roda interna à curva
W_o	Carregamento na roda externa à curva
Z_{RF}	Altura do centro de rolagem dianteiro
Z_{RR}	Altura do centro de rolagem traseiro
ΔW_F	Transferência de carga lateral no eixo dianteiro
ΔW_R	Transferência de carga lateral no eixo traseiro
η	Eficiência de transmissão
η_c	Eficiência da pinça de freio
η_p	Eficiência de alavanca do pedal de freio
θ	Ângulo de inclinação da pista
μ_{TF}	Coefficiente de atrito dianteiro
μ_{TR}	Coefficiente de atrito traseiro
ρ	Densidade do ar
Φ	Ângulo de rolagem do veículo
χ	Altura do centro de gravidade dividida pela distância entre eixos
ψ	Distribuição de massa estática no eixo traseiro
ψ_c	Distribuição de massa estática no eixo traseiro com o veículo carregado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	29
1.1	PROBLEMA DA PESQUISA	30
1.2	OBJETIVOS	30
1.2.1	Objetivo Geral	30
1.2.2	Objetivos Específicos	30
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	31
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
2.1	PANORAMA ATUAL	33
2.1.1	Impactos do setor automobilístico	33
2.1.2	Emissões de poluentes e GEE	35
2.1.3	Veículos elétricos e híbridos	39
2.2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	41
2.2.1	Metodologia de projeto de produtos	41
2.2.2	Análises dinâmicas	49
2.2.2.1	<i>Demanda energética</i>	49
2.2.2.2	<i>Análise de frenagem</i>	51
2.2.2.3	<i>Curvas</i>	54
3	METODOLOGIA	59
3.1	DETERMINAÇÃO DO ESCOPO	59
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
4.1	PROJETO INFORMACIONAL	63
4.1.1	Fatores de Influência	63
4.1.1.1	<i>Exame do escopo</i>	64
4.1.1.2	<i>Caracterização do ambiente operacional</i>	70
4.1.1.3	<i>Critérios de homologação</i>	72
4.1.1.4	<i>Análise comparativa de veículos</i>	73
4.1.1.5	<i>Estrutura de funções</i>	75
4.1.2	Especificações de projeto	76
4.2	ARTIGO - BATTERY ELECTRIC VEHICLES DESIGN SPECIFICATIONS IN EMERGING MARKETS	77
	INTRODUCTION	77
	METHODOLOGY.....	78

RESULTS AND DISCUSSIONS	84
CONCLUSIONS	96
REFERENCES	98
4.3 PROJETO CONCEITUAL	109
4.3.1 Análise funcional	109
4.3.2 Análise da concepção do motor	116
4.3.3 Propostas de concepções	119
4.3.4 Seleção da concepção final	122
4.4 ANÁLISES DINÂMICAS	127
4.4.1 Parâmetros e grandezas	127
4.4.2 Análise de demanda energética	129
4.4.3 Análise de frenagem	133
4.4.4 Análise de manobras em curva	137
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	141
5.1 CONCLUSÕES	141
5.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	142
REFERÊNCIAS	143

1 INTRODUÇÃO

Com o contínuo crescimento do setor automotivo no âmbito mundial, pesquisas e trabalhos estão direcionados a minimizar o impacto desse setor no meio ambiente. As emissões de gases do efeito estufa (GEE) e poluentes oriundas de veículos movidos a motores de combustão interna (MCI) comprometem a qualidade do ar e, conseqüentemente, a qualidade de vida e a saúde dos habitantes de centros urbanos. Segundo Chambliss et al. (2014), ocorreram 3,2 milhões de mortes prematuras em 2010 devido à exposição de pessoas a materiais particulados presentes no ar, e 11,7% desse valor é diretamente relacionado ao setor de transportes (ANENBERG et al., 2019). Especificamente no Brasil, mais de 52 mil mortes ocorreram em 2015 devido à materiais particulados (INSTITUTE FOR HEALTH METRICS AND EVALUATION, 2016). A solução para melhores cenários neste setor volta-se ao estudo de alternativas mais sustentáveis e menos agressivas ao ambiente e aos habitantes de locais com concentração de veículos.

O setor de transportes engloba transportes marítimos, aéreos e terrestres. A frota brasileira de transportes terrestres tem uma divisão muito clara entre veículos pesados, geralmente destinados ao transporte de cargas, e veículos leves, geralmente destinados ao transporte individual de pessoas. A maioria desses veículos funciona com combustíveis fósseis, o que faz com que sejam a principal fonte de emissões do setor de energia em municípios mais populosos (IEMA, 2021). Em 2019, a queima de combustíveis emitiu mais de 380 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera (SEEG, 2021a).

Uma das mais promissoras tecnologias para o transporte individual (que se refere a veículos particulares, podendo haver ocupantes além do motorista) é a utilização de veículos elétricos (VEs) em substituição aos veículos dotados de MCI, ou então veículos híbridos, que possuem as duas tecnologias. Muitas montadoras já anunciaram que estão abandonando a fabricação de modelos puramente a combustão, a exemplo de Volkswagen, Volvo, Jaguar/Land Rover e Mercedes-Benz (MOURA, 2017). Essa aposta na tecnologia é devido ao fato de veículos elétricos não emitirem quaisquer tipos de poluentes localmente. As emissões ocorrem na geração de energia elétrica, mas ainda assim é possível um saldo positivo na geração de CO₂, além de centralizar a emissão destes gases nas hidrelétricas, retirando emissões dos grandes centros urbanos. A cada ano, mais modelos de VEs são lançados no mercado, e as vendas tem aumentado exponencialmente.

Entretanto, o Brasil ainda é muito incipiente nesse setor do mercado, apresentado uma disseminação baixa de VEs. Com uma análise um pouco mais cuidadosa, pode-se indagar se

essa baixa adesão é reflexo de como os atuais modelos não estão preparados para suprir as necessidades dos consumidores brasileiros. Geralmente desenvolvidos em países europeus, os veículos elétricos disponíveis parecem não levar em conta o alto custo de aquisição com que chegam ao Brasil, além de serem desenvolvidos para cenários de clima, condições de rodovias e trânsito bem distintas do que é encontrado em solo brasileiro.

Para uma possível solução desse problema, é necessário avaliar as necessidades específicas dos consumidores brasileiros, e oferecer um produto concebido para atender essas necessidades. Isso requer o conhecimento específico de desenvolvimento de produtos, e a aplicação de uma metodologia no processo de projeto do veículo concebido para atender as necessidades do mercado nacional. O desenvolvimento de produtos engloba uma cadeia sequencial de atividades, traduzindo uma ideia abstrata para a materialização por um conjunto de ações (ROMANO, 2003). A aplicação de uma metodologia de projeto pode ajudar a compreender os fatores que freiam a disseminação da tecnologia no país, além de clarificar quais são as necessidades do público brasileiro e como o país está preparado para a adoção de veículos elétricos.

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

A aplicação de uma metodologia de projeto para a concepção de um veículo elétrico, dedicado ao transporte individual de passageiros, levando em conta as necessidades específicas dos consumidores, e fatores nacionais que influenciam o desenvolvimento e utilização do veículo.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos propostos para esse estudo são divididos em geral e específicos, ambos descritos a seguir.

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver a concepção de um veículo elétrico para uso urbano em distâncias curtas, destinado ao transporte de pessoas, buscando soluções criativas por meio da aplicação de uma metodologia de projeto de produtos.

1.2.2 Objetivos Específicos

Visando atingir o objetivo geral da pesquisa, estabeleceram-se como objetivos específicos do estudo:

- Aplicar uma metodologia para o desenvolvimento do projeto, considerando um desenvolvimento tecnológico e acadêmico;
- Determinar fatores de sucesso para a implementação do produto no mercado brasileiro;
- Elaborar as especificações do produto para um veículo elétrico destinado ao mercado nacional;
- Propor a concepção do veículo;
- Análise dinâmica da concepção gerada.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é estruturado da seguinte forma: O capítulo 2 contempla a revisão bibliográfica, abordando desde o panorama atual dos impactos do setor automobilístico e emissões de poluentes e gases de efeito estufa (GEE), até teorias e conceitos sobre a dinâmica de veículos elétricos e metodologias de projeto de produto.

O capítulo 3 descreve a metodologia que foi utilizada, obtida através da combinação das metodologias abordadas na revisão bibliográfica. O planejamento e fases da etapa de projeto são especificadas, assim como as saídas e resultados esperados em cada etapa.

O capítulo 4 aborda os resultados das fases de projeto desenvolvidas e a discussão sobre estes. Os resultados são especificados desde o projeto informacional, com enfoque nos fatores de influências e especificações de projeto do veículo. Especificamente nas especificações de projeto, devido ao grande esforço atrelado a essa etapa e à contribuição que ela pode vir a ter no meio científico, este resultado foi desenvolvido como um artigo. No momento da defesa da dissertação, o artigo aguarda a seleção de um periódico apropriado para o começo do processo de submissão. Inserido como um capítulo, o artigo aborda o processo da determinação das especificações de projeto e seus resultados, e está apresentado na língua em que será submetido, de acordo com as diretrizes do manual de dissertações e teses da UFSM (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2015). Após, são apresentadas as etapas do projeto conceitual, suas análises e o conceito proposto para o veículo; e por fim, cálculos dinâmicos resultantes das dimensões e propriedades obtidas no conceito final do veículo, de modo a verificar a aplicabilidade das escolhas realizadas nessa fase.

Por fim, o capítulo 5 tece as conclusões finais da pesquisa, e apresenta algumas sugestões de modo que as contribuições desse trabalho possam ser aplicadas e/ou continuadas em trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo aborda os assuntos necessários à compreensão sobre o atual panorama do mercado automobilístico no Brasil, os problemas que esse setor traz e a necessidade de uma alternativa sustentável ao transporte individual no país. Buscou-se, também, compreender o estado atual da tecnologia em veículos elétricos, e quais tem sido as impressões dos usuários sobre seus atributos e as dificuldades que estes vem enfrentando para ampla adoção. Também serão apresentados conceitos fundamentais de desenvolvimento de produtos, metodologias para uma abordagem sistemática das tarefas de projeto e princípios básicos de dinâmica veicular para uma análise preliminar da concepção proposta.

2.1 PANORAMA ATUAL

A seguir, discute-se sobre o cenário automotivo e energético brasileiro, e quais são as condições e desafios para a implementação de veículos elétricos no país.

2.1.1 Impactos do setor automobilístico

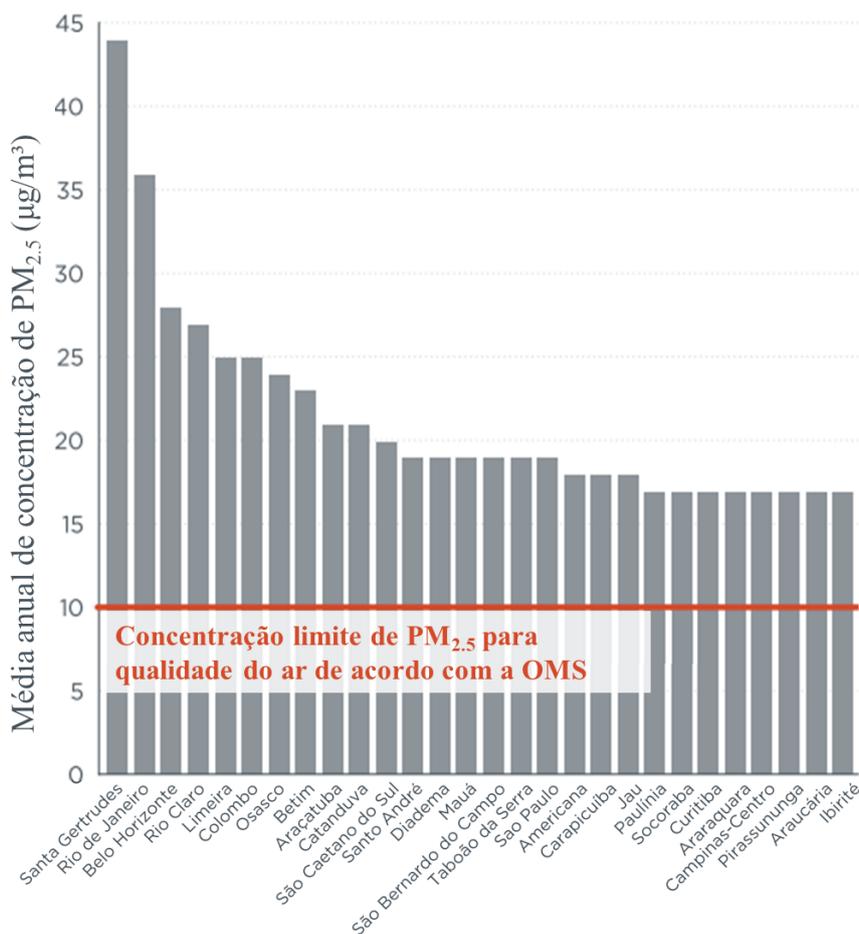
Veículos terrestres tem uma presença diária na vida dos habitantes de centros urbanos, e podem ser ditos como praticamente indispensáveis para o transporte de pessoas, além de terem agregado muito à qualidade de vida. Com uma frota de quase 46 milhões de veículos em 2020 (ANFAVEA, 2021), o Brasil é um dos 10 maiores mercados internos da indústria automobilística, posicionando-se como um país chave no setor. Nos últimos dados divulgados (ANFAVEA, 2021), o setor automotivo demonstra uma participação de 3% no PIB nacional, além da geração de 1,3 milhões de empregos e a arrecadação de 79 bilhões de reais em impostos.

Apesar da indescritível importância econômica, o setor automobilístico tem muitos efeitos negativos no país, principalmente relacionados à saúde e meio ambiente. A frota brasileira total é composta quase que inteiramente por veículos que utilizam combustíveis fósseis, sendo composta 67,1% de veículos *flex* (que podem utilizar gasolina e/ou etanol); 22,2% de veículos puramente a gasolina, e 10% de veículos a Diesel (SINDIPEÇAS; ABIPEÇAS, 2019). A queima destes combustíveis é diretamente relacionada à emissão de materiais particulados e outros poluentes na atmosfera, que afetam a qualidade do ar e, consequentemente, a qualidade de vida das pessoas. A poluição do ar foi o 4º maior fator de risco para mortes precoces em 2019 (HEALTH EFFECTS INSTITUTE; INSTITUTE FOR HEALTH METRICS AND EVALUATION'S GLOBAL BURDEN OF DISEASE PROJECT, 2020), atrás apenas de dieta pobre, tabaco e hipertensão arterial. Além disso, 90% da população é exposta a um limite anual à materiais particulados PM_{2.5} (que se refere a partículas medindo

menos de 2,5 micrômetros de diâmetro) definidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS), estabelecido em $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (HEALTH EFFECTS INSTITUTE; INSTITUTE FOR HEALTH METRICS AND EVALUATION'S GLOBAL BURDEN OF DISEASE PROJECT, 2020)

Apesar de o Brasil não figurar entre as maiores concentrações de $\text{PM}_{2,5}$, 55 mil mortes ocorreram devido à complicações da poluição do ar (INSTITUTE FOR HEALTH METRICS AND EVALUATION, 2016), sendo um dos maiores responsáveis por esse dado o setor automotivo. Combustíveis fósseis emitem monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e hidrocarbonetos (HC), aos quais a exposição é relacionada à diversas situações adversas de saúde, como doenças pulmonares e cardiovasculares, asma e câncer (DALLMANN; FAÇANHA, 2017). Somado a isso, pode-se observar, na Figura 1, como o limite de exposição à $\text{PM}_{2,5}$ é superado em grandes cidades brasileiras. Em São Paulo, os limites são excedidos em 80%, enquanto no Rio de Janeiro esse valor chega a 160%.

Figura 1 – Concentração de material particulado em cidades brasileiras



Fonte: (DALLMANN; FAÇANHA, 2017)

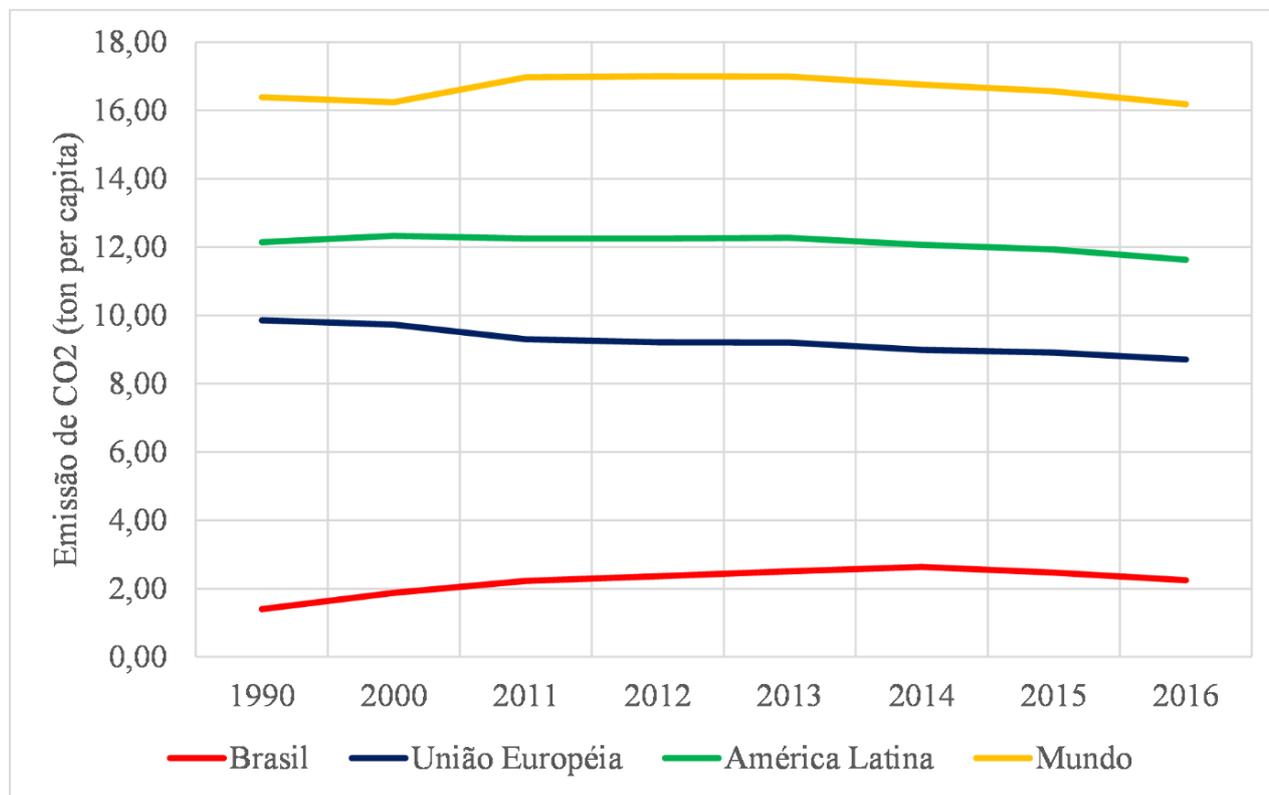
Além da clara contribuição negativa para a qualidade do ar, o setor de transportes tem uma ineficiência que intensifica os efeitos adversos deste. Veículos de passeio são amplamente utilizados frente as más condições do transporte público, porém muitas vezes com apenas o motorista no interior (VOITCH, 2011). Um maior número de veículos de passeio nas ruas, em detrimento de transporte público, é diretamente relacionado ao aumento de poluentes no ar (SILVA et al., 2012) . Já existem ações no intuito de desestimular o transporte individual, como por exemplo o rodízio de veículos em São Paulo. Outras medidas mundiais de mitigação do transporte individual incluem taxas e tarifas na utilização destes veículos (GOMIDE, 2011), o que tem direcionado pesquisas para outras fontes de energia veicular mais sustentáveis. A principal tendência de mobilidade sustentável são os veículos elétricos (VEs), que utilizam energia elétrica ao invés de combustíveis fósseis para fornecer energia ao veículo. A decisão de alavancar essa alternativa no mercado se dá pelo fato de veículos elétricos não emitirem quaisquer tipos de poluentes localmente durante sua operação, embora essa análise deva levar em conta todo o ciclo de vida do veículo.

2.1.2 Emissões de poluentes e GEE

É importante ressaltar que veículos elétricos não são totalmente isentos da emissão de poluentes e gases de efeito estufa (GEE). A emissão destes se dá em todo o ciclo de vida do produto, desde a fabricação dos componentes, passando pela geração e transmissão da energia elétrica para seu funcionamento, até a reciclagem final do veículo. A grande vantagem dos VEs é de não emitir poluentes na fase de utilização, o que permite centralizar a emissão destes gases nas unidades geradoras de energia, removendo a concentração dos centros urbanos. Ainda assim, é possível um saldo positivo na geração de CO₂ se a geração de energia elétrica for proveniente de uma matriz renovável, já que os benefícios de um veículo elétrico estão diretamente ligados com a origem da energia elétrica (EHRENBERGER et al., 2019). Especificamente, o Brasil possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, como pode ser visto na Figura 2. Dados do Banco Mundial (THE WORLD BANK GROUP, 2020) mostram que o Brasil emite menos da metade de CO₂ per capita comparado com a união europeia, e aproximadamente 12% da média mundial. Essa baixa emissão se deve à alta concentração de energias renováveis na matriz energética brasileira, que abrangem 81% de toda a capacidade nacional (CORREA; MUÑOZ; RODRIGUEZ, 2019), além do menor PIB per capita em relação a países desenvolvidos. No que se refere à distribuição doméstica de energia elétrica, 83,3% desse suprimento é proveniente de fontes renováveis (EMPRESA DE

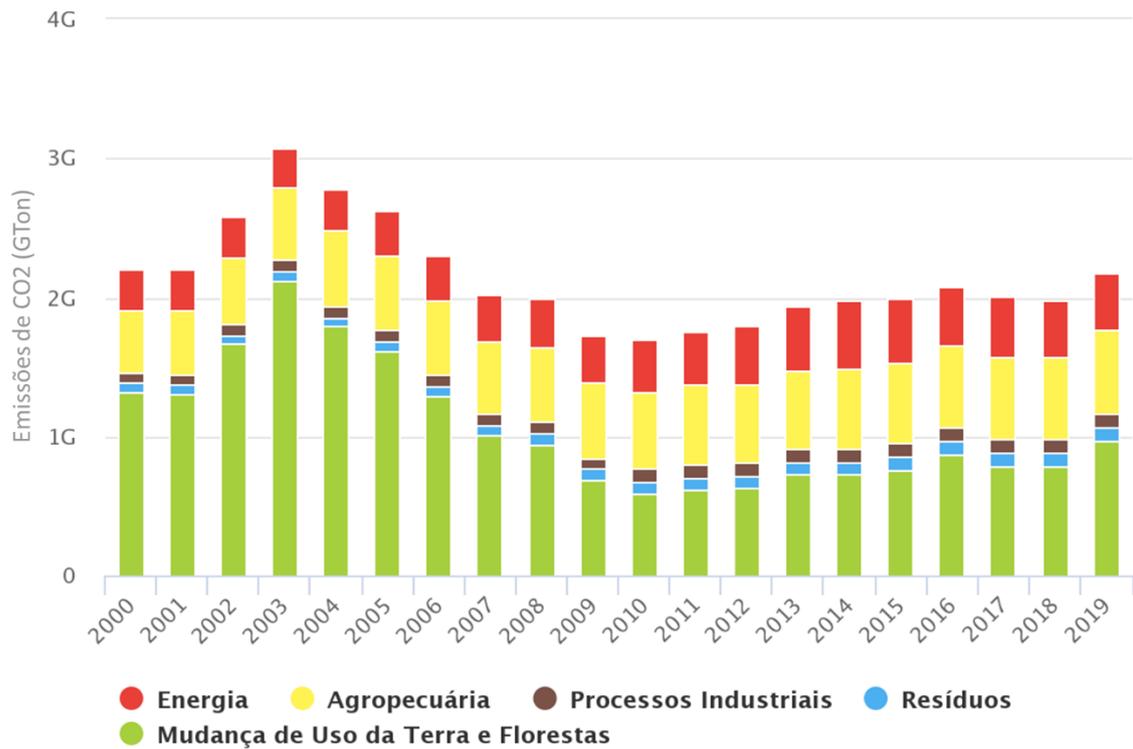
PESQUISA ENERGÉTICA (EPE), 2019), o que amenizaria o impacto de veículos elétricos na rede.

Figura 2 – Emissão de CO₂ per capita de algumas localidades de interesse



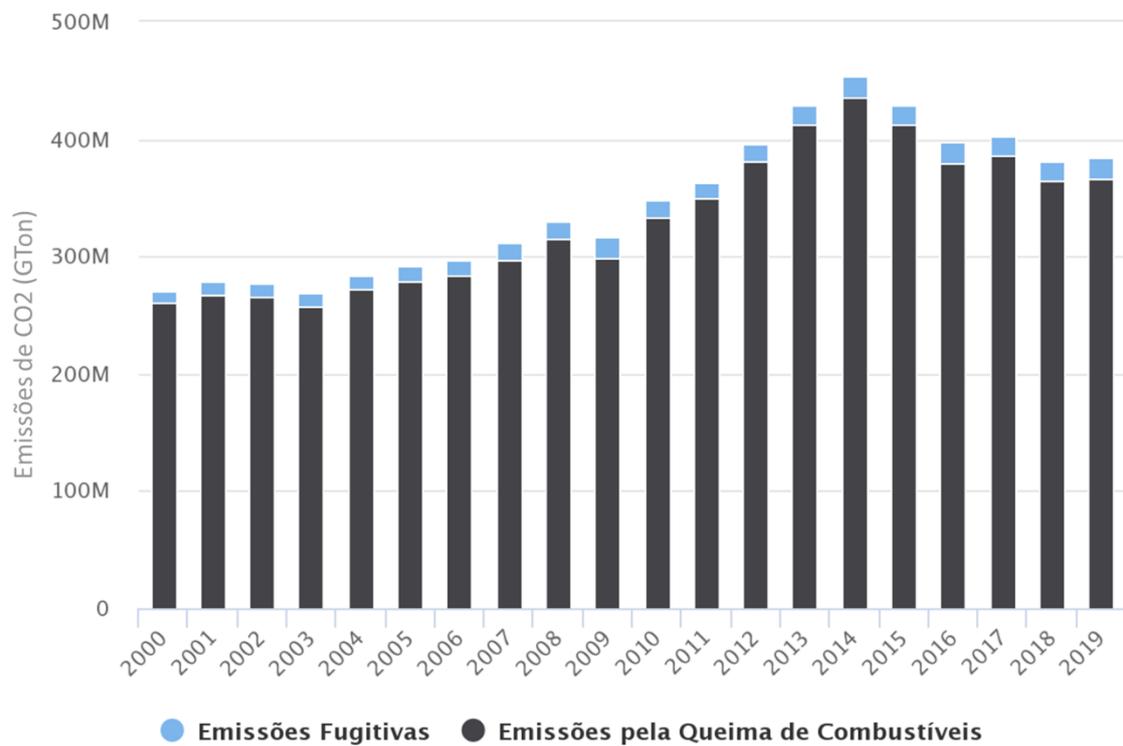
Fonte: Adaptado de (THE WORLD BANK GROUP, 2020)

Ainda que as emissões brasileiras sejam pequenas em relação a sua extensão territorial, o Brasil é o 7º maior emissor de CO₂ do planeta (SEEG, 2021b). A Figura 3 mostra o total de emissões do Brasil e sua distribuição por setores. Após o acordo de Paris em 2005, o país se comprometeu a reduzir as emissões provenientes de mudanças de terras e florestas, o que proporcionou uma grande redução nas emissões totais. Entretanto, o setor de energia do Brasil emite 413 milhões de toneladas de CO₂ ao ano, o que representa 19% do total das emissões de CO₂ no país (SEEG, 2021a). Destes, 370 milhões de toneladas de CO₂ são provenientes de queimas de combustíveis, como mostra a Figura 4.

Figura 3 - Emissões de CO₂ por setor no Brasil

Fonte: (SEEG, 2021a)

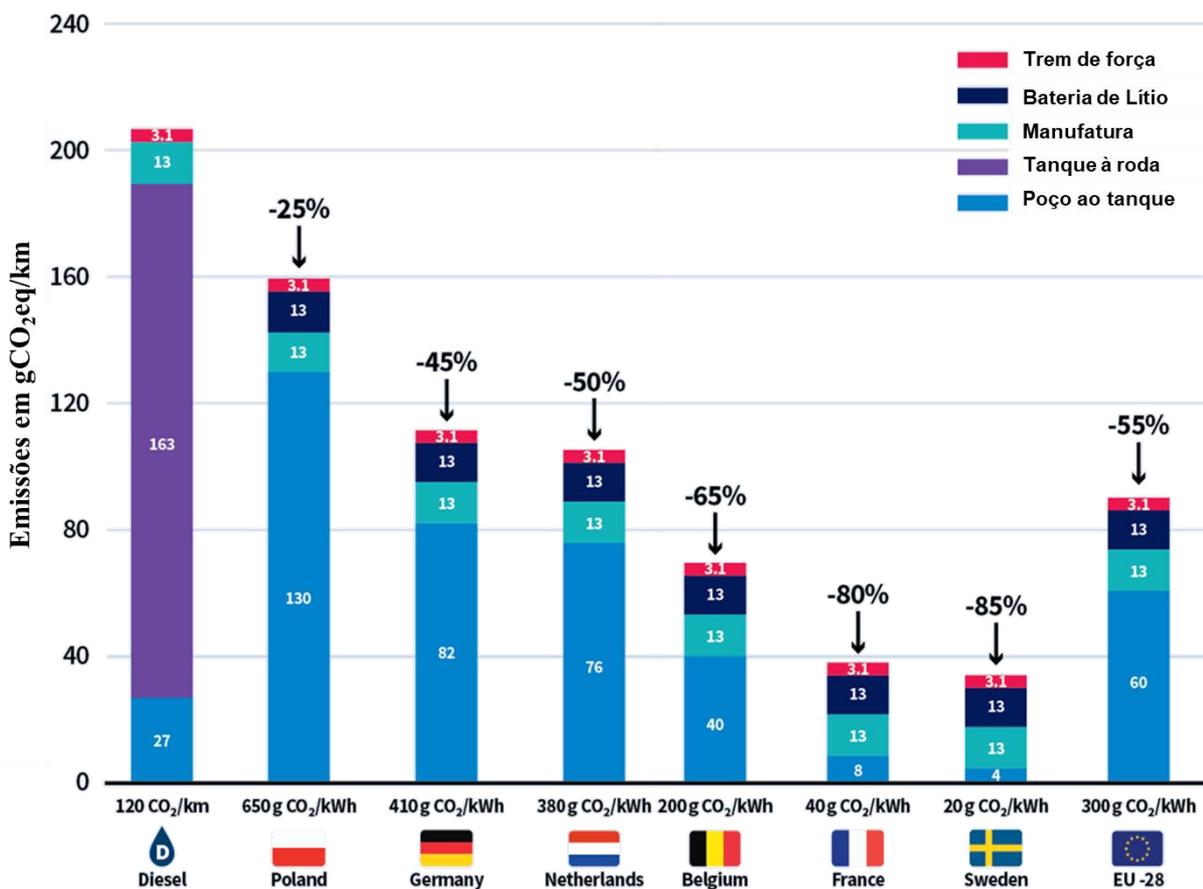
Figura 4 - Emissões no setor de energia



Fonte: (SEEG, 2021a)

Com base neste cenário, pode-se entender como benéfica a introdução de uma frota de veículos elétricos no país, havendo capacidade de redução para aproximadamente $\frac{1}{4}$ das emissões totais, visto que hoje a matriz energética tem uma emissão de 106 gramas de CO₂ por kWh produzido (SEEG, 2018). A Figura 5 mostra a comparação de emissões de um veículo a Diesel comparado com um equivalente elétrico, de acordo com a matriz energética de cada país.

Figura 5 - Emissões de um veículo elétrico comparado com um veículo Diesel



Fonte: Adaptado de (BANNON, 2017)

É possível atestar que os resultados de emissões são diretamente relacionados com a emissão por kWh produzido em cada país. Somado a isso, o cenário para o crescimento de energias renováveis no Brasil é positivo, de modo que, se os investimentos forem mantidos, é possível atingir uma produção de energia maior do que a demanda nos próximos anos (BARROS; PIEKARSKI; DE FRANCISCO, 2018). Além de hidroelétricas, que são hoje a principal fonte de energia renovável, o Brasil tem apresentado crescimento na implantação de energia eólica, com um aumento anual de 15% na capacidade instalada (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE), 2019). Por fim, pela posição tropical, o Brasil tem uma incidência solar constante ao longo de todo o ano, fomentando o desenvolvimento de energia

solar fotovoltaica no país. Essa tecnologia vem sofrendo uma forte redução de custos, e tem o potencial para extinguir 90% das emissões por queima de combustíveis no Brasil, se for destinada à veículos elétricos (SIERRA RODRIGUEZ et al., 2020).

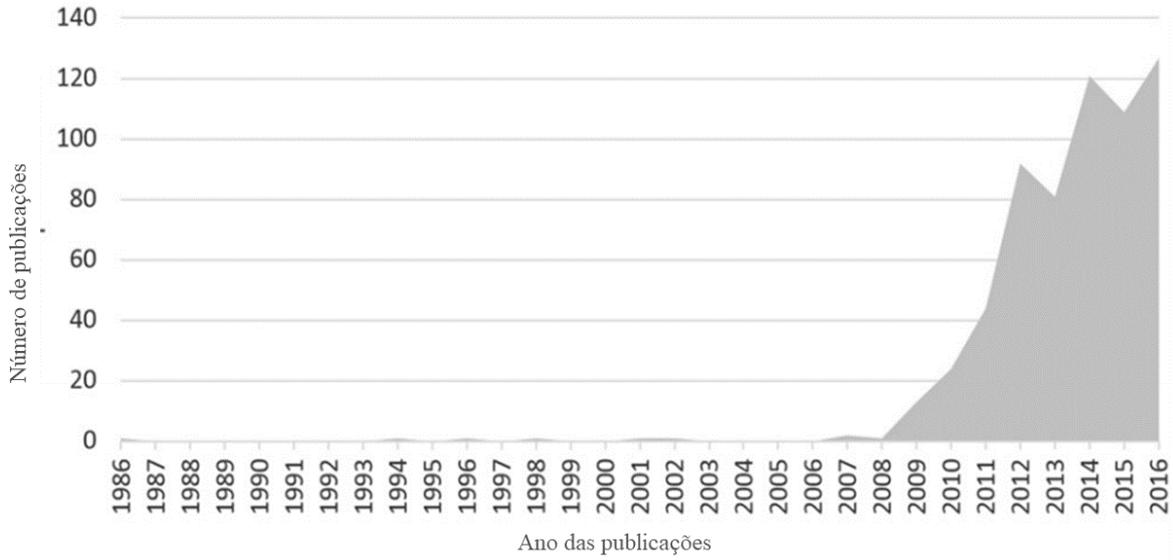
2.1.3 Veículos elétricos e híbridos

Veículos híbridos fazem uso das duas tecnologias simultaneamente, ou seja, são equipados com um motor a combustão juntamente a um motor elétrico. Além de diminuir o consumo de combustível e emissões do veículo, sistemas auxiliares podem ser eletrificados e não fazer uso do MCI com o veículo parado, em eventos de frenagem ou ainda em regiões de rotação onde a eficiência do MCI é intrinsicamente mais baixa.

Embora apresentem uma tecnologia consolidada e em um estado pronto para uso na atual geração, pois apresentam diversos benefícios do veículo elétrico sem abrir mão da confiável tecnologia de MCI, estes veículos são vistos como uma ponte de transição a tecnologias não emissoras de poluentes (SABRI; DANAPALASINGAM; RAHMAT, 2016). Apesar dos benefícios devido ao “melhor dos dois mundos” entre a tecnologia a combustão e elétrica, consumidores geralmente preferem a experiência completa em veículos não poluentes. Isso se traduz em preferências por veículos totalmente elétricos, o que direciona as atenções de montadoras para essa tecnologia (DEMURO, 2019).

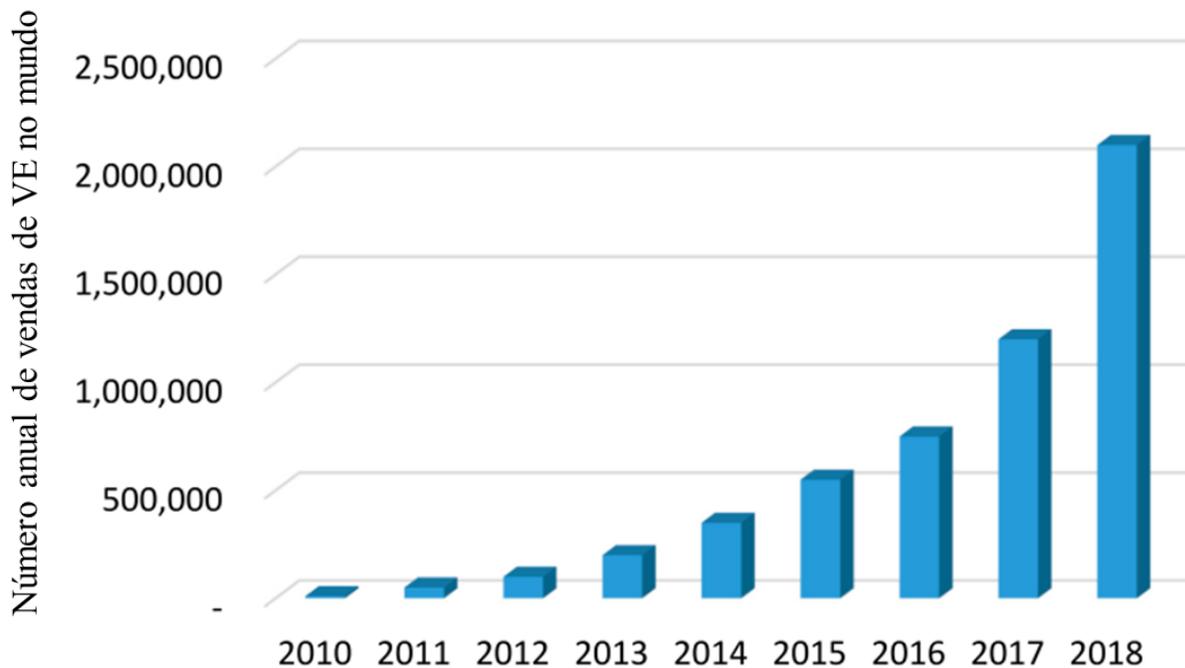
A adoção de veículos elétricos ainda é pequena em números absolutos, porém vem acompanhando os avanços da tecnologia. Na base de dados SCOPUS, as publicações sobre veículos elétricos cresceram mais de 50 vezes nos últimos 10 anos, como mostra a Figura 6. Cada vez mais pesquisadores buscam por soluções e abordam os problemas dos veículos elétricos rumo ao estado em que a tecnologia possa suprir as necessidades dos consumidores. Concomitante com esse incremento nas pesquisas, durante os últimos anos as vendas de veículos elétricos cresceram em um ritmo similar, como mostra a Figura 7, que ilustra apenas as vendas de carros elétricos. Isso pode indicar uma relação entre os avanços da tecnologia e o melhor conhecimento das características destes veículos com a aceitação dos consumidores.

Figura 6 - Número de publicações de palavra-chave “veículo elétrico” na base SCOPUS.



Fonte: Adaptado de (PAGANY; RAMIREZ CAMARGO; DORNER, 2019)

Figura 7 - Vendas de veículos (carros) elétricos nos últimos anos



Fonte: Adaptado de (AYODELE; MUSTAPA, 2020)

Entretanto, ainda há muita desconfiança na adoção de veículos elétricos, principalmente com as limitações que estes ainda trazem. Dificuldades em infraestrutura de postos de carregamento e tempo elevado para carga (FLAMMINI et al., 2019; KWON; SON; JANG, 2020; OU et al., 2020; SCHNEIDERREIT et al., 2015); autonomia consideravelmente menor que

veículos a combustão (HABICH-SOBIEGALLA; KOSTKA; ANZINGER, 2018; LI et al., 2017); e o atual preço que é ainda muito elevado (MASIERO et al., 2017; WANG et al., 2017; ZARAZUA DE RUBENS, 2019) freiam a adoção de veículos elétricos no mercado. Esses fatores causam a visão que veículos elétricos ainda são um trabalho em progresso, gerando uma atitude de “esperar para ver” entre os consumidores (GRAHAM-ROWE et al., 2012; SHE et al., 2017).

De fato, veículos elétricos ainda não parecem preparados para substituir veículos a combustão. Por outra ótica, a rotina de uma vasta parcela da população já consegue ser suprida pelo uso de veículos elétricos, especialmente em pequenos deslocamentos urbanos que são o principal gargalo no consumo de veículos a combustão (SALVO; VAZ DE ALMEIDA, 2019). A maioria dos modelos de veículos elétricos no mercado tem autonomia para suprir o deslocamento diário da maioria dos motoristas (ZARAZUA DE RUBENS, 2019), embora essa utilização para viagens e deslocamentos maiores ainda seja prejudicada pela autonomia e tempo para recarga das baterias. Um fator chave para contornar esse aspecto parece avaliar o mercado pretendido pelo produto, e garantir que este atenda às necessidades específicas deste mercado, com uma proposta condizente com a atual tecnologia de veículos elétricos. O sucesso de tal abordagem passa pela correta abordagem do problema e da sistematização dos atributos do veículo, o que pode ser atingido por meio de uma metodologia de projeto de produtos (FREDDI; SALMON, 2019).

2.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

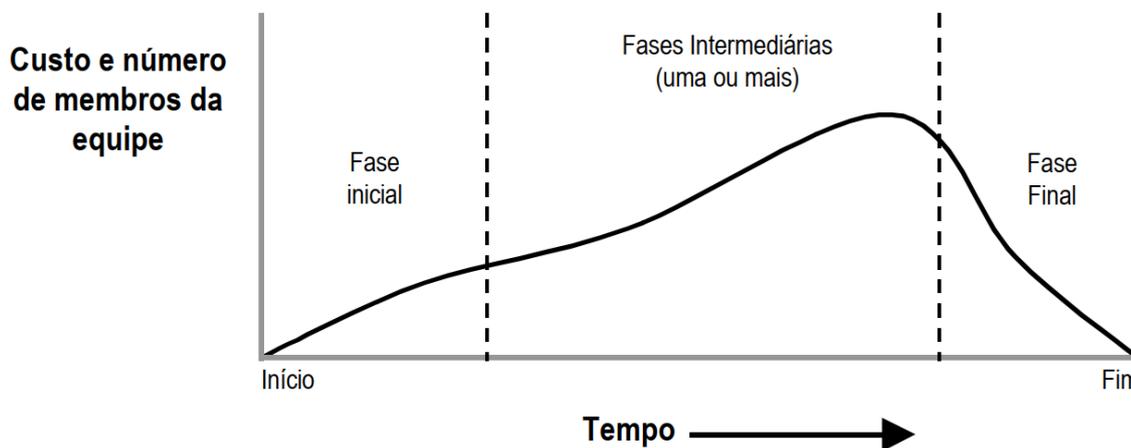
Nessa seção, são apresentados conceitos de desenvolvimento de produtos e abordagens de cálculo para situações de dinâmica veicular.

2.2.1 Metodologia de projeto (*design*) de produtos

A palavra “projeto” pode ser entendida tanto como todas as etapas do desenvolvimento de um produto, ou como o ato do *design* em si. Projeto é definido como um esforço temporário realizado para criar um produto ou serviço único (PMBOK, 2017). Um produto único não necessariamente se refere a uma criação ou produto original, mas também ao redesenho de um produto existente para readaptação a fim de acompanhar mudanças no sistema de produção ou comportamento do mercado (NETO, 1982). Esse tipo de abordagem também é dita como projeto variante (ou *design* variante), com a modificação de tamanho ou leiaute de algo que já existe para a criação de um novo produto (PAHL et al., 2007).

Metodologias de projeto de produtos visam sistematizar as tarefas do processo de projeto de um determinado produto, o que pode unificar as ferramentas de análise corretas e guiar a discussão e as decisões de projeto para uma concepção de sucesso (VERNADAT, 1996). Normalmente, todo o processo é dividido em fases, onde cada fase proporciona um resultado tangível e mensurável (ROMANO, 2003). Ao todo, todas as fases reunidas representam o ciclo de vida do projeto (PMBOK, 2017). A Figura 8 ilustra uma típica curva do ciclo de vida de um projeto, onde pode-se observar um engajamento e custo necessário muito menor em fases iniciais, o que reforça a importância da correta abordagem do problema no início do desenvolvimento.

Figura 8 – Curva do ciclo de vida de um projeto



Fonte: Adaptado de (PMBOK, 2017)

Na literatura, existem diversas abordagens para a metodologia a ser seguida no processo de desenvolvimento de um produto, diferindo pelas tarefas a serem realizadas e pelo número de fases presentes (BACK et al., 2008; PAHL et al., 2007; WHEELWRIGHT; CLARK, 1992). Cada autor defende uma sequência de etapas, enfoques e concentração de esforços distintas. A análise dessas abordagens permite a escolha da melhor aplicabilidade no problema de projeto enfrentado, assim como as alternativas para o desenvolvimento do produto de modo a solucionar o leiaute que atenderá às exigências dos consumidores.

Bonsiepe (1984) apresenta uma proposta de 5 fases para o projeto (*design*) de um produto, com enfoque científico e ênfase na análise e estruturação do problema. As etapas podem ser vistas na Figura 9, onde fica claro a divisão entre a estruturação do problema e o projeto propriamente dito. Por ser tratar de um projeto fechado, não aborda questões

mercadológicas e estratégicas. Essa abordagem valoriza a análise e problematizações do produto, com foco na resolução do processo de design.

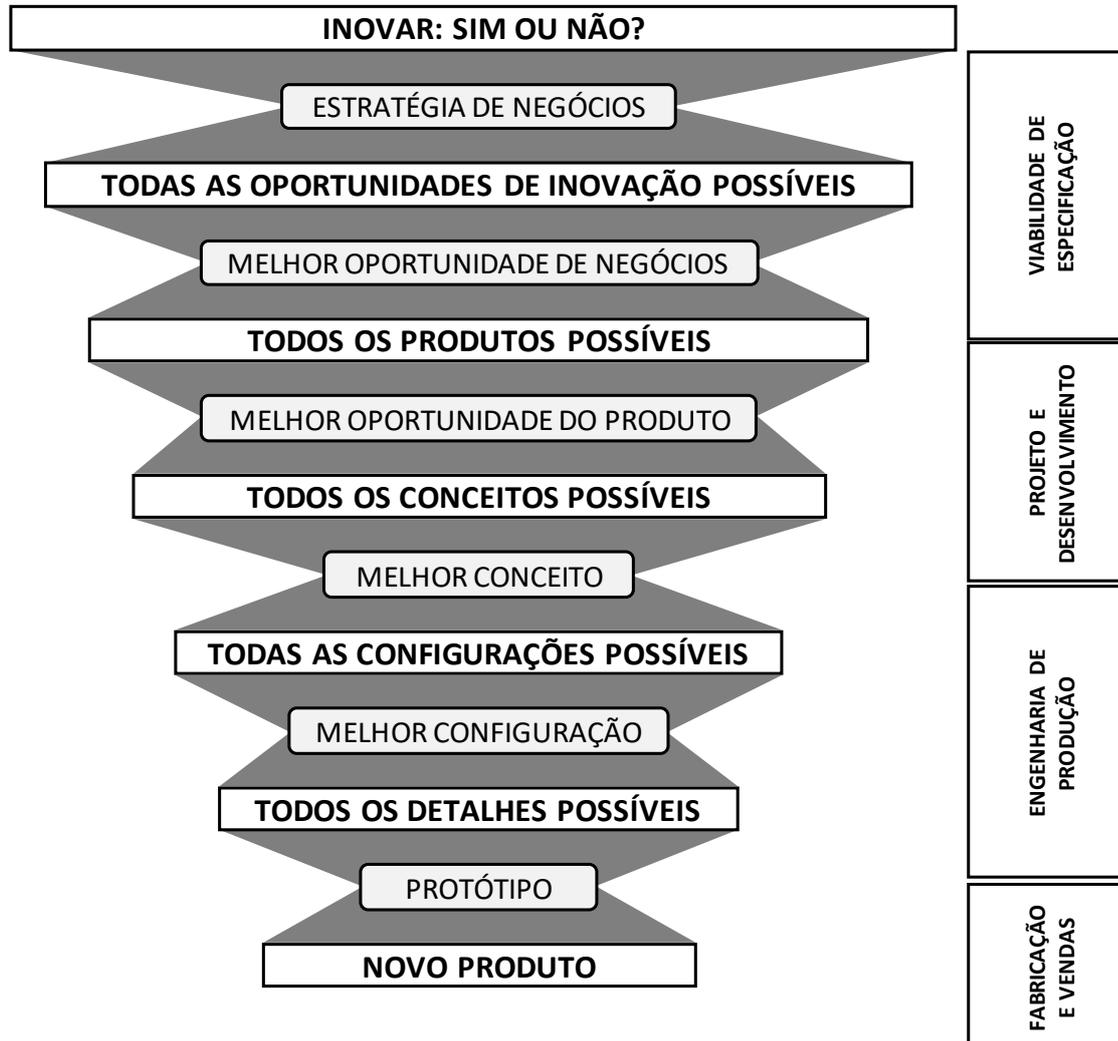
Figura 9 - Metodologia proposta por Bonsiepe (1984)



Fonte: Adaptado de (BONSIEPE; KELLNER; POESSNECKER, 1984)

Baxter (2000) adota um funil de decisões para ilustrar o processo de desenvolvimento, como visto na Figura 10. Esse processo foca na criação de conceitos e concepções alternativas ao produto, onde o problema conceitual é reduzido a seus elementos básicos e analisado por meio de ferramentas específicas com destaque para tomadas de decisão, como painéis iconográficos e análise de valor. Essa abordagem abrange principalmente a visão de negócios e inovação, focando na estratégia da implementação do produto elaborado.

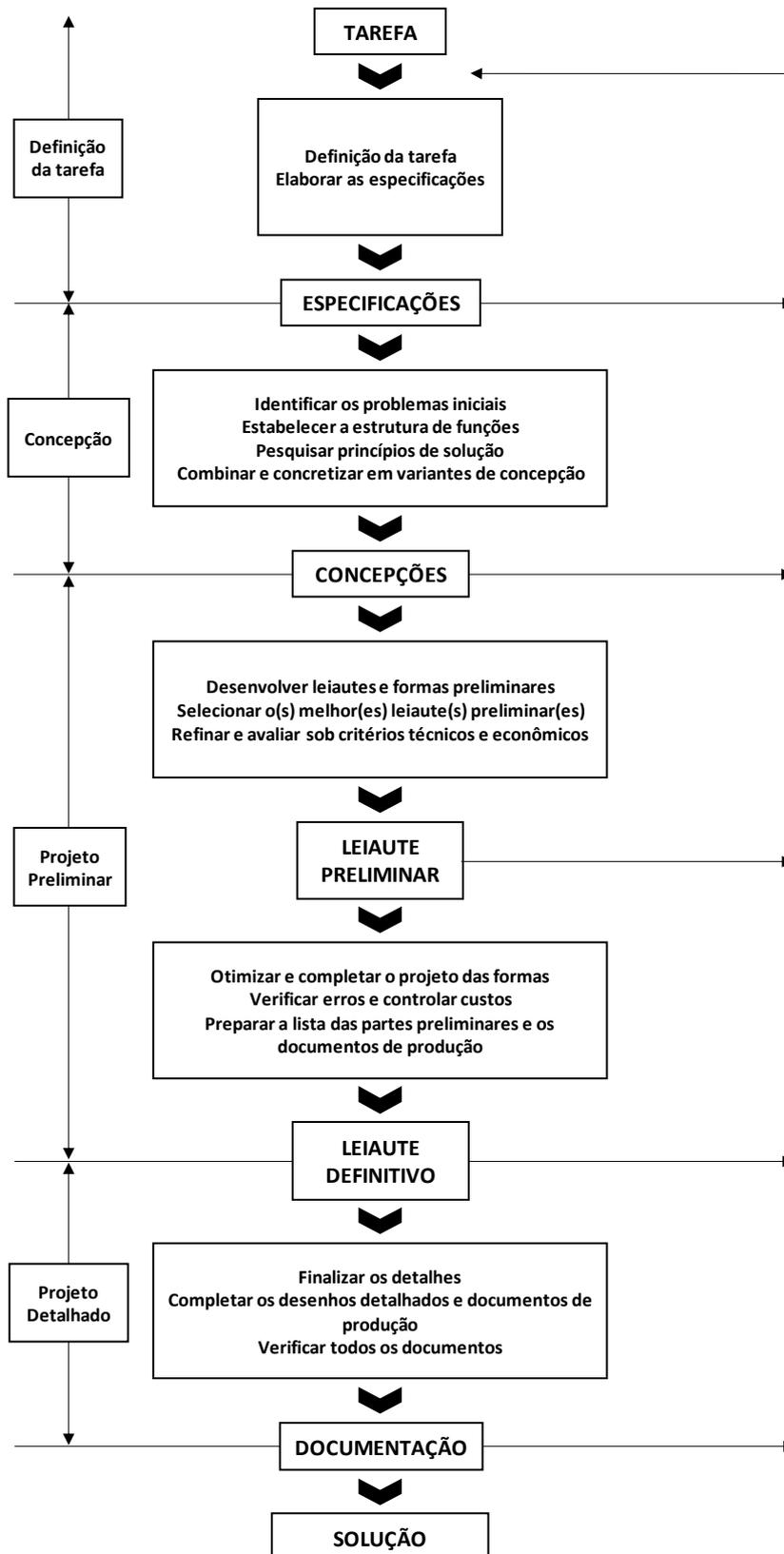
Figura 10 – Metodologia proposta por Baxter (2000)



Fonte: Adaptado de (BAXTER, 2000)

Por sua vez, Pahl e Beitz (2007) estruturam o projeto de produtos em quatro fases: Clarificação das necessidades, Projeto Conceitual, Projeto Preliminar e Projeto Detalhado. O fluxograma da Figura 11 ilustra a sequência projetual proposta pelos autores. Trata-se de uma abordagem mais próxima a problemas de engenharia, tratando de expor o problema e encontrar uma solução de maneira neutra, abrindo mão da experiência pessoal do projetista durante a etapa de concepção.

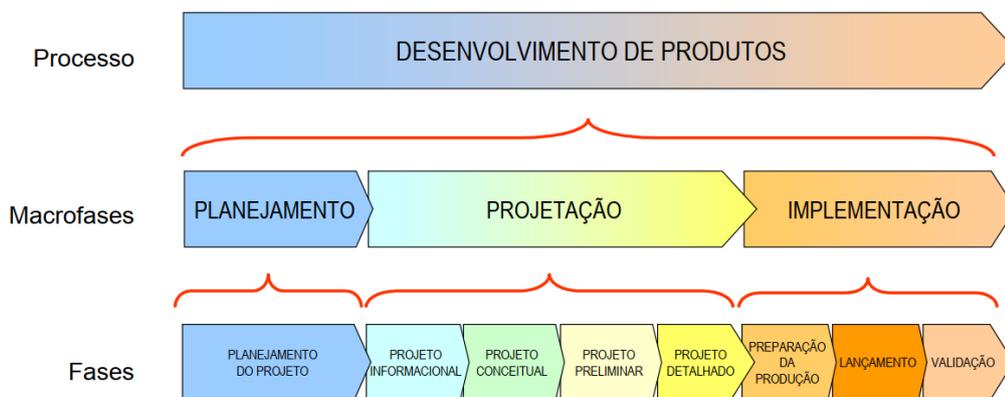
Figura 11 - Metodologia de Pahl e Beitz (2007)



Fonte: Adaptado de (PAHL et al., 2007)

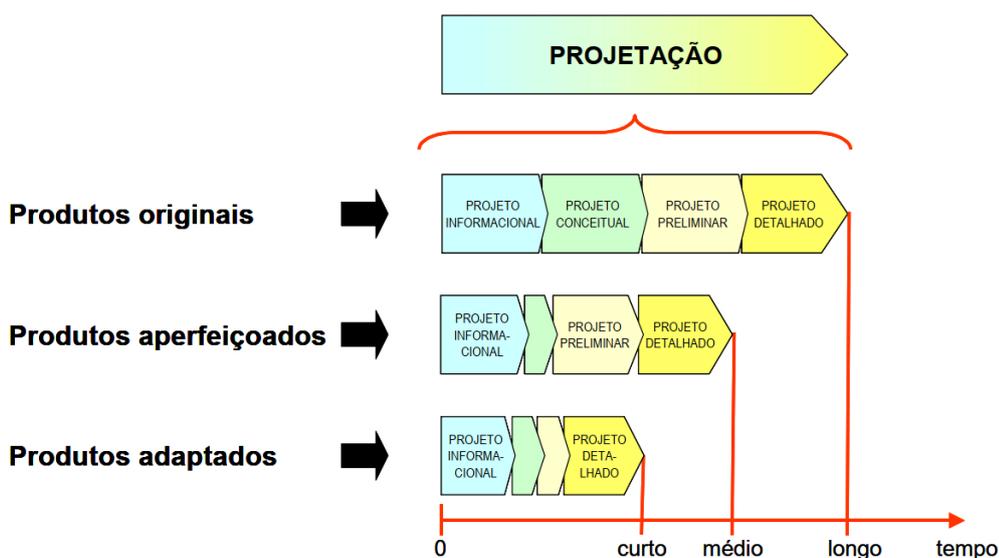
Particularmente, diversas teorias podem ser sintetizadas na concepção de uma metodologia destinada ao projeto do resultado pretendido, o que estimula o estudo de diferentes abordagens ao projeto de produtos. Romano (2003) ressalta que com o uso de um modelo de referência é possível obter maior compreensão do processo, além de manter registros e definir uma base para a tomada de decisões durante o processo, garantindo o fluxo de informações de acordo com a maturidade do projeto. O modelo proposto pelo autor possui as macrofases e fases ilustradas na Figura 12, e a duração de cada fase durante a projeção é referente ao tipo de produto o qual se deseja desenvolver, como mostrado na Figura 13. O modelo é intitulado PDMA – Processo de desenvolvimento de Máquinas Agrícolas.

Figura 12 - Macrofases e fases do PDMA



Fonte: (ROMANO, 2003)

Figura 13 - Tipologia de projeto devido ao tipo de produto



Fonte: (ROMANO, 2003)

Pode-se observar que, para projetos menos inovadores, as partes de projeto informacional e detalhado mantem sua duração devido às necessidades específicas do produto. Enquanto isso, os projetos conceitual e preliminar podem ser reduzidos, por já existirem dados de produtos existentes para análise. O Quadro 1 mostra com mais detalhes a descrição das saídas de cada fase; as principais abordagens de cada fase e quão maduro está o produto ao longo do ciclo de vida.

Quadro 1 - Saídas de cada fase

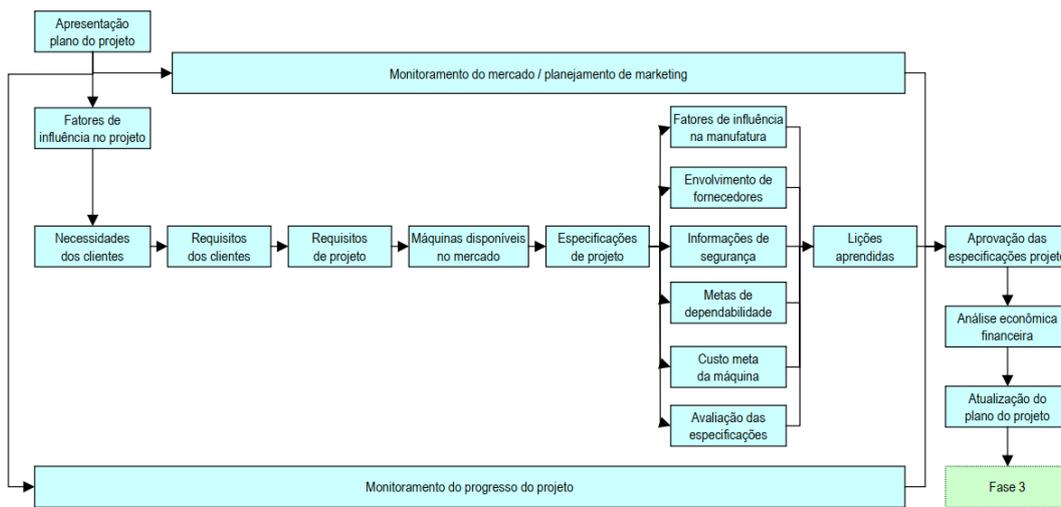
FASE	SAÍDA	DESCRIÇÃO
1 – Planejamento de projeto	Plano do projeto	Documento formal e aprovado, usado para gerenciar e controlar a execução do desenvolvimento da máquina agrícola.
2 – Projeto Informacional	Especificações de projeto	Documento formal e aprovado, que apresenta os objetivos que a máquina deve alcançar, de modo a atender os requisitos dos clientes e/ou usuários. As especificações de projeto são usadas para orientar o desenvolvimento dos projetos conceitual, preliminar e detalhado da máquina agrícola.
3 – Projeto Conceitual	Concepção da máquina agrícola	Documento formal e aprovado, que apresenta a concepção escolhida da máquina (viabilidade técnica), de modo a atender as especificações de projeto e, portanto, os requisitos dos clientes. Usado para orientar o desenvolvimento dos projetos preliminar e detalhado da máquina agrícola.
4 – Projeto Preliminar	Viabilidade econômica	Documento formal e aprovado, usado para determinar a viabilidade econômica de se desenvolver a máquina agrícola.
5 – Projeto Detalhado	Solicitação de investimento	Documento formal e aprovado, usado para descrever e solicitar os investimentos necessários à implementação da produção da máquina agrícola.
6 – Preparação da produção	Liberação do produto	Documento formal e aprovado, usado para descrever e liberar o produto para lançamento.
7 – Lançamento	Liberação do lote inicial	Documento formal e aprovado, usado para liberar o lote inicial produzido para comercialização.
8 – Validação	Validação do projeto	Documento formal e aprovado, usado para validar o projeto e registrar o aceite do resultado do projeto.

Fonte: (ROMANO, 2003)

Especificamente, a etapa de projeção é destinada à elaboração do produto e do plano de manufatura (ROMANO, 2003). Primeiramente, o projeto informacional se dedica a definir as especificações do projeto, com a apresentação do plano do projeto e o levantamento de informações com a equipe, seguindo o fluxograma da Figura 14. As necessidades de clientes são levantadas, para que sejam traduzidas em requisitos de clientes para avaliação. A partir

dessas condições, os requisitos de projeto serão determinados, de modo a ser possível avaliar com métricas de engenharia como atender os requisitos de clientes. Além disso, é possível verificar como produtos disponíveis no mercado atendem os requisitos de projeto determinados. Após a valoração de todos os requisitos, a lista de especificações de projeto é elaborada, de modo a determinar diversas variáveis como influências, custos e metas.

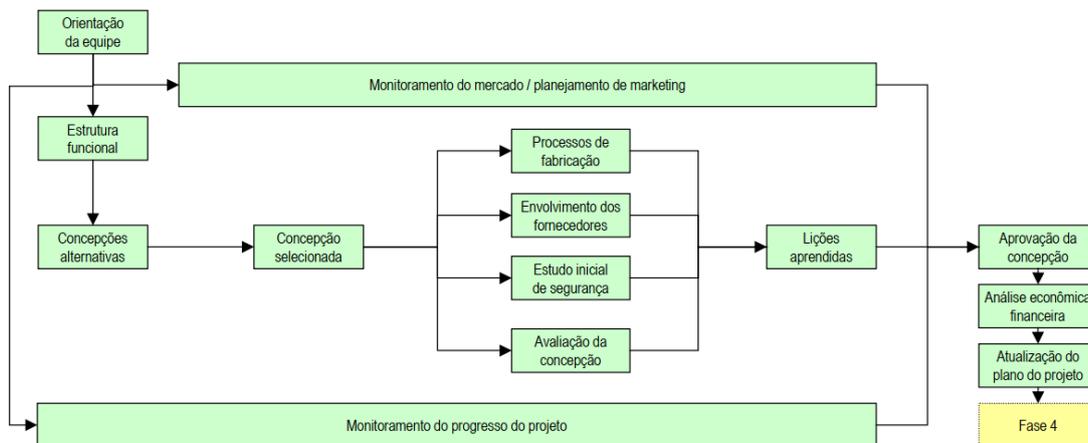
Figura 14 - Fluxograma do projeto informacional



Fonte: (ROMANO, 2003)

As especificações de projeto dão origem ao projeto conceitual, que elabora princípios de solução para atender estas especificações, seguindo o fluxograma da Figura 15.

Figura 15 – Fluxograma do projeto conceitual



Fonte: (ROMANO, 2003)

Para atingir esses objetivos, a estrutura funcional da máquina é desenvolvida, seja com a análise funcional de produtos existentes ou de uma síntese funcional. Com as funções

definidas, é possível elaborar princípios de solução para essas funções, e como estas soluções se comportam em relação às especificações de projeto. Cada concepção desenvolvida é um conjunto de princípios de solução para as funções e subfunções definidas do produto, e a avaliação destas mediante as especificações define a concepção selecionada.

As diferentes abordagens mostradas nessa seção são distintas em seus enfoques, porém de certa forma se complementam e fornecem recursos úteis à aplicação de uma metodologia no projeto conceitual de um veículo elétrico. Assim, foi possível analisar as etapas dentre as mesmas, de modo a obter uma ordem de atividades aplicável ao interesse da pesquisa.

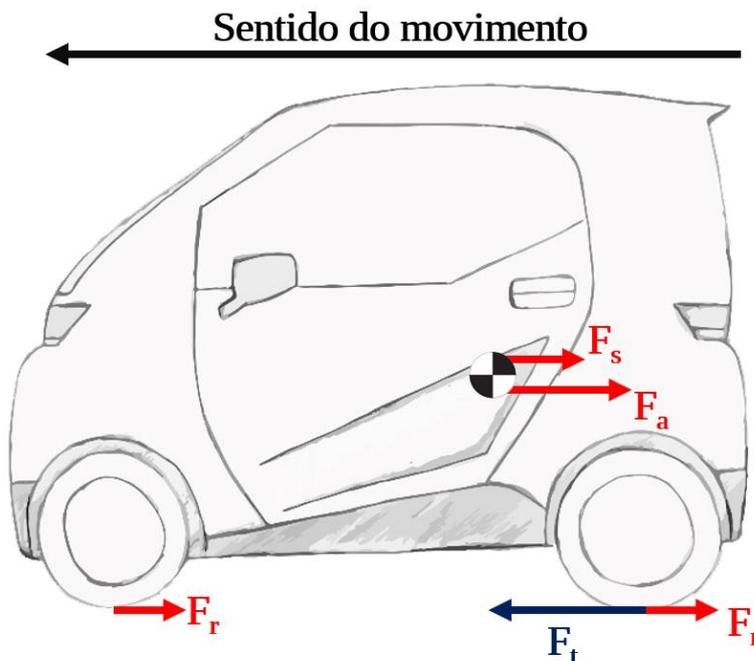
2.2.2 Análises dinâmicas

Nessa seção, são demonstradas as equações e características que regem os cálculos e análises que são realizadas no veículo, após a geração da concepção final.

2.2.2.1 Demanda energética

Um veículo em movimento tem um diagrama de forças como mostra a Figura 16. A força trativa atua em favor do movimento, enquanto forças aerodinâmicas e forças de rolamento atuam em sentido contrário, assim como definidos por (MASHADI; CROLLA, 2012).

Figura 16 - Decomposição de forças atuantes no veículo em movimento



Fonte: Autor

A força total que atua então, pode ser dada como:

$$F_{tot} = F_t + F_s + F_r + F_a \quad (1)$$

Onde:

F_t = Força longitudinal total (N)

F_s = Força de rampa (N)

F_r = Força de rolamento (N)

F_a = Força aerodinâmica (N)

Pela segunda lei de Newton, sabe-se que o somatório de forças resulta na multiplicação da massa pela aceleração, ou seja:

$$m \cdot a = F_s + F_r + F_a \quad (2)$$

Onde “m” é a massa do veículo e “a” a aceleração deste. A força de rampa é dada pelo efeito de um plano inclinado, caso o veículo percorra uma superfície não plana. Ela é definida por:

$$F_s = m \cdot g \cdot \sin \theta \quad (3)$$

Onde “ θ ” é o ângulo do plano inclinado e “g” a aceleração da gravidade. A força de rolamento é dada por:

$$F_r = m \cdot g \cdot C_{rr} \cdot \cos \theta \quad (4)$$

Onde “ C_{rr} ” é um coeficiente de rolamento, dado pelo atrito dos pneus com o tipo de solo que estão em contato. A força de arrasto aerodinâmico por sua vez é dada por:

$$F_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A_f \cdot v^2 \quad (5)$$

Onde “ ρ ” é a densidade do ar, “ C_d ” é o coeficiente de arrasto, “ A_f ” é a área frontal e “v” a velocidade instantânea do veículo. Por fim, a força trativa do veículo dá-se por:

$$F_t = \frac{T_m \cdot i \cdot \eta}{r_w} \quad (6)$$

Onde “ T_m ” é o torque instantâneo do motor, “ i ” a relação de transmissão, “ η ” a eficiência do sistema e “ r_w ” o raio dinâmico do pneu. Ao rearranjar a Equação (1), tem-se o cálculo final da aceleração instantânea do veículo.

$$a = \frac{1}{m} \left[\left(\frac{T_m \cdot i \cdot \eta}{r_w} \right) - \left((m \cdot g \cdot \sin \theta) + (F_r = m \cdot g \cdot C_{rr} \cdot \cos \theta) + \left(\frac{\rho \cdot C_d \cdot A_f \cdot v^2}{2} \right) \right) \right] \quad (7)$$

A velocidade instantânea pode ser calculada pela integral da Equação (7):

$$v = \frac{1}{m} \int \left\{ \left(\frac{T_m \cdot i \cdot \eta}{r_w} \right) - \left((m \cdot g \cdot \sin \theta) + (F_r = m \cdot g \cdot C_{rr} \cdot \cos \theta) + \left(\frac{\rho \cdot C_d \cdot A_f \cdot v^2}{2} \right) \right) \right\} \quad (8)$$

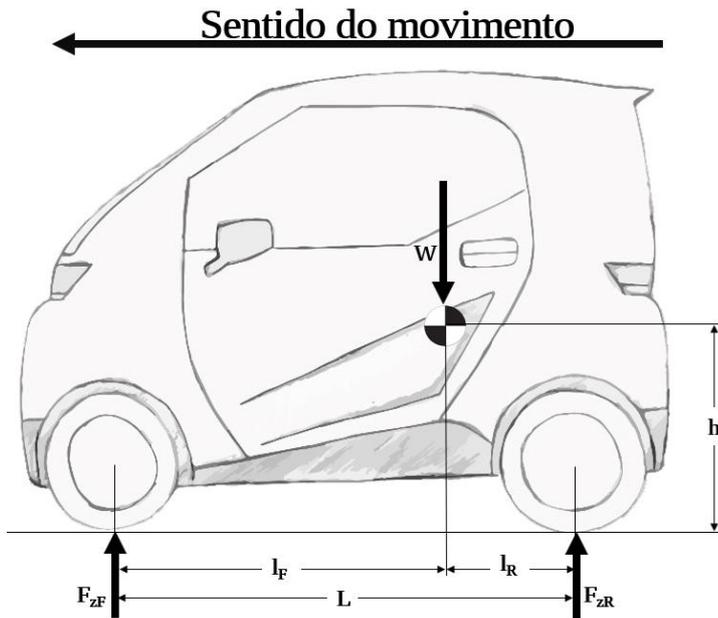
O modelo é criado para que possa calcular a cada instante de tempo a aceleração e a velocidade do veículo, atualizando o torque transmitido do motor de acordo com essas condições (MASHADI; CROLLA, 2012).

2.2.2.2 Análise de frenagem

A metodologia de cálculo utilizada é seguindo a proposta por Limpert (2011). A análise é iniciada com a verificação da carga normal em cada eixo com o veículo estático, como visto na Figura 17, onde “ L ” é a distância entre eixos, “ l_F ” a distância do CG ao eixo dianteiro; “ l_R ” a distância do CG ao eixo traseiro; “ F_{zF} ” a força normal no eixo frontal; “ F_{zR} ” a força normal no eixo traseiro e “ W ” o peso total do veículo.

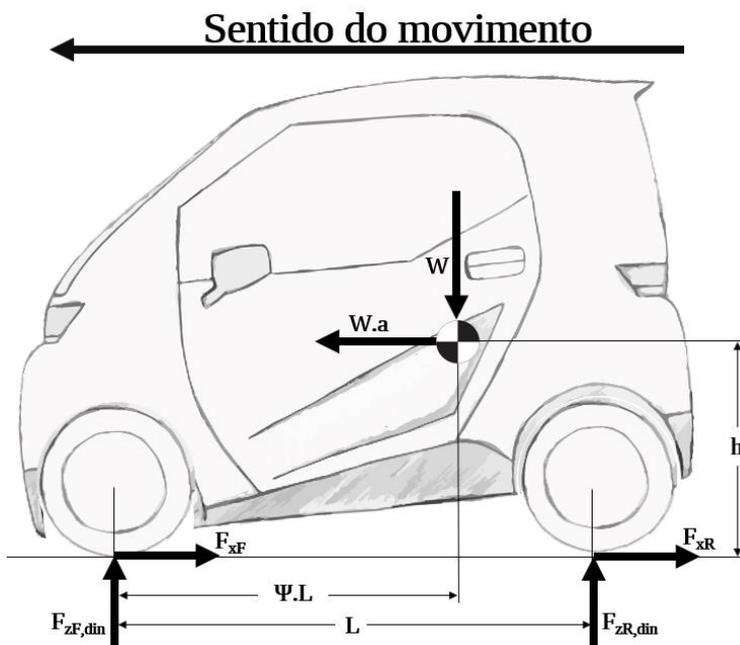
Nos eventos de frenagem, a tendência do veículo é de continuar em movimento, o que faz com que ocorra uma transferência de carga do eixo traseiro para o eixo dianteiro. Isso é dito como uma distribuição dinâmica de cargas, como ilustrado na Figura 18, onde a relação entre as distâncias dos eixos ao CG é dada por “ ψ ”, que denota o percentual de massa estática no eixo traseiro em relação ao eixo dianteiro.

Figura 17 - Forças estáticas no veículo



Fonte: Adaptado de (LIMPERT, 2011)

Figura 18 - Forças atuantes na frenagem



Fonte: Adaptado de (LIMPERT, 2011)

Ao aplicar o balanço de momentos no ponto de contato do eixo traseiro com o solo, a força dinâmica " $F_{zF,din}$ " pode ser dada como:

$$F_{zF,din} = (1 - \psi + \chi a)W \quad (9)$$

Onde “a” é a desaceleração em g e χ a representação da altura “h” do centro de gravidade dividido pela distância entre eixos “L”. De forma análoga, a força dinâmica traseira é dada por:

$$F_{zR,din} = (\psi - \chi a)W \quad (10)$$

Pode-se perceber a relação das forças dinâmicas de acordo com a desaceleração presente no veículo. A desaceleração que o veículo pode desempenhar é diretamente relacionada com o atrito dos pneus com o solo e a sua capacidade de manter a aderência, sem que ocorra o travamento das rodas. A força de frenagem em cada eixo, então é dada por:

$$F_{xF} = (1 - \psi + \chi a)W \cdot \mu_{TF} \quad (11)$$

$$F_{xR} = (\psi - \chi a)W \cdot \mu_{TR} \quad (12)$$

Onde “ F_{xF} ” é a força no eixo dianteiro, “ F_{xR} ” a força de frenagem no eixo traseiro, “ μ_{TF} ” o coeficiente de atrito no eixo dianteiro e “ μ_{TR} ” o coeficiente de atrito no eixo traseiro. Em uma situação de frenagem em linha reta, onde não existem forças laterais nos pneus, a situação de frenagem ótima (não ideal, mas ótima) é alcançada quando ambos coeficientes de atrito são iguais, e também iguais a desaceleração atingida. Isso mostra que as forças de frenagem em cada eixo são:

$$F_{xF,opt} = (1 - \psi + \chi a)a \cdot W \quad (13)$$

$$F_{xR,opt} = (\psi - \chi a)a \cdot W \quad (14)$$

Onde “ $F_{xF,opt}$ ” e “ $F_{xR,opt}$ ” são as forças ótimas de frenagem no eixo dianteiro e traseiro, respectivamente. O sistema de freio deve ser capaz de exercer essas forças na frenagem. Para um veículo com freios a disco e acionamento hidráulico, a força aplicada pelo condutor no pedal pode ser traduzida como força de frenagem aplicada da seguinte maneira:

$$F_b = 2 \cdot p \cdot A_{wc} \cdot \eta_c \cdot BF \cdot \left(\frac{r_d}{r_w} \right) \quad (15)$$

Onde “ A_{wc} ” é a área do êmbolo da pinça de freio; “ η_c ” a eficiência do sistema da pinça de freio; “ r_d ” o raio efetivo do disco (onde é aplicado o centro da pressão da pastilha de freio); “BF” o fator de frenagem e “p” a pressão dentro das linhas de freio. Segundo Limpert (2011), a eficiência é em torno de 0,98 para freios à disco; e o BF pode ser dado como o dobro do

coeficiente de atrito das pastilhas de freio, que geralmente são entre 0,35 e 0,45. A pressão na linha pode ser dada como:

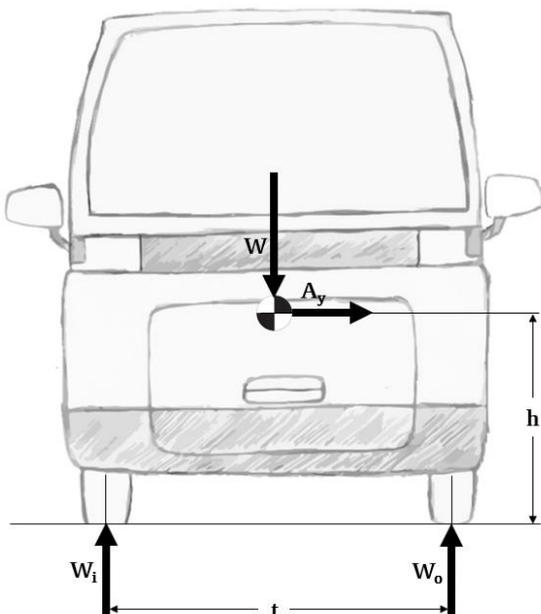
$$p = \frac{F_p \cdot l_p \cdot \eta_p}{A_{mc}} \quad (16)$$

Onde “ F_p ” é a força aplicada no pedal, “ l_p ” a alavanca do pedal, “ η_p ” a eficiência de alavanca e “ A_{mc} ” a área do êmbolo do cilindro mestre. É importante lembrar que o sistema ABS é obrigatório ao veículo de acordo com a legislação, mas esse fator não será considerado na análise preliminar.

2.2.2.3 Curvas

Ao executar uma curva, a massa do veículo é transferida para o lado oposto, aumentando a carga nos pneus externos e diminuindo nos pneus internos. A estabilidade do veículo está ligada à força exercida pelos pneus contrária ao movimento de rolagem (GILLESPIE, 1992). Essa força é dependente da própria carga normal que é depositada nestes. Os mecanismos de transferência de carga lateral e seus carregamentos podem ser vistos na Figura 19, onde “ W_i ” é o carregamento na roda interna; “ W_o ” o carregamento na roda externa e “ A_y ” a aceleração lateral em m/s^2 .

Figura 19 – Forças atuantes em curva



Fonte: Adaptado de (MILLIKEN; MILLIKEN, 1995)

Tomando como referência o ponto de contato da roda externa com o solo, tem-se no somatório de momentos:

$$W_i \cdot t = W \left(\frac{t}{2} \right) + W \cdot A_y \cdot h \quad (17)$$

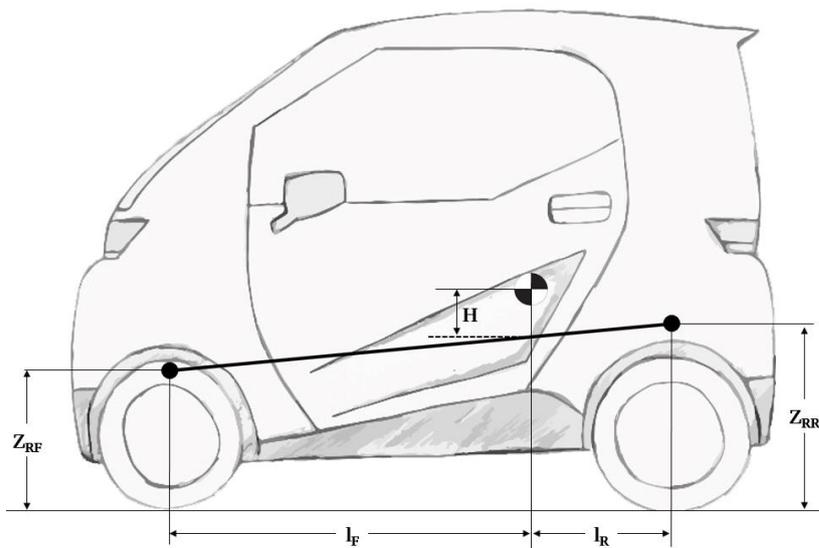
O que pode ser escrito como

$$W_i = \frac{W}{2} + \frac{W \cdot A_y \cdot h}{t} \quad (18)$$

A Equação (18) mostra que o segundo termo é a transferência total de carga lateral, dada uma aceleração A_y . No entanto, isso é uma abordagem generalista que não compreende o comportamento nos quatro pneus do veículo. Isso ainda pode ser realizado, ao se avaliar os parâmetros de aplicação das forças do sistema de suspensão, como ilustrado na Figura 20.

As forças atuantes na carroceria do veículo, como aceleração lateral e peso, são aplicados diretamente no CG do mesmo. Entretanto, durante uma manobra de curva, as forças do sistema de suspensão reagem à carroceria em pontos denominados centros de rolagem. Existe um centro de rolagem da suspensão dianteira e um centro de rolagem da suspensão traseira, os quais são conectados pelo eixo de rolagem, também dito como “eixo neutro”.

Figura 20 - Geometrias de transferência de carga lateral



Fonte: Adaptado de (MILLIKEN; MILLIKEN, 1995)

Na Figura 20, “ Z_{RF} ” é a altura do centro de rolagem dianteiro; “ Z_{RR} ” a altura do centro de rolagem traseiro e “ H ” a altura do centro de gravidade em relação ao eixo de rolagem medida perpendicular ao solo. Essas medidas são importantes pois é em torno deste eixo neutro no qual o veículo terá seus movimentos de rolagem. Quanto maior a distância dos centros de rolagem até o centro de gravidade do veículo, maior será o momento transferido e mais o veículo sofrerá rolagem.

Para o cálculo das transferências de carga, considera-se o veículo como um corpo de massa única, sem distinguir entre massa suspensa (carroceria) e não suspensa (rodas e pneus). Ao considerar como referência o ponto onde o CG é projetado no eixo de rolagem, um momento “ M_c ” é induzido pela aceleração lateral com magnitude:

$$M_c = -W \cdot A_y \cdot H \quad (19)$$

Esse momento de aceleração lateral induz um ângulo de rolagem na carroceria, ou seja, um movimento rotacional em torno do eixo de rolagem. A rigidez à rolagem e o próprio ângulo de rolagem “ Φ ” da carroceria formam o momento de rolagem:

$$M_{rol} = (K_F + K_R) \phi \quad (20)$$

Onde “ K_F ” é a rigidez à rolagem dianteira e “ K_R ” a rigidez à rolagem traseira. O momento de rolagem pode ser igualado ao momento de aceleração lateral, o que induz:

$$\frac{\phi}{A_y} = \frac{-W \cdot H}{K_F + K_R} \quad (21)$$

A relação da Equação (21) pode ser expressa como “ K_Φ ”, também chamada de sensibilidade à rolagem. Isso indica quantos graus de rolagem serão induzidos na carroceria de acordo com a aceleração lateral presente. Ainda, o momento de aceleração lateral “ M_c ” pode ser dividido de modo a explicitar os efeitos individuais de cada centro de rolagem e das rigidezes à rolagem. Isso deve ser realizado considerando a rigidez à rolagem relativa de cada eixo, assim como relação de proximidade ao centro de gravidade. Manejando matematicamente as forças atuantes, pode-se obter para o eixo dianteiro:

$$\Delta W_F \cdot t_F = W \cdot A_y \left[\frac{H \cdot K_F}{K_F + K_R} + \frac{l_R}{L} Z_{RF} \right] \quad (22)$$

O procedimento é idêntico para o eixo traseiro. Com isso, reduzem-se às transferências de carga em cada eixo de acordo com a aceleração:

$$\frac{\Delta W_F}{A_y} = \frac{W}{t_F} \left[\frac{H \cdot K_F}{K_F + K_R} + \frac{l_R}{L} Z_{RF} \right] \quad (23)$$

$$\frac{\Delta W_R}{A_y} = \frac{W}{t_R} \left[\frac{H \cdot K_R}{K_F + K_R} + \frac{l_F}{L} Z_{RR} \right] \quad (24)$$

Com as Equações (23) e (24), pode-se determinar as transferências de cargas laterais mediante uma aceleração lateral, em um regime não transiente, e sem acelerações longitudinais. Os valores encontrados a partir das relações encontradas em situações normais de trânsito dão o aval ou não para as dimensões estimadas e parâmetros preliminares do sistema de suspensão. Considerando uma curva de raio constante, sem aceleração longitudinal, a aceleração do veículo pode ser dada por:

$$A_y = \frac{v^2}{R_c \cdot g} \quad (25)$$

Ou seja, a aceleração lateral é dependente da velocidade do veículo e do raio de curva “ R_c ” que este irá percorrer. Pode-se elaborar algumas situações de trânsito para que se avalie como a transferência de carga do veículo está atuando e verificar a força nos pneus internos à curva. Se a carga nestes se aproximar de zero, o veículo está no limiar da tendência ao capotamento (GILLESPIE, 1992).

Com isso, é encerrada a revisão do panorama atual e dos conceitos e teorias necessários ao desenvolvimento do projeto. O desenvolvimento será realizado com base nas metodologias propostas, adaptando-as aos interesses deste desenvolvimento em específico e considerando um desenvolvimento acadêmico. Por fim, ao ter a proposta de concepção final, os cálculos vistos nessa seção serão aplicados com as propriedades estimadas do veículo, de modo a atestar sua viabilidade para uma possível continuação do seu processo de desenvolvimento.

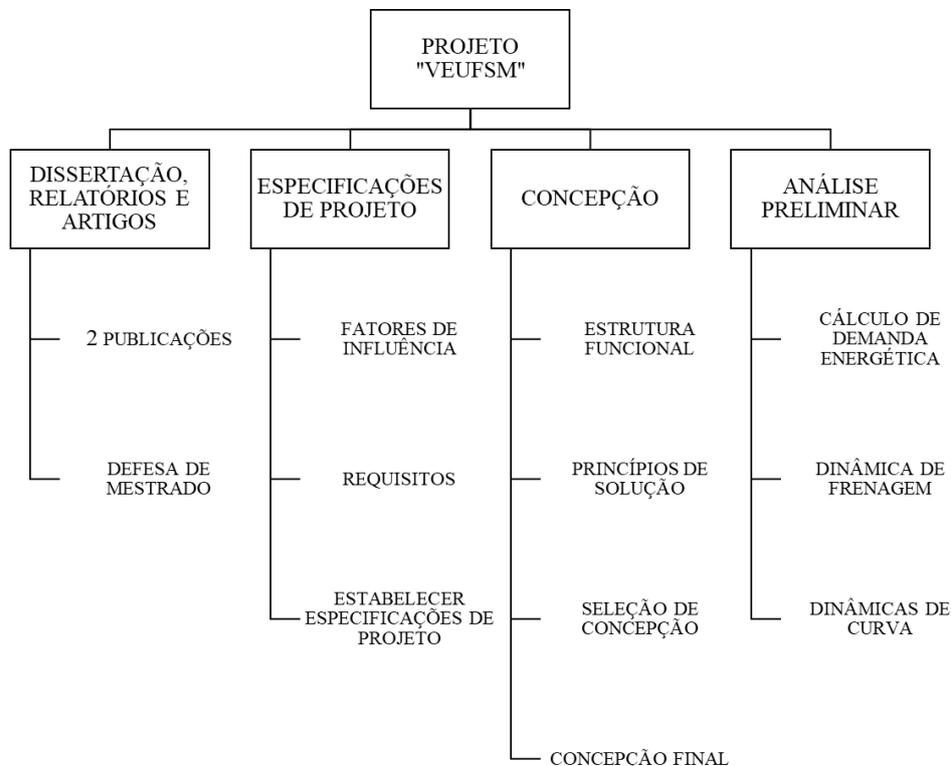
3 METODOLOGIA

A metodologia do PDMA vista em (ROMANO, 2003) foi adaptada para as necessidades e objetivos do presente trabalho. Como se trata de um desenvolvimento tecnológico para fins acadêmicos, várias etapas que se referem ao marketing externo do produto e da comunicação interna entre os setores da empresa foram simplificadas e/ou desconsideradas.

3.1 DETERMINAÇÃO DO ESCOPO

A definição do escopo da pesquisa passa pela estrutura de desdobramento do trabalho (EDT) definida por (BACK et al., 2008), visando as saídas desejadas para a conclusão do projeto. O projeto é denominado “VEUFMSM”, fazendo uma referência ao veículo elétrico desenvolvido dentro da instituição. As entregas, ou pacotes de trabalho, que foram originalmente estipuladas podem ser vistas na Figura 21. A EDT abrange todo o desenvolvimento da pesquisa, trazendo as entregas necessárias ao desenvolvimento do veículo, mas também as entregas necessárias para a conclusão com êxito do curso de mestrado do autor.

Figura 21 - EDT do projeto VEUFMSM

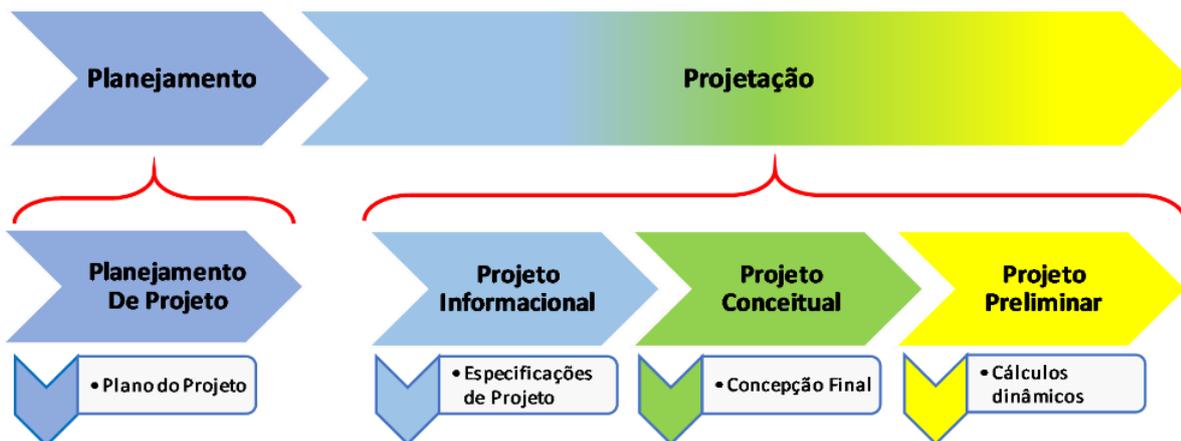


Fonte: Autor

As entregas foram determinadas com foco na busca por potenciais soluções que veículos elétricos possam apresentar ao mercado brasileiro, identificando falhas e possíveis melhorias em relação aos modelos do mercado. A intenção das etapas de projeto compreendidas no trabalho é determinar de forma crítica as especificações de projeto e as concepções para o veículo, de modo que atenda às necessidades de clientes que serão levantadas com base no mercado nacional.

Utilizando as saídas definidas como necessárias para o sucesso do trabalho, pode-se alocar estas na metodologia proposta no PDMA, de modo a estruturar a base para a avaliação e conclusão do trabalho. Isso resultou no planejamento descrito na Figura 22, que ilustra as macrofases, fases e saídas de cada fase que será abordada.

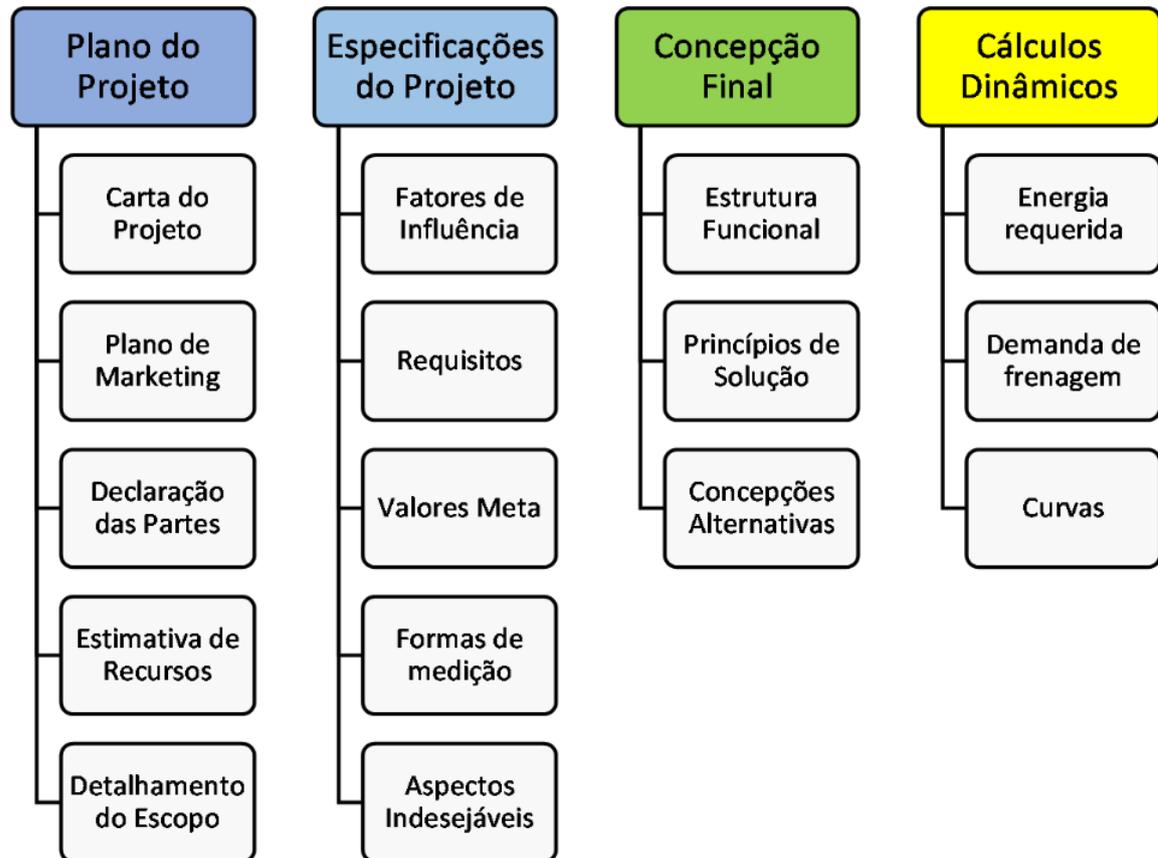
Figura 22 - Macrofases e fases do projeto VEUFMS



Fonte: Autor

Para que se atinjam as saídas propostas, são definidas atividades chave para a conclusão das saídas de cada fase. Essas atividades podem ser vistas na Figura 23. Vale ressaltar que a metodologia proposta pode ser aplicada em qualquer desenvolvimento, especialmente aqueles que buscam propor a concepção de um veículo independentemente do tipo de propulsão. Para trabalhos que pretendem avançar no desenvolvimento, deve-se incorporar as fases de projeto detalhado e complementar o projeto preliminar da metodologia aqui proposta.

Figura 23 - Atividades chave para cada saída das fases



Fonte: Autor

Além do foco já mencionado na correta abordagem do problema para avaliação dos requisitos de cliente e da concepção do produto, saídas que estimem os componentes do veículo e seu comportamento dinâmico são estipuladas para que norteiem uma futura abordagem do projeto visando a produção do veículo. Além disso, elas são necessárias para a verificação da viabilidade das especificações de projeto e das concepções selecionadas.

Com a metodologia definida, pôde-se dar início às atividades do desenvolvimento do veículo elétrico. No próximo capítulo, a etapa de projeção foi abordada, onde os resultados do projeto preliminar e conceitual são explanados, além de mostrar os resultados e panoramas da dinâmica veicular do conceito de veículo proposto. Pelo fato de o plano do projeto ser uma proposta acadêmica, onde foram abordadas desde as disciplinas cursadas pelo autor deste trabalho até reuniões com professores, ela não é apresentada neste documento. O cronograma e planejamento inicial da pesquisa pode ser conferido no ANEXO A.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, são apresentados os resultados obtidos com base na metodologia proposta, e a discussão acerca da contribuição destes para o resultado final do trabalho.

4.1 PROJETO INFORMACIONAL

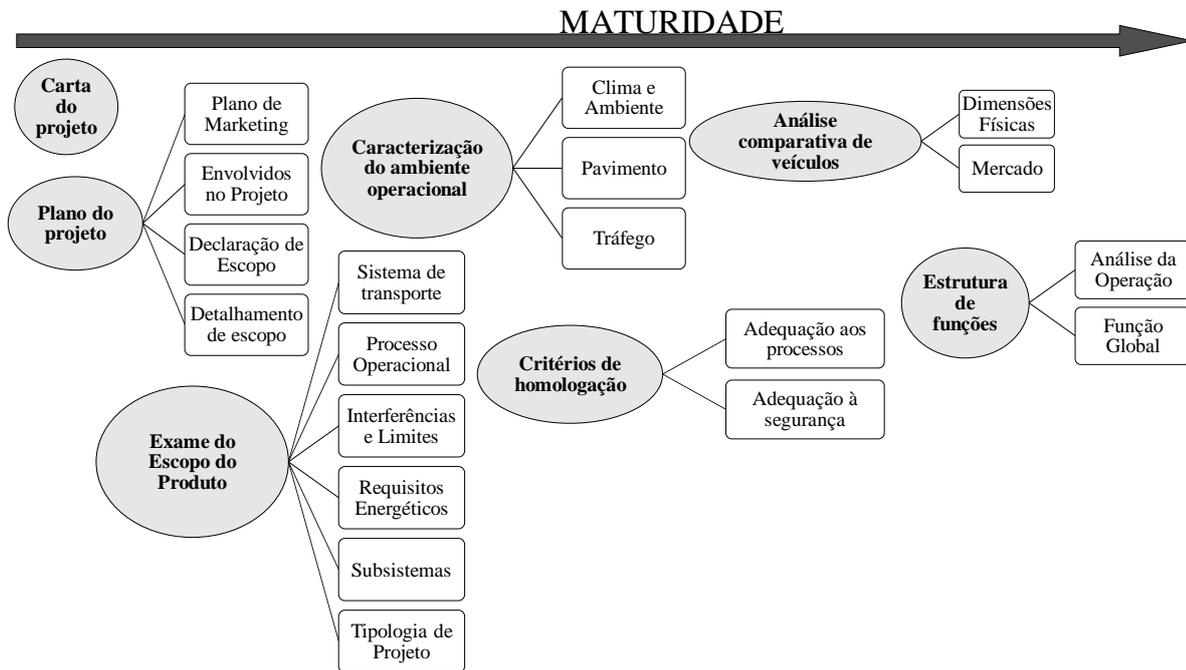
O projeto informacional aborda o levantamento das informações da tecnologia e do mercado, de modo a determinar os requisitos de clientes. Estes requisitos devem ser avaliados e traduzidos como requisitos de projeto, que são mensuráveis por métricas de engenharia. Por fim, após a valoração destes requisitos, tem-se como saída as especificações de projeto.

4.1.1 Fatores de Influência

A determinação dos fatores de influência é importante para o levantamento do que pode influir a definição das especificações de projeto do produto em desenvolvimento. Isso significa conhecer além de requisitos derivados das necessidades dos clientes, mas também as propriedades dos elementos do ciclo de vida que influenciam no alcance dos objetivos do projeto (MARINI, 2007). Fatores de influência são definidos como elementos os quais a análise fundamenta bases seguras para a realização de ações e tomadas de decisão na fase de projeção (ROMANO, 2003).

Marini (2007) propôs uma sistematização dos fatores de influência, e estudou essa organização nos fatores de influência de um distribuidor de fertilizantes. Hausen (2011) utilizou desta metodologia para o levantamento de fatores de influência de um motor a etanol para uma aeronave agrícola. A análise destes trabalhos estimula a aplicação da mesma abordagem na determinação dos fatores de influência do VEFUSM (Veículo Elétrico da Universidade Federal de Santa Maria), de modo a mapear as categorias e classes de informações. A modelagem das classes é proposta em seis conjuntos dependentes entre si, se referindo desde as entradas de informações e componentes dos fatores de influência até a estrutura de funções. Suas classes são definidas de acordo com o desdobramento do projeto em especificações e sistemas técnicos; assim como caracterizando a modelagem de informação em métricas de projeto e estruturas de funções (MARINI, 2007). A aplicação desses desdobramentos e da adaptação de metodologia de Marini (2007) em um veículo elétrico resulta no mapa ilustrado na Figura 24.

Figura 24 - Mapa das categorias e classe de informações



Fonte: Autor

4.1.1.1 Exame do escopo

Com as classes definidas, pode-se buscar pelas informações que compõe cada classe e que guiaram a determinação das especificações de projeto. Como a carta de abertura do projeto e o plano já foram discutidos na etapa de planejamento, estes também não são abrangidos no documento por tratar-se da proposta de trabalho ao curso, então se passa à análise do escopo do produto, que visa abordar os elementos que se relacionam a tarefa a qual pretende-se utilizar o veículo elétrico. As modelagens utilizam da revisão bibliográfica e buscas específicas dos fatores de interesse, como pode ser visto no Quadro 2.

Assim, o sistema de transporte pretendido para o veículo elétrico está definido. Logo, pode-se avaliar os fatores de influência de seu processo operacional, como ilustrado no Quadro 3, onde é realizada uma análise de forma mais sistêmica do funcionamento do veículo elétrico, e os insumos que serão processados para este fim. O veículo elétrico converte energia elétrica em energia mecânica necessária ao movimento e, conseqüentemente, ao transporte de pessoas ou cargas. Demais características do veículo serão designados pela resolução 273/2015 do CONTRAN, onde hoje no Brasil apenas se enquadra o Renault *Twizy*, um veículo elétrico biposto. Ainda, fluidos hidráulicos podem ser processados para multiplicação de forças no processo de frenagem ou de mudança de direção.

Quadro 2 - Sistema de transporte do veículo elétrico

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Sistema De Transporte	Mercados Pretendidos: Brasil	Região Sul	Todos os estados de cada região
		Região Sudeste	
		Região Centro-Oeste	
		Região Nordeste	
		Região Norte	
	Operação Executada	Individual	Transporte de passageiros
		Logística	Transporte de pequenas cargas
	Época de Operação	Inverno	Em todas as estações há possibilidade de utilização
		Primavera	
		Verão	
Outono			

Fonte: Autor

Quadro 3 - Processo operacional do veículo elétrico

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Processo Operacional	Designação	Quadriciclo elétrico, com cabine fechada e quatro rodas	Resolução CONTRAN 273/2015
	Elementos Processados	Energia Elétrica	Elementos Fundamentais para o funcionamento do veículo e suas principais funções
		Fluidos Hidráulicos	
	Situação Física	Energia Elétrica é convertida em energia mecânica	Energia elétrica é convertida em energia mecânica; fluídos hidráulicos são deslocados para realização de funções como mudança de direção e frenagem
		Fluidos Hidráulicos são comprimidos e deslocados	
	Necessidade de Execução	Geração de energia para propulsão do automóvel	O veículo converte a energia elétrica em mecânica para propulsionar as rodas
		Controle direcional e de frenagem	Pelo trabalho exercido no fluido há movimentação de mecanismos
	Descrição do Processo	A energia elétrica é armazenada nas baterias que estão no chassi, e os fluidos são armazenados em suas linhas e reservatórios	Funcionamento regular do veículo com controle de velocidade, redução de velocidade e direção de movimento
		A energia elétrica é convertida em mecânica nos motores elétricos, que movimentarão as rodas. Os fluidos hidráulicos estão em seus compartimentos para movimentar elementos de controle	
	Resultado esperado	Veículo em movimento	Veículo em movimento sob os comandos do condutor

Fonte: Autor

As interferências e limites do projeto do veículo foram modelados e resultam no Quadro 4, que aborda situações que possivelmente possam alterar a execução da função principal do veículo. Foram definidos elementos desde fatores de controle, até elementos ambientais e riscos de funcionamento que implicariam na não execução das tarefas.

Com isso, é possível prosseguir para a análise de requisitos energéticos, como mostra o Quadro 5. Neste, são trazidas informações importantes em relação à energia necessária para o veículo elétrico e o cumprimento da função deste. A avaliação passa desde a autonomia da operação, ou seja, se o veículo é capaz de operar sozinho, até as fontes de energia e as conversões e acoplamentos da linha de transmissão. Isso fornece a ideia do fluxo de energia para as funções do veículo e quais elementos são necessários para proporcionar esse caminho.

Quadro 4 - Interferências e Limites

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Interferências e Limites	Elementos Operadores	Ser humano	Controle e monitoramento do funcionamento e estado do veículo, desde a partida, operação e desligamento.
		Sistemas de Informação e controle	Efetuar o monitoramento dos parâmetros pré-estabelecidos para o correto funcionamento do veículo.
			Informar as condições de funcionamento do veículo ao condutor
	Elementos Ambientais	Temperatura	Temperatura externa de utilização
		Pluviosidade	Chuvas externas na região de utilização
		Salinidade	Salinidade em regiões próximas ao mar
		Pista de Operação	Asfalto
			Concreto
			Terra
	Britas e cascalhos		
	Época do Ano	Verão	Operações possíveis em todas as épocas do ano, sob condições meteorológicas adversas.
		Inverno	
		Outono	
		Primavera	
	Tempo de operação	Livre	12 meses consecutivos
	Frequência de operação	Diário	Uso diário urbano médio do brasileiro
	Riscos de execução	Falta de armazenamento de energia elétrica	Utilização total
Indisponibilidade de carregamento			
Falha de fluidos hidráulicos		Incapacidade de mudar de direção	
		Perda, parcial ou completa, da capacidade de frenagem	
Falha e/ou desgaste dos componentes	Perda de função dos órgãos do veículo devido à utilização ou evento isolado		

Fonte: Autor

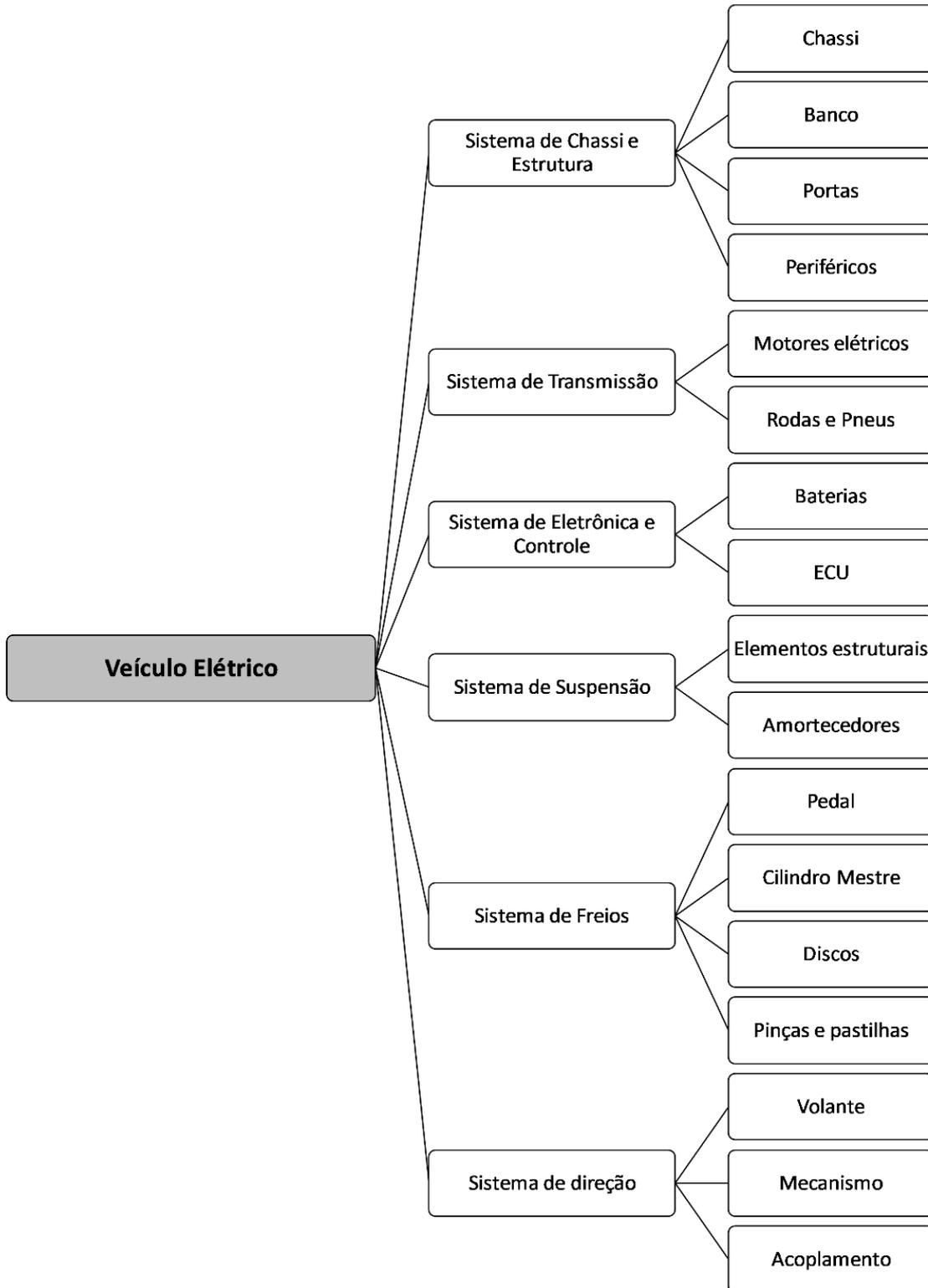
Quadro 5 - Fatores de influência de requisitos energéticos

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Requisitos Energéticos	Autonomia de Operação	É capaz de realizar as ações pretendidas	Transforma energia elétrica das baterias em energia mecânica para se movimentar
		É autônomo quanto à fonte de energia fornecida	Recebe a energia elétrica das baterias e as converte em energia mecânica por meio de motores elétricos
	Fonte de alimentação	Motores elétricos	Para a geração de potência na transmissão
	Capacidade nominal	10 a 22kW	Faixa de potência necessária à operação
	Meios de conversão	Energia Elétrica	Fornecer energia para o funcionamento dos motores
		Energia Mecânica	Fornecer movimentos para acionamento de sistemas e movimentação
		Energia Hidráulica	Fornecer movimento para ação e controle de partes móveis do veículo
	Regimes de conversão	Utilização	De minutos até 16 horas diárias
		Operação	Diariamente
		Intervalos	Sem limites de intervalo
	Solicitações de conversão	Controle	Potência aumenta de acordo com a necessidade de mais velocidade
	Tipos de acoplamento	Acoplamentos Elétricos	Acoplamentos elétricos de padrões automotivos
		Acoplamentos Hidráulicos	Linha de transmissão de fluido para acionamentos hidráulicos

Fonte: Autor

Sabendo dos requisitos energéticos do veículo, pode-se partir para a análise da estrutura de subsistemas que compõem o veículo. A estrutura de subsistemas pode ser visualizada na Figura 25. Após o levantamento da estrutura básica dos subsistemas, pode-se levantar os fatores de influências destes subsistemas e componentes, como mostra o Quadro 6.

Figura 25 - Estrutura de subsistemas do veículo



Quadro 6 - Subsistemas do veículo

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Subsistemas	Elemento Raiz	Veículo Elétrico	Designação do conjunto total da máquina
	Sistema de Chassi e Estrutura	Chassi	Comporta todos os outros sistemas e abriga estruturalmente o piloto
		Banco	Forma o lugar em que o piloto conduz o veículo
		Portas	Permitem entrada e isolamento posterior
		Periféricos	Auxiliam na visão e controle do piloto aos subsistemas
	Sistema de Transmissão	Motores Elétricos	Convertem energia elétrica em mecânica
		Rodas e Pneus	Recebem o torque dos motores e os transmitem ao solo para gerar movimento
	Sistema de Eletrônica e Controle	Baterias	Armazenam a energia elétrica necessária ao movimento
		"ECU"	Controla o acionamento dos motores e inversores
	Sistema de Suspensão	Elementos estruturais	Fornecem a conexão ao chassi e suportam cargas
		Amortecedores	Dissipam a energia oriunda do solo
	Sistema de Freios	Pedal	Elemento de uso do piloto para acionar o freio
		Cilindro Mestre	Transmite o esforço do pedal aos componentes
		Discos	Sofrem o atrito que dissipa a energia do veículo
		Pinças e pastilhas	Exercem a força de atrito nos discos
	Sistema de Direção	Volante	Recebe os comandos do piloto
Mecanismo		Converte movimento de giro em movimento linear	
Acoplamento		Conecta o mecanismo às rodas para esterçá-las	

Fonte: Autor

Aqui são desmembradas informações referentes aos sistemas e componentes do veículo, de acordo com sua função e os fatores que a influenciam. O elemento raiz é dado como todo o conjunto do veículo elétrico, destinado ao transporte de pessoas e/ou pequenas cargas. O sistema de estrutura é dado pelo chassi e seus periféricos, que são destinados à integridade estrutural do veículo e suporte para os outros subsistemas, além de compor o habitáculo para os ocupantes.

O sistema de transmissão engloba os motores elétricos, responsáveis pela conversão da energia elétrica em energia mecânica, e os elementos que farão a transmissão dessa energia até os montantes de roda. Principalmente em conjunto com este, existe o sistema de eletrônica, responsável pelo controle das baterias e pela "ECU" (*Electronic Command Unit*) para fazer o gerenciamento dos sistemas do veículo, tendo sua ação principal no controle e gerenciamento dos motores elétricos e da entrega de torque e rotação destes.

O sistema de suspensão engloba os componentes destinados a amortecerem os movimentos oriundos do solo à cabine, isolando os ocupantes do veículo das excitações das rodas. Por fim, há sistemas de controle como o sistema de freios; responsáveis por retirar energia cinética do sistema de modo a reduzir a velocidade ou até mesmo parar o veículo; e o

sistema de direção, que engloba os mecanismos responsáveis pela mudança ou mantimento de trajetória do veículo; gerando ou evitando momentos de *yaw* no centro de massa.

Com todos os subsistemas definidos, pode-se avaliar a tipologia de projeto. Isso se refere a conhecimentos, gerais e específicos, que deverão ser empregados no desenvolvimento do veículo. Essas propriedades são descritas no Quadro 7.

Quadro 7 – Tipologia de projeto

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Tipologia de Projeto	Conhecimento	Engenharia Mecânica	Elementos de máquina e dimensionamentos mecânicos
		Engenharia Automotiva	Conceito de dinâmica veicular (vertical, lateral e longitudinal)
		Engenharia Elétrica	Eletrônica de potência e controle
	Complexidade	Consumo energético	Avaliação da potência necessária
		Motor elétrico	Requisitos para aplicação em veículos
		Gerenciamento de sistemas dinâmicos	Gerenciamento <i>onboard</i> de funcionamento de sistemas de controle do veículo
		Atendimento às normas de homologação	Direcionamento do projeto para atendimento às normas
	Risco de falha	Projeto acadêmico	Restrições do meio acadêmico e do aluno
		Atendimento às normas	Normas rígidas para homologação
		Ensaio e validações	Ensaio e testes para homologação
		Simulações e análise	Simulações e análises mal conduzidas podem levar a interpretações erradas e consequentemente <u>geração de risco</u>
		Aspectos culturais	Aceitação de novos conceitos e tecnologias no mercado automobilístico

Fonte: Autor

As informações necessárias ao desenvolvimento foram levantadas, de modo a identificar fatores que afetam diretamente o escopo do projeto. A seguir, parte-se para a análise do ambiente operacional.

4.1.1.2 Caracterização do ambiente operacional

A análise do ambiente operacional começa com o levantamento das informações de clima e ambiente de utilização do veículo. Esse processo pode levantar fatores importantes em relação a condições climáticas, como ventos, temperatura e chuvas; além de fatores como pressão atmosférica. O Quadro 8 reúne estas informações, estimadas de acordo com boletins meteorológicos e dados de clima do país.

Quadro 8 - Clima e ambiente

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Clima e Ambiente	Posição Global	Faixa de latitudes	5° Norte até 33° Sul
		Faixa de longitudes	34° Oeste até 74° Oeste
	Altitude	Faixa de altitudes	0m (nível do mar) até 2460m
	Declividade	Declividades de estradas	0° até 18% (em serras)
	Temperatura	Faixa de temperatura	-5° C a 50° C
		Temperatura Média	22,23°C
	Precipitação	Faixa de Pluviosidade	Desde 1100mm até 2800mm anuais (valores estimados)
		Pluviosidade média	668 mm
	Umidade Relativa	Faixa de umidade	Desde 5% até 99% de umidade relativa (estimado)
	Ventos	Velocidade de ventos	Até 80 km/h (estimado)
Salinidade	Presença de sal no ar	Maresia até 5 km da costa	

Fonte: Autor

Os pavimentos onde o veículo irá trafegar e suas informações se encontram no Quadro 9. O veículo não será licenciado para rodagem em rodovias, limitando-se ao perímetro urbano.

Quadro 9 - Pavimentos

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Pavimento	Tipos de Pavimento	Pavimento Rígido	Não há movimento relativo do solo
		Pavimento Flexível	Há movimento relativo do solo
	Superfície	Asfalto	Pavimentação padrão para estradas
		Paralelepípedos	Pavimentação de blocos de pedra compactados
		Terra Batida	Terra/areia compactadas
	Variações	Imperfeições	Depressões no solo, de variadas dimensões
		Redutores de velocidade	Elemento para redução de velocidade
		Acumulações de granulados	Acúmulo de detritos e/ou partículas pequenas, formando uma área de pavimento flexível
		Acúmulo de água	Ausência de escoamento da água, caracterizando uma área de baixo atrito

Fonte: Autor

A última análise necessária neste grupo é em relação à ocupação da área de rodagem do veículo, ou seja, o tráfego que este estará inserido. Novamente, como o veículo limita-se ao perímetro urbano, características específicas do tráfego dessa região são abordadas, como mostra o Quadro 10. Nele, são vistos os fatores que influenciam o movimento do veículo na via, assim como os espaços disponíveis para estacionamento.

Quadro 10 - Tráfego

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Tráfego	Elementos de Tráfego	Meio fio/ Calçada	Limitantes da pista de rodagem em alto relevo
		Veículos em mesmo sentido	Veículos na mesma faixa de rodagem
		Veículos em sentido contrário	Veículos na faixa oposta
		Semáforos	Controle de parada da faixa
		Placas de sinalização	Controle de informações de velocidade e/ou interferências
		Faixas de pedestre	Área destinada ao uso de pedestres na faixa de rodagem
	Dimensões Física Típicas	Faixa de utilização	Faixa disponível ao veículo
		Comprimento	Indeterminado
		Largura	2,4 metros a 2,63 metros
	Obstáculos ao deslocamento	Altura: Obras civis	Pontes, viadutos, estacionamentos
		Largura: Vias de trânsito	Largura da via de trânsito local
		Comprimento: Veículos e sinalizações	Espaço disponível na trajetória
	Estacionamento	Comprimento	4,2 m
		Largura	2,2 m
	Curvaturas de trajetória	Tráfego	Curvas, rótulas, retornos
		Baliza	Estacionamento entre dois veículos ou limitantes

Fonte: Autor

4.1.1.3 Critérios de homologação

O veículo pretendido se enquadra na categoria de quadriciclo fechado, devendo atender as normas referentes à triciclos e mais as resoluções específicas para este. O Quadro 11 traz as normas do CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito), órgão filiado ao DETRAN (Departamento de Trânsito) responsável pela elaboração e fiscalização das normas, referentes a adequação aos processos. Nestas, são encontrados ensaios, requisitos e demais referências para cumprimento dos requisitos para circulação em vias urbanas. Ainda, o Quadro 12 traz as normas referentes à segurança do veículo e seus ocupantes.

Quadro 11 - Adequação aos processos

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Adequação aos processos	Origem da norma	Brasil	Válido no território nacional
	Organização emissora	DETRAN/CONTRAN	Órgão responsável pelas legislações de trânsito
	Norma declarante	528/2015	Determinação do lado do volante
		573/2015	Estabelece os requisitos de circulação e de segurança obrigatórios para os veículos automotores denominados quadriciclos
		667/2017	Requisitos de faróis
		674/2017	Determina requisitos de para-choques
		681/2017	Requisitos técnicos de iluminação
		750/2018	Requisitos específicos para quadriciclos elétricos
		758/2018	Requisitos de indicadores e lâmpadas piloto
780/2019	Requisitos para placas de identificação		

Fonte: Autor

Quadro 12 - Adequação à segurança

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Adequação à segurança	Origem da norma	Brasil	Válido no território nacional
	Organização emissora	DETRAN/CONTRAN	Órgão responsável pelas legislações de trânsito
	Norma declarante	556/2015	Definições de extintores de incêndio
		606/2016	Dispõe da possibilidade de ABS em quadriciclos
		680/2017	Regula capacetes em quadriciclos abertos
		682/2017	Regula sobre os espelhos retrovisores
		721/2018	Requisitos para impacto contra barreiras deformáveis
		751/2018	Requisitos de proteção para impacto lateral
756/2018	Requisitos de proteção contra impacto		

Fonte: Autor

O levantamento dessas informações fornece todos os requisitos a serem avaliados e/ou desenvolvidos no veículo, além das formas de medição e demais detalhes de cada aspecto. Com isso, é possível delimitar as escolhas de projeto de acordo com o que é permitido, assim como elencar componentes obrigatórios ao produto.

4.1.1.4 Análise comparativa de veículos

Atualmente, o único veículo enquadrado na norma de quadriciclo elétrico de cabine fechada com volante é o Renault *Twizy*. Dadas as diferenças construtivas de um veículo com volante e um veículo equipado com guidão, a análise de dimensões físicas irá abordar apenas esse veículo, que atua como *benchmarking* do projeto (Quadro 13).

Quadro 13 - Análise de dimensões

Classe	Propriedade	Informação	Descrição	Unidade
Dimensões Físicas	Massa	Massa total descarregado	474	kg
	Comprimento	Comprimento total do veículo	2338	mm
	Largura total	Largura total, contando retrovisores	1237	mm
	Altura total	Altura total do solo ao ponto mais alto	1454	mm
	Entre-eixos	Distância entre o eixo traseiro e dianteiro	1686	mm
	Bitola	Distância entre o centro dos pneus do mesmo eixo	1094	mm
	Vão livre	Altura do ponto mais baixo até o solo	120	mm
	Espaço à frente do pneu	Distância do centro do pneu dianteiro até o ponto mais avançado	313	mm
	Espaço atrás do pneu	Distância do pneu traseiro até o ponto mais atrás	339	mm
	Espaço banco-teto	Distância entre o banco e o teto do motorista	908	mm

Fonte: Autor

Com isso, pode-se avaliar como se comportam os veículos disponíveis no mercado quanto a potência que estes entregam, custo, autonomia, tempo de recarga e velocidade máxima. Para tanto, avaliam-se o próprio Renault *Twizy*, além de outros projetos nacionais: Gaia Electric (GAIA ELECTRIC, 2021), Mobilis Li (MOBILIS ME, 2021) e Hi-Tech Eco Tech2 (HI-TECH, 2021). Foram realizadas médias das propriedades que se desejam investigar, sumarizadas no Quadro 14.

Quadro 14 - Propriedades interessantes ao mercado

Classe	Propriedade	Informação	Descrição	Unidade
Mercado	Potência	Capacidade dos motores em gerar trabalho	11	kW
	Preço	Preço de venda dos veículos no Brasil	R\$ 76.750,00	Reais
	Autonomia	Quilometragem rodada com uma carga apenas	90	Km
	Tempo de recarga	Tempo de recarga para atingir 100% da bateria, partindo de 0%	5	Horas
	Velocidade Máxima	Velocidade máxima atingida pelos veículos	75	km/h

Fonte: Autor

A potência é em torno de 11kW, a qual fornece uma autonomia de 90 km a 75 km/h de velocidade média. Ao avaliar-se um deslocamento urbano, julga-se estes valores de acordo com as velocidades das vias que o veículo é autorizado a transitar, e com uma autonomia aparentemente de acordo com um deslocamento médio diário no Brasil que gira em torno de 35 km por dia (GAZETA DO POVO, 2019). Em contrapartida, o tempo de recarga e o custo podem ser barreiras na adoção destes veículos, e chamam a atenção para uma análise mais cuidadosa.

Tendo conhecimento dos veículos já existentes, pode-se partir para a estrutura de funções do veículo, analisando estes mesmos concorrentes.

4.1.1.5 Estrutura de funções

A estrutura de funções do produto é feita utilizando-se uma análise funcional de produtos existentes, visto que o projeto é de um veículo já existente no mercado; o que pode dispensar uma análise mais aprofundada como uma síntese funcional. No Quadro 15, é realizada uma análise das operações que ocorrem no veículo; além das ações e controles que ocorrem paralelamente ao processamento destas.

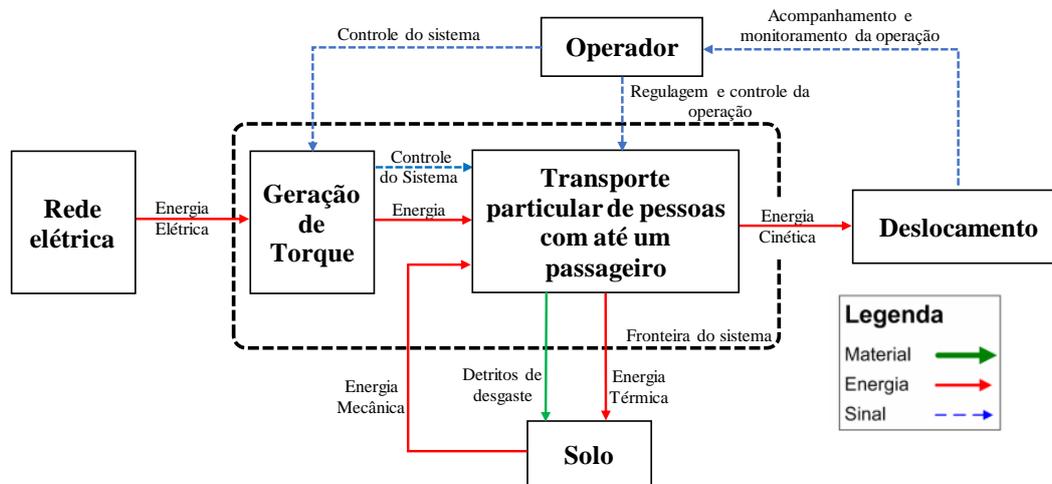
Quadro 15 - Análise de operações do veículo

Classe	Propriedade	Informação	Descrição	
Análise de Operação	Elementos processados	Energia elétrica	Energia elétrica a ser processada pelos motores	
	Elementos resultantes	Potência	Aplicação de potência no elemento rodante para geração de movimento relativo com o solo	
	Operações parciais	Armazenamento		Energia elétrica armazenada no veículo
		Transmissão de potência		Energia mecânica é transmitida do motor até o elemento rodante
		Controle de aceleração		O motorista determina qual o regime de trabalho do motor
		Controle de trajetória		O veículo pode manter a trajetória ou percorrer um raio de tamanho determinado pelo motorista
		Controle de velocidade		O motorista escolhe diminuir a velocidade, podendo persistir até a parada total do veículo
		Manutenção de posição		O veículo pode manter-se imóvel mesmo com aplicação de forças externas, como vento e ou forças de rampa
	Ações mecânicas	Transmissão de potência		A potência é transmitida por acoplamentos mecânicos
		Controle de aceleração		O motorista aplica força no acelerador para determinar o regime de trabalho do motor
		Controle de trajetória		A trajetória é determinada de acordo com as forças laterais nos elementos rodantes
		Controle de velocidade		A velocidade é reduzida de acordo com a pressão do sistema de freio
		Manutenção de posição		Uma força mecânica constante é aplicada no sistema de freio para manter o veículo imóvel
	Ações de controle	Armazenamento		Verificação do nível de carregamento das baterias
		Controle de aceleração		Verificação da rotação do motor
		Controle de trajetória		O operador determina a trajetória pela posição do volante
		Controle de velocidade		O motorista controla o nível de pressão pelo curso do acionamento do pedal de freio
		Manutenção de posição		O motorista pode acionar o freio estacionário, que mantém o sistema sobre pressão mesmo sem acionamento do pedal de freio

Fonte: Autor

Com a análise das operações, pode-se partir para a análise funcional do veículo. Partindo dessas informações, em conjunto com a análise dos produtos existentes, pode-se declarar a função global do produto, vista na Figura 26.

Figura 26 - Declaração da função global do veículo



Fonte: Autor

A estrutura de funções específica para o veículo desenvolvido nesse trabalho foi desmembrada na fase de projeto conceitual, a partir das funções declaradas nesse capítulo. Assim, encerra-se o levantamento de fatores de influência, com a documentação de todas as informações referentes à futuras decisões de projeto. Com isso, pode-se partir para a determinação das especificações de projeto, isso é, quais aspectos o produto final deverá apresentar.

4.1.2 Especificações de projeto

Utiliza-se da revisão sistemática da literatura (LACERDA et al., 2013) para a reunião de informações da comunidade científica que possam indicar tendências e problemas recorrentes a serem solucionados. Ainda, o método de Mudge é utilizado para a análise dos requisitos de cliente resultantes da revisão bibliográfica, e a matriz QFD (*Quality Function Deployment*) para a valoração dos requisitos de projeto traduzidos. Isso fornece a importância relativa de cada requisito, e guia as especificações de projeto do produto.

O detalhamento das especificações e o restante do projeto informacional, como já mencionado, está no capítulo dedicado ao artigo submetido, de acordo com as normas do periódico. O artigo não faz citação direta às informações anteriores do trabalho devido à possibilidade deste ser visto sem o restante do trabalho no periódico em que seja publicado, porém todas as informações já discutidas são utilizadas na elaboração das especificações de projeto.

4.2 ARTIGO - BATTERY ELECTRIC VEHICLES DESIGN SPECIFICATIONS IN EMERGING MARKETS

INTRODUCTION

The transportation sector is responsible for the highest emissions of CO₂ to power units (EIA, 2020) and 27% of the world energy demand (de Assis Brasil Weber et al., 2019). Land vehicles are also consuming 70% of the total world oil production, which is about 60 million barrels per year (Sang and Bekhet, 2015). With a vehicle market that is predicted to achieve more than 2.5 billion units by 2050 (UNEP, 2020), electric vehicles (EV) are a feasible solution to reduce oil fuel consumption and emissions (Zarazua de Rubens, 2019). Among the EV types, battery electric vehicles (BEVs) are becoming slightly preferred by customers over plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) (Rietmann and Lieven, 2019) by current technology price and range. The use of BEV is assumed to help to achieve the decarbonization transition and to regulate global temperature changes (Hou et al., 2021).

BEVs are still a very low market share worldwide with approximately 5 million units (IEA, 2020). The majority of these vehicles are in developed countries, which are overcoming technological barriers to a larger electrical fleet. On the other hand, emerging economies face a different scenario with BEV adoption. Particularities of these countries lead to different challenges and can create new technology routes and applications (Cano et al., 2018). The issues of emerging countries adopting EVs have a different approach in the literature (Meszaros et al., 2020) since emerging countries generally have lower family incomes and cannot afford the extra power on the network. For example, Indonesia's barriers are in the high cost of EVs (Nuryakin et al., 2019) and lack of charging infrastructure (Utami et al., 2020). South Africa (Pillay et al., 2019) and Latin American countries (Quiros-Tortos et al., 2019) share the same barriers as Indonesia. The lack of proper infrastructure is a problem even for countries that have high government incentives like Turkey (İmre et al., 2021) or countries with a greater BEV market like China (Nie et al., 2018). Moreover, requirements for a BEV can be distinct among emerging countries. Countries like India have a strong oil dependency (Panwar et al., 2019) and maintenance concerns over purchasing price (Goel et al., 2021). While Indonesia needs government incentives to be at least 30% higher for BEVs (Riyanto et al., 2019) to be economically attractive, China BEVs can be sustained in the market without government help (Li et al., 2020). Brazil has a successful flex fueling program that needs to be considered not a rival, but a partner of the BEV market (Vargas et al., 2020). This indicates that countries have singular aspects to be considered in BEV design, so their feasibility requires independent approaches for specific markets (Tarei et al., 2021)

There are design methodologies created specifically for the development of a given product, which can unify many tools to guide the correct discussion and product decision-making (Vernadat, 1996). In this sense, a framework initially meant for agricultural machine design (Romano et al., 2005) could be approximated to automotive development (Back et al., 2008). The process is performed by gathering information regarding the state of the art of BEVs and the national factors linked to the technology. A systematic literature review as proposed by (Dresch et al., 2015) takes place to gather the information needed since it has been successfully applied to factors research as seen in (Wassie and Adaramola, 2019) and (Rigo et al., 2019). The review outcome is translated into customer requirements for the Brazilian market. The Value analysis (VA) is performed with the Mudge method so that these requirements are later transformed into design requirements and analyzed in a quality function deployment (QFD) matrix. This process, also known as QFDVA, has been deemed essential in product design (da Silva et al., 2004) and automobile design (Oke et al., 2009).

The automotive industry has its methodologies and has applied them for decades, but there is a knowledge gap to be filled based on the methodology proposed, especially when considering particularities of emerging markets in BEV design. Therefore, this work proposes a design approach using the case of Brazil to search for opportunities to fulfill customer expectations within BEVs.

METHODOLOGY

The literature review aimed at identifying relevant factors and barriers to BEV adoption, especially in the country of interest. The relevant information obtained was used to identify gaps and opportunities in the design of a BEV and translated into customer requirements. These were numerically evaluated by the Mudge method and transformed into design requirements. The design requirements were numerically assessed through the QFD matrix. After all assessments for relative importance, the list of design specifications was created and analyzed.

LITERATURE SYSTEMATIC REVIEW

The BEV market situation and barriers to technology adoption were reviewed as seen in Figure 1. The possibilities and issues of BEV adoption in Brazil were conducted apart from the second review as seen in Figure 2. The articles cataloged were important to construct the reasoning line and to help the design team searching for customer requirements. The research was set starting in 2015 due to the high growth of publications about EVs (Pagany et al., 2019) among an exponential growth of EV sales (Ayodele and Mustapa, 2020). The coincidence of

these growths can describe with more detail how the EV is being received by the customers, and what are the trends in the field.

Figure 1 - Systematic literature review procedure for EV barriers.

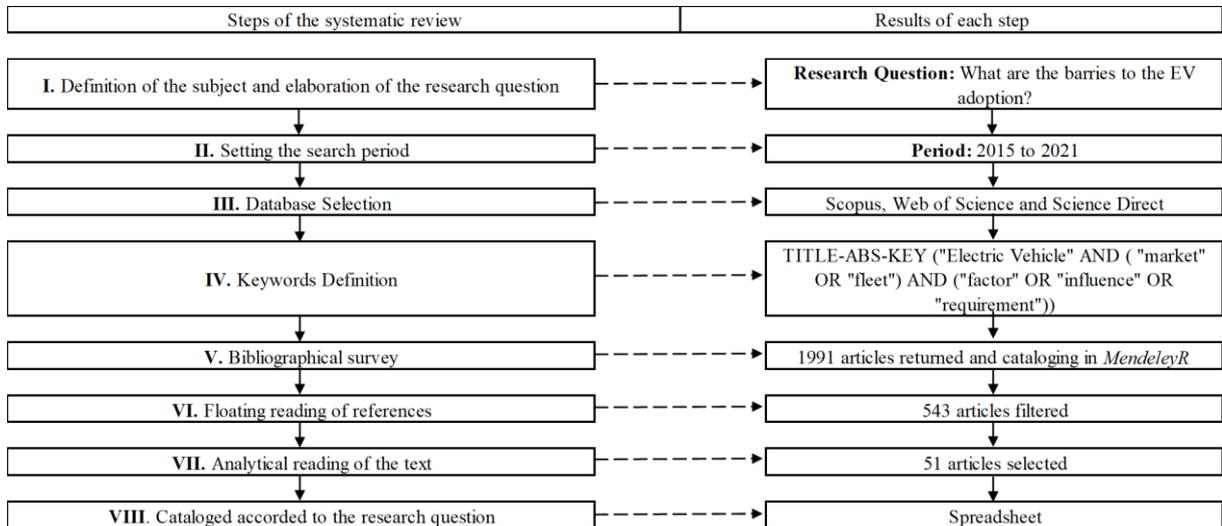
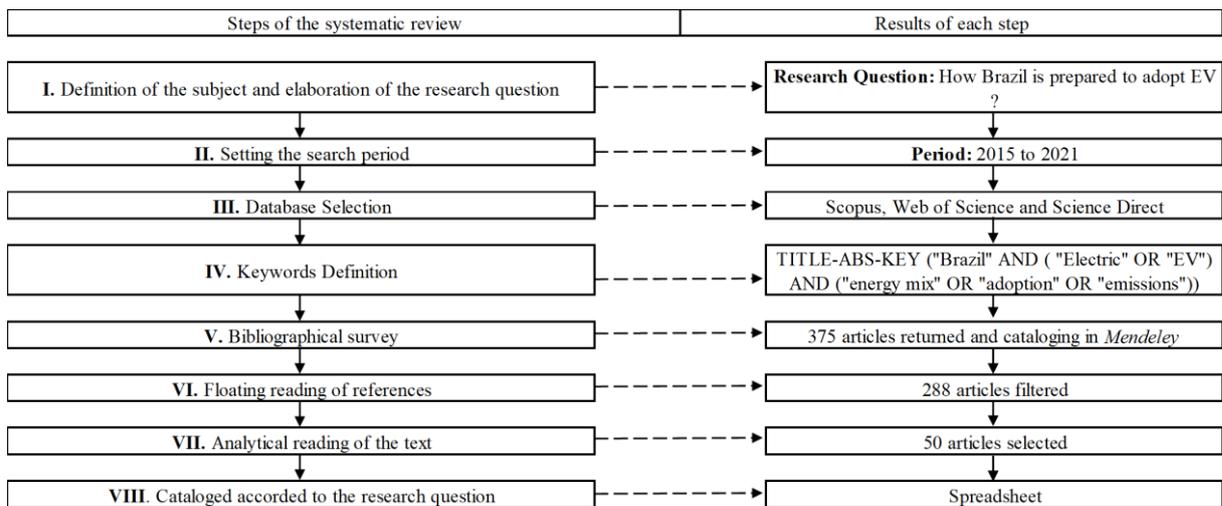


Figure 2 - Systematic literature review procedure for EV adoption in Brazil.



EV REVIEW

The scientific community converges to the same barriers of EVs implementation: charging limitations and the lack of public infrastructure (Flammini et al., 2019; Kwon et al., 2020; Ou et al., 2020; Schneidereit et al., 2015); limited range compared to internal combustion engine vehicles (Habich-Sobiegalla et al., 2018; Li et al., 2017); and a high ownership cost, particularly regarding the batteries (Masiero et al., 2017; Wang et al., 2017; Zarazua de Rubens, 2019). Also, vehicle prices have to decline substantially to penetrate the market on a larger scale

(Weiss et al., 2015). Nevertheless, EVs and ICE vehicles tend to close an economical gap in a long-term perspective (Lemme et al., 2019).

In the past 20 years, the energy density on batteries has grown 4 times, while its specific capacity in the year 2020 was about 70% greater with further room for improvement (Wang et al., 2020). Due to the recent reduction in battery prices, manufactures have equipped larger battery packs on BEVs (Figenbaum, 2018), which is convenient for fast charging technologies (Figenbaum, 2020). Battery recycling has also helped the cost reduction and emissions in battery manufacturing (Mossali et al., 2020), which is still one of the main challenges for a sustainable scale-up of EVs (Lajunen et al., 2020). Despite the technological factors, the EV customer actions are related to behaviors and intentions (Sang and Bekhet, 2015) backed by demographic, situational, and/or psychological order (Li et al., 2017).

When evaluating the profile of BEV purchasers, they are often motivated by cost-saving ownership (Kwon et al., 2020) willing to pay a higher price at the buying process to save on operational issues. These people are also very motivated by environmental concerns, which may be the major characteristic of BEV buyers (Bai et al., 2020; Habich-Sobiegalla et al., 2018). This is confirmed by EV drivers who have had more eco-friendly behaviors in driving maneuvers (Wang et al., 2020). However, customers are in general resistant to innovations and new technologies (Heidenreich and Kraemer, 2016; Liu et al., 2020) and particularly uncertain about the performance and safety of BEVs (Simsekoglu and Nayum, 2019). Nevertheless, there has been reported a significant increase in EV acceptance after driving experience (Jensen et al., 2014) and correct instructions about the technology and its benefits (Barth et al., 2016; Schmalfuß et al., 2017). The buying intention of an EV may increase even by knowing that someone owns one of it (Habich-Sobiegalla et al., 2018).

EVs cannot fully replace ICE vehicles at the present moment, which is reflected by the “wait and see” (She et al., 2017). and “work in progress” (Graham-Rowe et al., 2012) customer behavior. EVs have many benefits that can attend to a large share of consumers in the daily needs, especially in short urban displacements where ICE vehicles provide poor fuel efficiency (Salvo and Vaz de Almeida, 2019) and driving conditions have a great influence on emissions (Álvarez Fernández, 2018). Most EVs meet the driving requirements of the majority of the people without daily recharging (Zarazua de Rubens, 2019) as its utilization is indeed meant for short trips to the present (Jensen and Mabit, 2017). The increase of efficiency for ICE is rather limited in saturated markets, so manufacturers should proactively shape the EV market (Kieckhäfer et al., 2017). The BEV adoption will increase as long the popularity of those

increases as well, so there is a need for to BEVs be tried more by customers to make that happen (Fang et al., 2020).

BRAZILIAN MARKET

Brazil ranks the 6th largest car market in the world (IEA, 2020; OICA, 2019) and scores among the top ten manufacturers by production volume (UNEP, 2020). With a fleet of about 105 million vehicles in 2020 (DENATRAN, 2020) that emitted as much GHG as the industrial and residential sectors (Trentini and Colin, 2015), Brazil is an important market with 46 million vehicles on the streets by 2020 (ANFAVEA, 2021). With the urge to reduce CO₂ emissions, Brazil has been a regional and global frontrunner country in cleaner technologies with the wide adoption of ethanol fuel (Menezes et al., 2017). On the other hand, such biofuel can also bring considerable land usage impacts (Filoso et al., 2015) and it is risky to be seen as the only fuel matrix solution for light-duty vehicles (Marx and De Mello, 2014). Lobbying ethanol groups have challenged the introduction of EVs in Latin America (Marchán and Viscidi, 2015), so there is an urge for governmental programs to improve the competitiveness of EVs (de Souza et al., 2018). Brazil can assemble BEVs with local engineering and supply chain development based on its large raw materials reserves (De Mello et al., 2013), which is a clear opportunity for the country (Masiero et al., 2017).

It has been demonstrated that BEVs can complement a less energy-intensive fleet in São Paulo (Costa et al., 2017), the largest city in Brazil with over 12 million inhabitants. The EV sales are experimenting an exponential growth in the country (Luna et al., 2020), but this still represents a very small share of the national fleet. There have been few government incentives to stimulate EV sales (Agência Senado, 2016a) and tax-free policies (Agência Senado, 2016b), so EVs need a stronger government kick-off to be competitive (De Mello et al., 2013). Non-financial incentives often have no significant impact on EV adoption (Huang and Ge, 2019). Moreover, the utilization of BEVs in public sectors plays a significant role in EV promotion among society (Ma et al., 2017).

The Brazilian energy matrix can afford up to 20% of the fleet substitution for EVs (Teixeira et al., 2015) with a great potential to continue the development based on the steady improvement of renewable energy sources like solar and wind, predicted to grow until the 2080s (de Jong et al., 2019). At this point, the country is a very strong place for EV development, since renewables feature 81% (Correa; Muñoz; Rodriguez, 2019) of the source of the electrical grid (Teixeira et al., 2015). Renewable energy is responsible for 83.3% of the domestic supply of electricity (Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2019), which dilutes the impacts of BEV

emissions and favors the results of BEV emission per kilometer (Velandia Vargas et al., 2019) since they are directly related to the energy mix (Ehrenberger et al., 2019). Low carbon electricity mixes can reach almost zero CO₂ emissions (Orsi et al., 2016), with hydroelectric generation offering the lowest impact (Burchart-Korol et al., 2018). Brazil has 60% of its electricity coming from hydroelectric generation and 7.6% from wind power, which is growing 15% per year by 2018 (Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2019). Wind power is predicted to generate 55% of Brazil's northeast region annual electricity demand by 2020, with the possibility to reduce the fossil fuels use to zero (de Jong et al., 2016). Along with wind incidence, the tropical positioning of Brazil is also a strong – and stable along the year – radiation spot to the development of photovoltaic solar energy (Sierra Rodriguez et al., 2020), which is going through a sensible cost decrease (Schmidt et al., 2016) and have the potential to reduce even 90% of CO₂ emission of an internal combustion engine (ICE) when it equips an EV (Sierra Rodriguez et al., 2020). There is even an expected surplus of 55.7% on the energy matrix until 2024 due to renewable resources (Barros et al., 2018)

With the high renewable energy matrix, BEVs are the EVs with the smallest impact in Brazil and can achieve their full potential in the country (de Souza et al., 2018). All things considered, Brazil has a clean energy mix to power the EV demand, a large car market, few but solid government initiatives, and the possibility to develop internal manufacturing and raw material supplier from a world perspective. Therefore, the attention here switches to the consumer perspective and the factors that influence car buyers to adopt an EV.

VALUE ANALYSIS – THE MUDGE METHOD

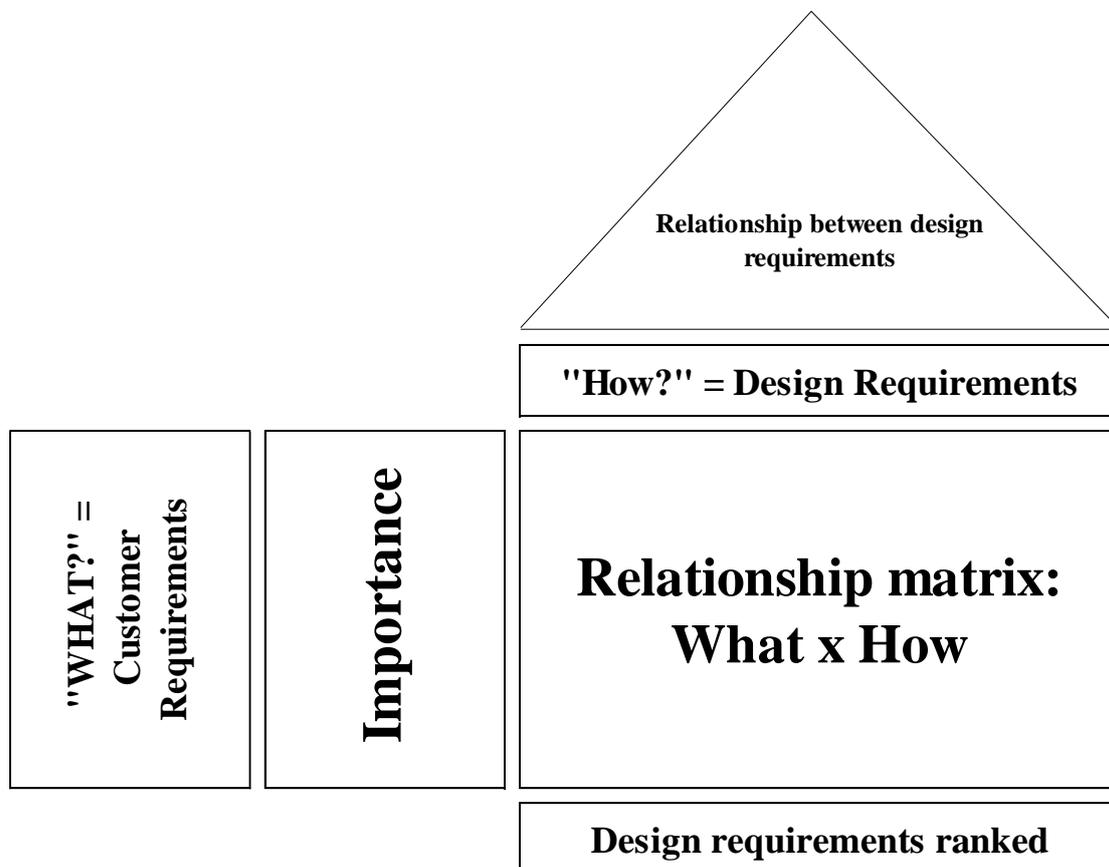
The Mudge method compares each of the design requirements and establishes their relative importance, which allows for their numerical evaluation before the project requirement analysis. To proceed with all the comparisons, a multidisciplinary team was formed and each comparison was discussed until there was a consensus about the direction of the value of the relative importance. In the particular case of this work, the discussions relied on mechanical engineers; product engineers; electrical engineers, and designers. For each comparison, the matrix was filled with the most important requirement (between two) along with the level of importance. “A” meant much more important; “B” meant more important; and “C” slightly more important, with values of 5, 3, and 1, respectively.

QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD)

With the list of customer requirements evaluated by the Mudge method, it could be understood how each requirement was translated into customer satisfaction. Those requirements must be attended to the final product, but they need a way of measuring. To do so, the customer requirements must be transformed into design requirements with engineering metrics. This allows to set goals, evaluate the requirements and list the undesirable aspects if they can't be reached.

The QFD method consists of a numerical evaluation very similar to the Mudge method, although the customer requirements are all compared to the design requirements, as long as classified as mandatory, attractive, or expected by the kano model. The goal is to analyze and rank how each design requirement attends to the customer's desires. The comparisons were ranked as "strong relationship", "moderate relationship", "weak relationship" and "no relationship", with corresponding values of 5,3,1, and 0; respectively. The sum of each design requirement was calculated and compared to the sum of all design requirements values. Figure 3 illustrates the scheme of a QFD matrix analysis.

Figure 3 - QFD scheme



DESIGN SPECIFICATIONS

With all design requirements evaluated, the specifications must be defined. Each customer requirement must have a goal value, an evaluation procedure to determine if they are successfully attended, and the undesirable aspects. These are necessary to evaluate what happens if the specification can't be reached, and they are used along with the relative importance to guide the project team decisions.

RESULTS AND DISCUSSIONS

CUSTOMER REQUIREMENTS

The literature review indicated some gaps that are currently affecting the BEV success and some issues for the Brazilian market. The customer requirements created from the review were not meant only for the EV buyer, but for all of those who have contact with the product on its life cycle, from the project to the maintenance and discard. The most relevant opinions in the literature converged to 3 main categories in the technological gaps: Project, Manufacturing, and Operation.

PROJECT

A low-cost project is crucial to EV success (Lopez et al., 2020; Weiss et al., 2015), and such a vehicle needs to present an eco-friendly identity (Bai et al., 2020; Habich-Sobiegalla et al., 2018; Zarazua de Rubens, 2019). Furthermore, the EV identity is related to light and compactness, which plays a key role in efficiency with a low mass (Jefferies, 2017), small battery pack (Anderson and Anderson, 2010), and compact dimensions (Helmerts and Marx, 2012; Jefferies, 2017).

An attractive EV design (Armstrong, 2018) and plenty of different car models are vital (Kumar and Alok, 2020; Quak et al., 2016), so it is interesting for the vehicle to be customizable accordingly. The lack of models and the feeling to buy the same product no matter which BEV the customer chooses may be diminished by tailor-made items. The freedom to each customer to adopt a more personal style and features are encouraged to open more manufacturing possibilities and to attend to a larger group of customers.

The driver cabin must consider geographical and social issues that occur in Brazil. Due to the country's territorial distribution and its location related to the Equator line, many climate conditions are present in the country, which is mostly tropical. With an average rainfall of more than 1900 mm per year (KNOEMA, 2020), the cabin must protect the driver from rainy days.

This fact, summed up the marked violence and theft issues in large cities (U.S. OSAC, 2021), must be taken into account with the design of a rainproof and lockable cabin.

MANUFACTURING

The manufacturing of an EV for the Brazilian market can be advantageous in terms of climate change and terrestrial acidification (Velandia Vargas et al., 2019), besides it can place the country in the global production chain. The country could participate in raw materials and parts manufacturing, with the importation of more technological devices. Also, a national assembly/manufacturing can bring discounts on tax and fees, which are strongly related to the political barriers and government incentives.

Also, all the processes involving EV manufacturing must be sustainable (Mossali et al., 2020; L. Wang et al., 2020b) to ensure the technology benefits in all the product life cycle. The CO₂ emissions from the manufacturing of the vehicle to its discard must be significantly lower than an ICE vehicle life cycle.

OPERATION

Electric vehicles must transmit reliability (Kumar and Alok, 2020; Qian and Yin, 2017) and provide comfort for those insides (Armstrong, 2018; Kumar and Alok, 2020). Perceived value is important for the customers, so the vehicle should present quality, safety, and reliability (Asadi et al., 2021). The driving process is expected to be easy (Høyer, 2008), pleasant (Schuitema et al., 2013), and low noise (Bridi and Al Hosani, 2020). The one-foot operation has been positively rated by customers in this case (Ramsbrock et al., 2013). Due to Brazilian regulations, the vehicle must be controlled by a steering wheel and accommodate a passenger (CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN), 2015).

EVs should be safe for the occupants and pedestrians nearby (Hasan and Simsekoglu, 2020), which is sometimes cumbersome due to the lack of powertrain noise typically observed in ICE vehicles (Anderson and Anderson, 2010). Hence, it is necessary to warn the pedestrians in a more effective way than a simple driver-controlled horn.

Range anxiety is largely discussed in EVs as customers are afraid to run out of power during a trip and not having the time available for recharging. For an urban vehicle, a daily autonomy with a comfortable safety margin is seen as enough (Bonges and Lusk, 2016). Also, battery technology can't provide longer ranges at the present state, so EVs can only perform small displacements like daily commuting (Choma and Ugaya, 2017). The charging process must be made possible at home due to the current lack of infrastructure (Hardman et al., 2018).

It should also present a low time for full charge or at least 3/4 of it, not necessarily holding the fast-charging technology (Flores et al., 2016).

Regarding the EV performance, the vehicle needs to have acceleration and top speed suitable for city driving (Kumar and Alok, 2020) with stable acceleration (Tu and Yang, 2019). This has to be done by consuming a small amount of energy and reducing the battery life span as little as it can (Helmerts and Marx, 2012).

As a new technology product, the EV should be connectable to the common devices of the customer for information sharing purposes (Ramsbrock et al., 2013). Furthermore, an intelligent management system to transmit useful information to the user is also a strong factor (Kim et al., 2014).

Last, but not least, easy maintenance is well seen as there is a lack of specialized service providers for EVs (Quak et al., 2016; Weiller and Neely, 2014). The ownership costs must be as low as possible as well, to justify the greater purchase value (Habich-Sobiegalla et al., 2018; She et al., 2017). The summarized overall customer requirements are presented in Table 1.

Table 1 - Customer requirements

Categories	Nº	Requirements	References
Project	1	To have a small pack of batteries	(Anderson and Anderson, 2010)
	2	To be compact	(Helmers and Marx, 2012; Jefferies, 2017)
	3	To be lightweight	(Jefferies, 2017)
	4	To have a low selling price	(dos Santos Pergentino et al., 2020; Weiss et al., 2015)
	5	To present an eco-friendly identity	(Bai et al., 2020; Habich-Sobiegalla et al., 2018; Zarazua de
	6	To be Taylor-made	(Kumar and Alok, 2020; Quak et al., 2016)
	7	To have an attractive design	(Armstrong, 2018)
	8	To offer protection from the environment	(KNOEMA, 2020; U.S. OSAC, 2021)
	9	To be sustainably manufactured	(Mossali et al., 2020; L. Wang et al., 2020a)
	10	To be locally manufactured	(L'évay et al., 2017; Velandia Vargas et al., 2019)
Manufacturing	11	To be identifiable by pedestrians	(Anderson and Anderson, 2010)
	12	To provide safety for the occupants	(Hasan and Simsekoglu, 2020)
	13	To provide home charging	(Hardman et al., 2018)
	14	To provide fast charging	(Flores et al., 2016)
	15	To be easy to drive	(Høyer, 2008)
	16	To be pleasant to drive	(Schuitema et al., 2013)
	17	To transmit reliability	(Kumar and Alok, 2020; Qian and Yin, 2017)
	18	To provide comfort to the occupants	(Armstrong, 2018; Kumar and Alok, 2020)
	19	To have a silent operation	(Bridi and Al Hosani, 2020)
	20	To be operated by a steering wheel	(CONSELHO NACIONAL DE TRÁNSITO (CONTRAN), 2015)
Operation	21	To accommodate a passenger	(CONSELHO NACIONAL DE TRÁNSITO (CONTRAN), 2015)
	22	To provide one-foot drive	(Ramsbrock et al., 2013)
	23	To provide a daily ranger	(Bonges and Lusk, 2016; Hasan and Simsekoglu, 2020)
	24	To have a quick acceleration	(Kumar and Alok, 2020)
	25	To present an urban-related top speed	(Kumar and Alok, 2020)
	26	To present a low energy consumption	(Helmers and Marx, 2012)
	27	To present a long battery duration	(Helmers and Marx, 2012)
	28	To have a stable acceleration	(Tu and Yang, 2019)
	29	To be equipped with tech innovations	(Kim et al., 2014)
	30	To present connectivity with mobile devices	(Ramsbrock et al., 2013)
	31	To have an easy maintenance	(Quak et al., 2016; Weiller and Neely, 2014)
	32	To present a low ownership cost	(Habich-Sobiegalla et al., 2018; She et al., 2017)
Performance			
Interaction			
Maintenance			

REQUIREMENTS EVALUATION

The importance of each customer necessity was evaluated and translated into design requirements, and later into design specifications.

THE MUDGE MATRIX

From the Mudge matrix (Tabel 2) and the final list of importance (Table 3), it can be observed that issues related to the acceptance of the new technology rank in the first positions as the main customer requirements. Pricing, performance, and driving experience are the other aspects that had higher importance on the list and must require special attention. The lowest relative importance was set for requirements that are not strongly perceived by most of the customers, such as “fun to drive” and domestic items. These requirements are specifically recognized by the customers that have the pleasure of the driving experience and have a more concerned attitude of the nationality of parts, such as the eco-friendly image. Most drivers consider driving as a dislocation method, and all incentives for domestic manufacturing will be noticed in the selling price. Fast charging had a low value as well due to the concept of the vehicle being charged at standard wall sockets, possibly overnight. With home charging and a daily range, there is no need for fast charging technologies and their higher cost.

The results confirmed the notion that most studies suggest: the customer mistrust of the new technology must be the focus of the product development. In other words, EVs should easily supply customers daily needs with reliability and safety. The high importance of low ownership costs also confirms the trend that EV adopters are disposing to pay a higher amount at the purchase to later save on “fueling” over the years.

The tech innovative requirement with a high valuation tells us that the EV cannot be limited to a “green alternative”, but also a technologic product with attractiveness to customers. A reasonable performance expected for the size of the car, the possibility of charging at home, standard comfort, and a good driving experience should deliver to customers a product that fulfills their needs.

Table 3 - Customer requirements after value analysis

Class.	Nº	Requirement	Value
1 st	12	To provide safety for the occupants	7.28%
2 nd	27	To present a long battery lifespan	6.79%
3 rd	17	To transmit reliability	6.58%
4 th	23	To provide a daily ranger	6.22%
5 th	32	To present a low ownership cost	5.87%
6 th	29	To be equipped with tech innovations	5.73%
7 th	13	To provide home charging	5.45%
8 th	8	To offer protection from the environment	4.81%
9 th	25	To present an urban related top speed	4.67%
10 th	18	To provide comfort to the occupants	4.38%
11 th	26	To present a low energy consumption	4.31%
12 th	21	To accommodate a passenger	4.24%
13 th	28	To have a stable acceleration	3.61%
14 th	15	To be easy to drive	3.47%
15 th	4	To have low industrial cost	2.83%
16 th	11	To be identifiable by pedestrians	2.62%
17 th	30	To present connectivity with mobile devices	2.48%
18 th	24	To have a quick acceleration	2.26%
19 th	3	To be lightweight	2.05%
20 th	20	To be operated by a steering wheel	2.05%
21 th	2	To be compact	1.56%
22 th	7	To have an attractive design	1.34%
23 th	9	To be sustainably manufactured	1.34%
24 th	1	To have a small pack of batteries	1.27%
25 th	6	To be Taylor-made	1.27%
26 th	22	To provide one-foot drive	1.20%
27 th	19	To have a silent operation	0.99%
28 th	16	To be pleasant to drive	0.92%
29 th	31	To have an easy maintenance	0.92%
30 th	5	To present an ecofriendly identity	0.71%
31 th	10	To be locally manufactured	0.64%
32 th	14	To provide fast charging	0.14%

QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT

The customer requirements were discussed with the project team to provide the most accurate requirements for the EV. The results obtained are listed in Table 4.

Table 4 - Design requirements

Requirement	Unit
Additional safety features	Number
Amount of controls	Number
Battery lifespan	Years
Charging power	kW
CO ₂ life emission	Ton
Domestic manufacturing	%
Ergonomics	% of the population covered
Hazardous Light warning	Lumens
Hazardous Sound warning	dB
Jerking	m/s ³
Noise and vibration comfort	dB, m/s ²
Onboard technologies	Number
Ownership costs	US\$
Pairing devices	Number
Power consumption	Wh/km
Projected area on the road	m ²
Rainproofing	IP level
Range	km
Selling price	US\$
Size of the battery pack	m ³
Sound emission	dB
Taylor-made items	Number
Thermal comfort	° C
Time to maintenance	Months
Time to top speed	s
Time to total charge	Hours
Top speed	km/h
Total mass	kg

The relative importance of each requirement was obtained by the QFD method presented in Figure 4. Although it does not affect directly the numerical result, the QFD roof was also obtained in the discussion, as presented in Figure 5. The relative importance values

guide the design decisions, as long as the roof keeps note of the relationship of each requirement, and what positive or negative effects should be observed along the design process and decision making. With all requirement points summed and numerically evaluated to the total amount, the results of the relative importance of the design requirements are covered in Figure 5.

Figure 4 - QFD relationship matrix of customer x design requirements

Customer valuation	Kano Model	Customer Requirement	Design Requirements																													
			Size of battery pack	Projected area on the road	Total mass	Selling price	Taylor-made items	Rainproofing	CO2 life emission	Domestic Manufacturing	Hazardous Light warning	Hazardous sound warning	Additional safety features	Charging power	Time to total charge	Amount of controls	Thermal comfort	Noise and vibration comfort	Ergonomics comfort	Sound emission	Range	Time to top speed	Top speed	Power consumption	Battery lifespan	Jerking	Onboard technologies	Pairing devices	Time to maintenance	Ownership costs		
7.28%	M	To provide safety for the occupants	O	O	O	O	X	O	φ	X	O	O	φ	φ	X	O	φ	φ	φ	φ	X	O	O	φ	φ	O	O	X	X	X		
6.79%	E	To present a long battery lifespan	φ	X	φ	O	X	X	φ	X	φ	φ	O	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	O	O	φ		
6.58%	E	To transmit reliability	X	X	φ	O	X	φ	O	X	O	O	O	φ	X	φ	X	φ	X	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	O	X	X	O	X	
6.22%	E	To provide a daily ranger	φ	X	φ	O	X	X	φ	X	O	X	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	O	φ	X	φ		
5.87%	A	To present a low ownership cost	O	X	X	O	φ	O	X	φ	X	O	φ	φ	O	O	φ	φ	φ	φ	X	X	X	X	φ	X	φ	φ	O	φ		
5.73%	A	To be equipped with tech innovations	φ	X	φ	φ	X	O	X	φ	X	O	O	φ	O	φ	X	X	X	X	φ	X	X	X	φ	X	φ	φ	O	φ		
5.45%	E	To provide home charging	φ	φ	O	φ	X	X	O	X	X	X	φ	φ	φ	X	O	X	X	X	φ	X	X	O	φ	X	X	X	φ	O		
4.81%	A	To offer protection from the environment	X	X	φ	O	X	φ	X	X	X	X	φ	X	X	X	X	X	X	X	φ	φ	φ	φ	φ	φ	X	X	φ	O		
4.67%	E	To present a urban related top speed	O	φ	O	O	X	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	φ	O	φ	O	φ	φ	X	X	φ
4.38%	E	To provide comfort to the occupants	X	φ	O	O	φ	O	X	X	X	X	φ	X	X	O	φ	φ	φ	O	φ	X	X	φ	X	O	φ	φ	φ	φ	X	φ
4.31%	A	To present a low energy consumption	φ	φ	φ	O	X	X	φ	X	X	X	φ	X	φ	X	φ	X	φ	X	φ	X	X	X	φ	O	O	φ	φ	φ	X	φ
4.24%	M	To accommodate a passenger	O	φ	φ	O	O	φ	X	X	X	X	O	X	X	O	X	X	X	X	O	O	O	φ	φ	X	X	X	X	X	X	
3.61%	A	To have a stable acceleration	X	X	φ	X	X	φ	X	X	X	X	X	φ	X	X	φ	X	X	φ	φ	O	X	φ	O	φ	φ	O	X	X	X	
3.47%	A	To be easy to drive	X	O	X	O	X	X	X	X	X	X	φ	X	X	φ	X	X	φ	X	X	X	X	X	X	φ	O	O	X	X	X	
2.83%	E	To have low industrial cost	O	X	φ	φ	O	O	O	O	φ	φ	φ	O	φ	O	φ	O	φ	O	φ	O	O	φ	O	φ	φ	φ	φ	φ	φ	
2.62%	A	To be identifiable by pedestrians	X	φ	X	φ	X	X	X	X	φ	φ	O	X	X	X	X	X	X	φ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
2.48%	A	To present connectivity with mobile devices	φ	X	X	O	φ	X	φ	X	X	X	φ	X	φ	O	X	X	X	X	φ	X	X	φ	X	X	φ	φ	X	X	X	
2.26%	A	To have a quick acceleration	φ	X	φ	φ	X	X	φ	X	X	X	φ	X	X	X	O	X	X	X	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	X	X	X	
2.05%	M	To be lightweight	φ	φ	φ	O	X	O	φ	X	X	X	φ	X	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	φ	X	X	X	
2.05%	M	To be operated by a steering wheel	X	X	X	φ	X	X	X	X	X	X	X	X	φ	X	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
1.56%	E	To be compact	O	φ	O	φ	X	X	φ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	φ	φ	O	X	φ	φ	X	X	X	X	X	X	
1.34%	A	To have an attractive design	X	O	φ	O	φ	φ	φ	X	X	X	X	X	φ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
1.34%	E	To be sustainably manufactured	O	φ	O	O	φ	X	φ	φ	X	X	O	O	X	O	X	X	φ	φ	X	X	φ	φ	X	φ	φ	X	X	X	X	
1.27%	E	To have a small pack of batteries	φ	O	O	φ	X	X	O	X	X	X	φ	O	φ	X	φ	X	X	X	φ	X	X	φ	φ	X	φ	O	X	φ		
1.27%	A	To be Taylor-made	φ	X	φ	O	φ	X	X	X	φ	φ	φ	X	X	φ	X	X	φ	X	X	X	X	X	X	φ	X	φ	O	X	φ	
1.20%	A	To provide one-foot drive	X	X	X	O	φ	X	X	X	X	X	φ	X	X	φ	X	O	X	O	X	O	X	O	φ	O	X	X	X	X	X	
0.99%	E	To have a silent operation	X	X	X	φ	φ	X	X	X	X	φ	φ	X	X	X	X	φ	X	X	φ	X	X	X	X	φ	φ	X	X	X	X	
0.92%	A	To be pleasant to drive	X	φ	φ	X	O	O	X	X	X	X	φ	X	X	O	O	O	O	O	X	X	φ	φ	φ	X	O	φ	X	X	X	
0.92%	A	To have an easy maintenance	O	X	φ	φ	φ	X	X	O	X	O	X	φ	O	φ	X	X	X	φ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
0.71%	E	To present an ecofriendly identity	φ	O	O	O	X	X	φ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	φ	φ	X	X	X	φ	X	φ	X	φ	O	O	
0.64%	A	To be locally manufactured	X	X	X	φ	φ	X	O	φ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	φ	X	X	X	X	X	X	
0.14%	A	To provide fast charging	O	X	φ	O	X	X	O	X	X	X	O	φ	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	φ	O	X	X	X	X	X	
		Importance	229	97	207	301	55	109	171	22	101	84	190	135	132	138	204	101	81	69	267	185	164	292	278	187	234	152	92	199		
		Relative importance	5.1	2.2	4.6	6.7	1.2	2.4	3.8	0.5	2.3	1.9	4.2	3	2.9	3.1	4.6	2.2	1.8	1.5	6	4.1	3.7	6.5	6.2	4.2	5.2	3.4	2	4.4		
		Ranking order	6	22	7	1	27	19	13	28	20	24	10	17	18	16	8	21	25	26	4	12	14	2	3	11	5	15	23	9		

Figure 5 - QFD relationship between design requirements

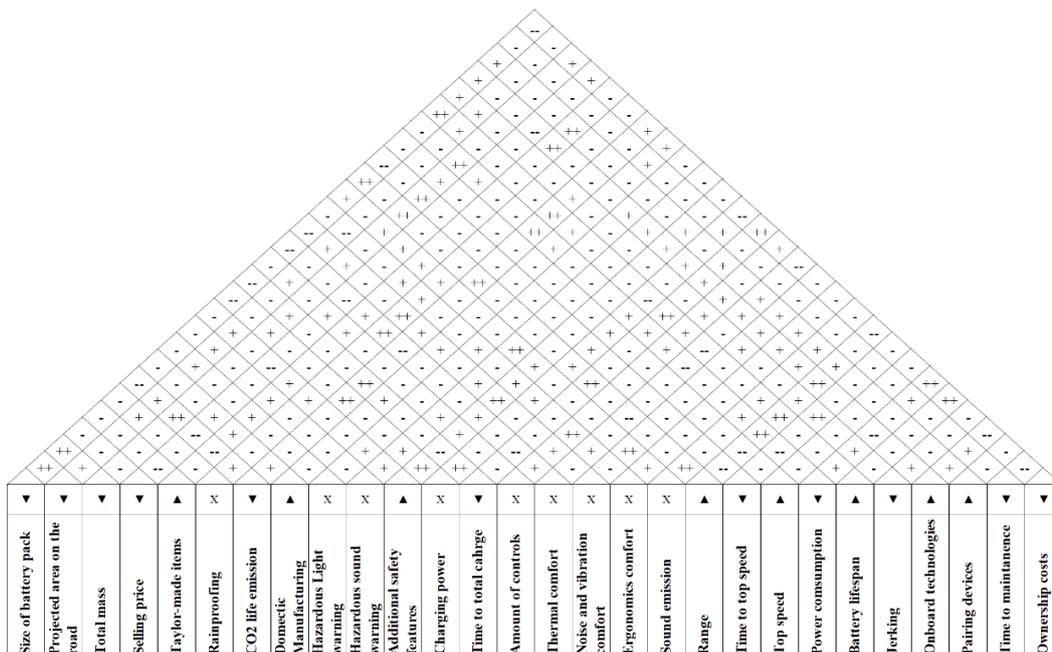


Table 5 - Design requirements after QFD evaluation

Class.	Requirement	Value
1 st	Selling price	6,73%
2 nd	Power consumption	6,51%
3 rd	Battery lifespan	6,22%
4 th	Range	5,97%
5 th	Onboard technologies	5,23%
6 th	Size of battery pack	5,13%
7 th	Total mass	4,62%
8 th	Thermal comfort	4,56%
9 th	Ownership costs	4,44%
10 th	Additional safety features	4,24%
11 th	Jerking	4,19%
12 th	Time to top speed	4,14%
13 th	CO ₂ life emission	3,83%
14 th	Top speed	3,68%
15 th	Pairing devices	3,39%
16 th	Amount of controls	3,09%
17 th	Charging power	3,01%
18 th	Time to total charge	2,95%
19 th	Rainproofing	2,44%
20 th	Hazardous Light warning	2,27%
21 th	Noise and vibration comfort	2,25%
22 th	Projected area on the road	2,17%
23 th	Time to maintenance	2,04%
24 th	Hazardous Sound warning	1,87%
25 th	Ergonomics	1,80%
26 th	Sound emission	1,55%
27 th	Taylor-made items	1,23%
28 th	Domestic manufacturing	0,48%

The main design requirement faced by the project team is the price, as it was expected for an emerging economy. The project must keep a low value to be able to penetrate the Brazilian market. Range anxiety is responsible for three high valued design requirements, directly related to the vehicle road range and battery performance. Performance and driving experience requirements, that are indirectly connected with price complete the second third of the ranked requirements. The order of importance confirms all the bibliography consulted in section 2 when the most cited barriers were the most important requirements in the project. It is important to remember that all requirements are established to achieve its goal values, and some are mandatory, regardless of the final score. The goal here is to focus the team efforts on the main specifications to product success and to help guide conflicting decisions in the project process.

It is noticeable that battery issues are strongly directed to the success of the product, and this reflects all the fears of new customers regarding innovative technology. Besides being the most expensive component, the battery must fulfill daily driving. In general, the ranking of design requirements led to an overall reliable and safe product. Designers must also aim at a comfortable ride with reasonable top speed and acceleration. Easy charging at any stop during the day is also crucial to allow freedom for the driver, that can attend all daily compromises without further concerns on the availability of dedicated charging stations for BEVS nearby.

DESIGN SPECIFICATIONS

The design specification list was processed after the numerical evaluation of the design requirements. The targets were based on the information available in the research community, international standards, the benchmark of the Brazilian fleet, and current EV models (EV Database, 2021). The outputs were all discussed with the design team, which produced the final list as shown in Table 6.

The selling price was determined by the average of US\$ per kW of BEV in the market seen in the database, as well as the average ownership costs in the Brazilian vehicle market. The Battery lifespan was determined by the average age of active vehicles in Brazil (Sindipeças and Abipeças, 2019). The values of power density and battery packing (Singh and Kalra, 2019) imply that the vehicle should operate with less than 0.65 kWh/km to safely achieve the 100 km of daily travel to (da Silva et al., 2018; Teixeira and Sodré, 2017). This density also limits the weight of the car to 700 kg according to Brazilian regulations, with the battery pack included. Batteries should also provide energy for cabin heating and cooling so the cabin temperature may be set between 15° C and 30° C (Cigarini et al., 2021; Cvok et al., 2021). Charging is made for common Brazil wall plugs at 240 V and 10 A. The charging time for this configuration must not exceed 4 hours to the full battery charge, allowing the vehicle for a daily routine, not only at home by all night. All this information must be easily transmitted to the driver with the use of onboard technologies of management and monitoring. Performance aspects are related to similar EVs performance, Brazilian traffic speed limits, and jerking research (Bae et al., 2019).

Hazardous warnings are designed based on data of hazardous light classes and noise perception on urban traffic, as long as a normal sound level on vehicle driving. Vibrations perceived by the driver must not exceed the limit of safety for daily use.

Table 6 - List of design specifications

Rank	Specifications	Goal target	Evaluation Procedure	Undesirable aspects
1	Selling price	< US\$14.000	Empirically	Poor market penetration
2	Power consumption	< 0.065 kWh/km	WLTP cycle	Larger battery pack
3	Battery lifespan	> 10 years	Degradation measuring	Expensive maintenance
4	Range	>100 km	WLTC	EV cannot fulfill daily customer needs
5	Onboard technologies	>3	Counting	Poor car-to-driver communication
6	Size of the battery pack	<0.045 m ³	Dimensions measuring	Extra weight and costs
7	Total mass	<700 kg	Weight measuring	High energy consumption and low performance
8	Thermal comfort	Between 15°C and 35°C	Temperature measuring	Uncomfortable experience of driving
9	Ownership costs	< 20% of selling price US\$ over 5 years	Summarizing maintenance, taxes, and energy costs	Long payback time and/or not to be financially viable
10	Additional safety features	>3	Total number	Insecure driver and passenger
11	Jerking	<0,09 m/s ³	Measurement	Difficulty to control the vehicle during acceleration
12	Time to top speed	< 11 s	Measurement	EV not feasible for traffic situations
13	CO ₂ life emission	< 50 tons	Measuring of CO ₂ emitted in production, using and discard	Not a sustainable product
14	Top speed	< 80 km/h	Measuring	EV not viable for traffic flow
15	Pairing devices	>3	Counting	Poor user interaction
16	Amount of controls	<4	Counting	Cumbersome driving
17	Charging power	<2.3 kW	Voltage and current measuring	Need of a special charging device
18	Time to total charge	<4h	Power measuring	Unviability for daily routine
19	Rainproofing	IP67	ISO 2653	Water damaging of internal components and comfort of occupants
20	Hazardous Light warning	SAE Class 2	SAE J595	Not to be noticed by pedestrians
21	Noise and vibration comfort	< 0,603 m/s ²	ISO 2631-1	Poor comfort, health and safety
22	Projected area on the road	< 2 m ²	Dimensions measuring	To be a problem for urban mobility

23	Time to maintenance	> 1 year	Counting	Need to frequently visit a specialized maintenance shop
24	Hazardous Sound warning	> 100 dB	Noise measuring	Not to be noticed by pedestrians
25	Ergonomics	>90% of population in recommended angles	Angles and percentile evaluation by (Peacock and Karwowski, 1993)	Uncomfortable ride
26	Sound emission	< 60 dB	Noise measuring during use	Poor comfort, health, and safety
27	Taylor-made items	>5	Counting	Unattractive to customers
28	Domestic manufacturing	>50%	Counting	Not eligible for government incentives and poor local industry development

The information above should be considered as success factors of EV technologies in Brazil according to the authors' methodology and reasoning. The results are consistent with the available literature and reflect the performance and technology expected for urban utilization. The ranking of design requirements can be used in the development of conceptual designs, numerically evaluating the concepts that will equip BEVs to attend to what the customers expect of those.

CONCLUSIONS

A methodological approach for the design of a BEV for emerging countries was proposed with a focus on the Brazilian market. The existing literature was explored for relevant information that would help to identify gaps and opportunities to attend to the customer needs. Customer requirements were determined based on the literature and numerically evaluated by the Mudge method. Design requirements were then originated and analyzed with the QFD matrix to determine the importance of each for the product success. The design specifications list was also determined, with target values for each design requirement to a proper product development of an EV for Brazil.

The specifications describe a small vehicle, suited for daily urban driving. Urban small distances are appropriated for BEV to gain popularity among citizens (Choma and Ugaya, 2017). Also, it reduces ICE pollution in cities using cleaner technology for the worst conditions of vehicle efficiency (Álvarez Fernández, 2018). The findings indicate that this concept can attend to the requirements raised in the literature review, and it can be the chance that customers

need to try an EV (Fang et al., 2020). The value that needs to be perceived in the vehicle (Asadi et al., 2021) is based on technological features and safety concerns on the specifications. More than that, the specifications list may be the path to shape the market into BEV utilization as proposed by (Kieckhäfer et al., 2017) to technology promotion and marketing.

Furthermore, the findings of the requirements evaluation may clear the path to other country markets. Results were specifically analyzed for the Brazilian market following (Tarei et al., 2021) recommendations, but similar economies and regions can benefit from the results. The current technology state and an emerging purchase power cannot afford more than a small city car, that could already attend to the majority of habitants needs. A small battery pack reduces the costs and infrastructure needed for BEV utilization and can be successful in countries with lower purchasing power like Indonesia (Riyanto et al., 2019), South Africa (Pillay et al., 2019), Turkey (İmre et al., 2021), and Latin American countries (Quiros-Tortos et al., 2019). A small vehicle is also favorable for parking in small urban spaces, like those in Indian streets. A rainproof cabin with thermal comfort allows the vehicle to be used in warm countries, like the tropical ones in Latin American, and in cold weather like Russia for instance. The main finding is that developing a small vehicle for daily urban use can fulfill customers expectations, at a considerably lower price than models already available. This can boost the knowledge of the BEV benefits and features, which is highly important to the acceptance of the electric vehicle as a viable solution for urban applications (Kieckhäfer et al., 2017).

An elevated selling price is a very strong factor for BEVs since the customers can think that a more equipped vehicle can be available at a similar price. The anxiety of running out of battery is also a crucial factor alongside charging. Other issues related to the battery, which is still the most expensive component of the vehicle, were also recurrent. With a focus on lowering the price as much as possible, while delivering a safe margin of daily range with acceptable performance, the BEV market could develop at a faster pace in Brazil and achieve full potential in emissions reduction. The findings imply that for the current state, the successful customer needs attending and market introduction should be made by a small urban car. Limited dislocation range and a small battery pack are consistent with the current state of the art and can fulfill daily commuting at a lower price. With the specifications listed in the results, the BEV could be more attractive to brazilian customers and develop its potential to reduce emissions.

The methodological approach used in this work could be applied to different countries just by raising the specific conditions and customer thinking on the intended EV market. This work established the small urban vehicle to be the better compromise for attending customer

needs with the available electric vehicle technology, and its results can be extended to similar climate and/or economy conditions.

REFERENCES

- Agência Senado, 2016a. Estímulo à compra de veículos elétricos recebe apoio da Comissão de Meio Ambiente [WWW Document]. URL <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2016/05/10/estimulo-a-compra-de-veiculos-eletricos-recebe-apoio-da-comissao-de-meio-ambiente> (accessed 7.15.20).
- Agência Senado, 2016b. Comissão aprova compra de carros elétricos com isenção de impostos [WWW Document]. URL <https://www12.senado.leg.br/noticias/audios/2016/05/comissao-aprova-compra-de-carros-eletricos-com-isencao-de-impostos> (accessed 7.15.20).
- Álvarez Fernández, R., 2018. A more realistic approach to electric vehicle contribution to greenhouse gas emissions in the city. *J. Clean. Prod.* 172, 949–959. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.158>
- Anderson, C.D., Anderson, J., 2010. *Electric and hybrid cars: A history*, Second Edi. ed. Jefferson: Mcfarland.
- ANFAVEA, 2021. Anuário da indústria automobilística brasileira.
- Armstrong, M., 2018. Most Important Factors When Buying a Car [WWW Document]. *Glob. Consum. Surv.* URL <https://www.statista.com/chart/13075/most-important-factors-when-buying-a-car/> (accessed 10.1.20).
- Asadi, S., Nilashi, M., Samad, S., Abdullah, R., Mahmoud, M., Alkinani, M.H., Yadegaridehkordi, E., 2021. Factors impacting consumers' intention toward adoption of electric vehicles in Malaysia. *J. Clean. Prod.* 282, 124474. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124474>
- Ayodele, B.V., Mustapa, S.I., 2020. Life Cycle Cost Assessment of Electric Vehicles: A Review and Bibliometric Analysis. *Sustainability* 12, 2387. <https://doi.org/10.3390/su12062387>
- Back, N., Ogliari, A., Dias, A., Silva, J.C. da, 2008. Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem. *Manole*.
- Bae, I., Moon, J., Seo, J., 2019. Toward a Comfortable Driving Experience for a Self-Driving Shuttle Bus. *Electronics* 8, 943. <https://doi.org/10.3390/electronics8090943>
- Bai, L., Sze, N.N., Liu, P., Guo, A., 2020. Effect of environmental awareness on electric bicycle users' mode choices. *Transp. Res. Part D* 82, 102320. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102320>

- Barros, M.V., Piekarski, C.M., De Francisco, A.C., 2018. Carbon footprint of electricity generation in Brazil: An analysis of the 2016-2026 period. *Energies* 11. <https://doi.org/10.3390/en11061412>
- Barth, M., Jugert, P., Fritsche, I., 2016. Still underdetected – Social norms and collective efficacy predict the acceptance of electric vehicles in Germany. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 37, 64–77. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.11.011>
- Bonges, H.A., Lusk, A.C., 2016. Addressing electric vehicle (EV) sales and range anxiety through parking layout, policy and regulation. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 83, 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.09.011>
- Bridi, R.M., Al Hosani, N., 2020. An analysis of potential adopter attitudes regarding electric vehicles: The case of university students in the United Arab Emirates. *Acta Univ. Carolinae, Geogr.* 55, 38–48. <https://doi.org/10.14712/23361980.2020.4>
- Burchart-Korol, D., Jursova, S., Fołga, P., Korol, J., Pustejovska, P., Blaut, A., 2018. Environmental life cycle assessment of electric vehicles in Poland and the Czech Republic. *J. Clean. Prod.* 202, 476–487. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.145>
- Cano, Z.P., Banham, D., Ye, S., Hintennach, A., Lu, J., Fowler, M., Chen, Z., 2018. Batteries and fuel cells for emerging electric vehicle markets. *Nat. Energy* 3, 279–289. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0108-1>
- Choma, E.F., Ugaya, C.M.L., 2017. Environmental impact assessment of increasing electric vehicles in the Brazilian fleet. *J. Clean. Prod.* 152, 497–507. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.091>
- Cigarini, F., Fay, T.A., Artemenko, N., Göhlich, D., 2021. Modeling and experimental investigation of thermal comfort and energy consumption in a battery electric bus. *World Electr. Veh. J.* 12, 1–22. <https://doi.org/10.3390/WEVJ12010007>
- CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN), 2015. Resolução N° 573. Brazil.
- Correa, G., Muñoz, P.M., Rodriguez, C.R., 2019. A comparative energy and environmental analysis of a diesel, hybrid, hydrogen and electric urban bus. *Energy* 187. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.115906>
- Costa, E., Seixas, J., Costa, G., Turrentine, T., 2017. Interplay between ethanol and electric vehicles as low carbon mobility options for passengers in the municipality of São Paulo. *Int. J. Sustain. Transp.* 11, 518–525. <https://doi.org/10.1080/15568318.2016.1276651>
- Cvok, I., Škugor, B., Deur, J., 2021. Control trajectory optimisation and optimal control of an electric vehicle HVAC system for favourable efficiency and thermal comfort. *Optim. Eng.* 22, 83–102. <https://doi.org/10.1007/s11081-020-09515-w>

- da Silva, F.L.R., Cavalca, K.L., Dedini, F.G., 2004. Combined application of QFD and VA tools in the product design process. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.* 21, 231–252. <https://doi.org/10.1108/02656710410517005>
- da Silva, R.E., Sobrinho, P.M., de Souza, T.M., 2018. How can energy prices and subsidies accelerate the integration of electric vehicles in Brazil? An economic analysis. *Electr. J.* 31, 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2018.03.007>
- de Assis Brasil Weber, N., da Rocha, B.P., Smith Schneider, P., Daemme, L.C., de Arruda Penteado Neto, R., 2019. Energy and emission impacts of liquid fueled engines compared to electric motors for small size motorcycles based on the Brazilian scenario. *Energy* 168, 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.051>
- de Jong, P., Barreto, T.B., Tanajura, C.A.S., Kouloukoui, D., Oliveira-Esquerre, K.P., Kiperstok, A., Torres, E.A., 2019. Estimating the impact of climate change on wind and solar energy in Brazil using a South American regional climate model. *Renew. Energy* 141, 390–401. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.086>
- de Jong, P., Kiperstok, A., Sánchez, A.S., Dargaville, R., Torres, E.A., 2016. Integrating large scale wind power into the electricity grid in the Northeast of Brazil. *Energy* 100, 401–415. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.026>
- De Mello, A.M., Marx, R., Souza, A., 2013. Exploring scenarios for the possibility of developing design and production competencies of electrical vehicles in Brazil. *Int. J. Automot. Technol. Manag.* 13, 289–314. <https://doi.org/10.1504/IJATM.2013.054922>
- de Souza, L.L.P., Lora, E.E.S., Palacio, J.C.E., Rocha, M.H., Renó, M.L.G., Venturini, O.J., 2018. Comparative environmental life cycle assessment of conventional vehicles with different fuel options, plug-in hybrid and electric vehicles for a sustainable transportation system in Brazil. *J. Clean. Prod.* 203, 444–468. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.236>
- DENATRAN, 2020. Frota de Veículos - 2020 [WWW Document]. Ministério da Infraestrutura. URL <https://infraestrutura.gov.br/component/content/article/115-portal-denatran/9484> (accessed 7.9.20).
- dos Santos Pergentino, A.C., Canedo, E.D., Lima, F., de Mendonça, F.L.L., 2020. Usability heuristics evaluation in search engine, *Lecture Notes in Computer Science* (including subseries *Lecture Notes in Artificial Intelligence* and *Lecture Notes in Bioinformatics*). https://doi.org/10.1007/978-3-030-49713-2_25
- Dresch, A., Lacerda, D.P., Júnior, J.A.V.A., 2015. *Design Science Research: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia, Métodos de Pesquisa*. Bookman Editora.

- Ehrenberger, S.I., Dunn, J.B., Jungemeier, G., Wang, H., 2019. An international dialogue about electric vehicle deployment to bring energy and greenhouse gas benefits through 2030 on a well-to-wheels basis. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 74, 245–254. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.07.027>
- EIA, 2020. Annual Energy Outlook.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2019. Brazilian energy balance.
- EV Database, 2021. Electric Vehicle Database [WWW Document]. URL <https://ev-database.org/> (accessed 4.10.21).
- Fang, Y., Wei, W., Mei, S., Chen, L., Zhang, X., Huang, S., 2020. Promoting electric vehicle charging infrastructure considering policy incentives and user preferences: An evolutionary game model in a small-world network. *J. Clean. Prod.* 258, 120753. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120753>
- Figenbaum, E., 2020. Battery electric vehicle fast charging-evidence from the norwegian market. *World Electr. Veh. J.* 11. <https://doi.org/10.3390/WEVJ11020038>
- Figenbaum, E., 2018. Electromobility status in Norway. Mastering long distances – the last hurdle to mass adoption. Oslo, Norway.
- Filoso, S., Carmo, J.B. do, Mardegan, S.F., Lins, S.R.M., Gomes, T.F., Martinelli, L.A., 2015. Reassessing the environmental impacts of sugarcane ethanol production in Brazil to help meet sustainability goals. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 52, 1847–1856. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.012>
- Flammini, M.G., Prettico, G., Julea, A., Fulli, G., Mazza, A., Chicco, G., 2019. Statistical characterisation of the real transaction data gathered from electric vehicle charging stations. *Electr. Power Syst. Res.* 166, 136–150. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.09.022>
- Flores, R.J., Shaffer, B.P., Brouwer, J., 2016. Electricity costs for an electric vehicle fueling station with Level 3 charging. *Appl. Energy* 169, 813–830. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.071>
- Goel, P., Sharma, N., Mathiyazhagan, K., Vimal, K.E.K., 2021. Government is trying but consumers are not buying: A barrier analysis for electric vehicle sales in India. *Sustain. Prod. Consum.* 28, 71–90. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.03.029>
- Graham-Rowe, E., Gardner, B., Abraham, C., Skippon, S., Dittmar, H., Hutchins, R., Stannard, J., 2012. Mainstream consumers driving plug-in battery-electric and plug-in hybrid electric cars: A qualitative analysis of responses and evaluations. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 46, 140–153. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.09.008>
- Habich-Sobiegalla, S., Kostka, G., Anzinger, N., 2018. Electric vehicle purchase intentions of

- Chinese, Russian and Brazilian citizens: An international comparative study. *J. Clean. Prod.* 205, 188–200. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.318>
- Hardman, S., Jenn, A., Tal, G., Axsen, J., Beard, G., Daina, N., Figenbaum, E., Jakobsson, N., Jochem, P., Kinnear, N., Plötz, P., Pontes, J., Refa, N., Sprei, F., Turrentine, T., Witkamp, B., 2018. A review of consumer preferences of and interactions with electric vehicle charging infrastructure. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 62, 508–523. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.04.002>
- Hasan, S., Simsekoglu, Ö., 2020. The role of psychological factors on vehicle kilometer travelled (VKT) for battery electric vehicle (BEV) users. *Res. Transp. Econ.* 82. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100880>
- Heidenreich, S., Kraemer, T., 2016. Innovations-Doomed to Fail? Investigating Strategies to Overcome Passive Innovation Resistance. *J. Prod. Innov. Manag.* 33, 277–297. <https://doi.org/10.1111/jpim.12273>
- Helmers, E., Marx, P., 2012. Electric cars: technical characteristics and environmental impacts. *Environ. Sci. Eur.* 24, 14. <https://doi.org/10.1186/2190-4715-24-14>
- Hou, F., Chen, Xiaotong, Chen, Xing, Yang, F., Ma, Z., Zhang, S., Liu, C., Zhao, Y., Guo, F., 2021. Comprehensive analysis method of determining global long-term GHG mitigation potential of passenger battery electric vehicles. *J. Clean. Prod.* 289, 125137. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125137>
- Høyer, K.G., 2008. The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. *Util. Policy* 16, 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2007.11.001>
- Huang, X., Ge, J., 2019. Electric vehicle development in Beijing: An analysis of consumer purchase intention. *J. Clean. Prod.* 216, 361–372. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.231>
- IEA, 2020. Global EV Outlook. Paris.
- İmre, Ş., Çelebi, D., Koca, F., 2021. Understanding barriers and enablers of electric vehicles in urban freight transport: Addressing stakeholder needs in Turkey. *Sustain. Cities Soc.* 68. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102794>
- Jefferies, D., 2017. Are micro EVs the future of city transport? [WWW Document]. URL <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2017/may/11/micro-evs-city-transport-suemens-renault-green-air-pollution> (accessed 9.12.20).
- Jensen, A.F., Cherchi, E., de Dios Ortúzar, J., 2014. A long panel survey to elicit variation in preferences and attitudes in the choice of electric vehicles. *Transportation (Amst)*. 41, 973–993. <https://doi.org/10.1007/s11116-014-9517-6>

- Jensen, A.F., Mabit, S.L., 2017. The use of electric vehicles: A case study on adding an electric car to a household. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 106, 89–99. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.09.004>
- Kieckhäfer, K., Wachter, K., Spengler, T.S., 2017. Analyzing manufacturers' impact on green products' market diffusion – the case of electric vehicles. *J. Clean. Prod.* 162, S11–S25. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.021>
- Kim, J., Rasouli, S., Timmermans, H., 2014. Expanding scope of hybrid choice models allowing for mixture of social influences and latent attitudes: Application to intended purchase of electric cars. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 69, 71–85. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.08.016>
- KNOEMA, 2020. Brazil - National rainfall index [WWW Document]. URL <https://knoema.com/atlas/Brazil/Rainfall-index> (accessed 4.3.21).
- Kumar, R.R., Alok, K., 2020. Adoption of electric vehicle: A literature review and prospects for sustainability. *J. Clean. Prod.* 253, 119911. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119911>
- Kwon, Y., Son, S., Jang, K., 2020. User satisfaction with battery electric vehicles in South Korea. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 82, 102306. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102306>
- Lajunen, A., Kivekäs, K., Vepsäläinen, J., Tammi, K., 2020. Influence of increasing electrification of passenger vehicle fleet on carbon dioxide emissions in Finland. *Sustain.* 12, 1–13. <https://doi.org/10.3390/su12125032>
- Lemme, R.F.F., Arruda, E.F., Bahiense, L., 2019. Optimization model to assess electric vehicles as an alternative for fleet composition in station-based car sharing systems. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 67, 173–196. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.11.008>
- Lévay, P.Z., Drossinos, Y., Thiel, C., 2017. The effect of fiscal incentives on market penetration of electric vehicles: A pairwise comparison of total cost of ownership. *Energy Policy* 105, 524–533. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.02.054>
- Li, L., Guo, S., Cai, H., Wang, J., Zhang, J., Ni, Y., 2020. Can China's BEV market sustain without government subsidies?: An explanation using cues utilization theory. *J. Clean. Prod.* 272. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122589>
- Li, W., Long, R., Chen, H., Geng, J., 2017. A review of factors influencing consumer intentions to adopt battery electric vehicles. *Renew. Sustain. Energy Rev.* <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.076>
- Liu, X., Sun, X., Li, M., Zhai, Y., 2020. The effects of demonstration projects on electric vehicle diffusion: An empirical study in China. *Energy Policy* 139, 111322.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111322>

- Lopez, N.S., Soliman, J., Biona, J.B.M., Fulton, L., 2020. Cost-benefit analysis of alternative vehicles in the Philippines using immediate and distant future scenarios. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 82, 102308. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102308>
- Luna, T.F., Uriona-Maldonado, M., Silva, M.E., Vaz, C.R., 2020. The influence of e-carsharing schemes on electric vehicle adoption and carbon emissions: An emerging economy study. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 79, 102226. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102226>
- Ma, Y., Ke, R.Y., Han, R., Tang, B.J., 2017. The analysis of the battery electric vehicle's potentiality of environmental effect: A case study of Beijing from 2016 to 2020. *J. Clean. Prod.* 145, 395–406. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.131>
- Marchán, E., Viscidi, L., 2015. Green transportation: The outlook for electric vehicles in Latin America.
- Marx, R., De Mello, A.M., 2014. New initiatives, trends and dilemmas for the Brazilian automotive industry: The case of Inovar Auto and its impacts on electromobility in Brazil. *Int. J. Automot. Technol. Manag.* 14, 138–157. <https://doi.org/10.1504/IJATM.2014.060751>
- Masiero, G., Ogasavara, M.H., Jussani, A.C., Risso, M.L., 2017. The global value chain of electric vehicles: A review of the Japanese, South Korean and Brazilian cases. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 80, 290–296. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.148>
- Menezes, E., Maia, A.G., de Carvalho, C.S., 2017. Effectiveness of low-carbon development strategies: Evaluation of policy scenarios for the urban transport sector in a Brazilian megacity. *Technol. Forecast. Soc. Change* 114, 226–241. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.016>
- Meszaros, F., Shatanawi, M., Ogunkunbi, G.A., 2020. Challenges of the electric vehicle markets in emerging economies. *Period. Polytech. Transp. Eng.* 49, 93–101. <https://doi.org/10.3311/PPTR.14037>
- Mossali, E., Picone, N., Gentilini, L., Rodríguez, O., Pérez, J.M., Colledani, M., 2020. Lithium-ion batteries towards circular economy: A literature review of opportunities and issues of recycling treatments. *J. Environ. Manage.* 264. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110500>
- Nie, Y., Wang, E., Guo, Q., Shen, J., 2018. Examining Shanghai consumer preferences for electric vehicles and their attributes. *Sustain.* 10, 1–16. <https://doi.org/10.3390/su10062036>

- Nuryakin, C., Riyanto, Riyadi, S.A., Damayati, A., Pratama, A.P., Gerald Massie, N.W., 2019. Socioeconomic Impacts and Consumer Preferences Analysis of Electrified Vehicle in Indonesia. ICEVT 2019 - Proceeding 6th Int. Conf. Electr. Veh. Technol. 2019 80–87. <https://doi.org/10.1109/ICEVT48285.2019.8993989>
- OICA, 2019. Sales statistics: Sales of new passenger cars 2005-2019 [WWW Document]. Organ. Int. des Constr. d'Automobiles. URL <http://www.oica.net/category/sales-statistics/>
- Oke, S.A., Onabajo, O.A., Oyekeye, M.O., Oluwo, A., Adeoye, S.A., 2009. Application of QFD and VA tools in the design of an automobile. *Int. J. Product. Qual. Manag.* 4, 525–548. <https://doi.org/10.1504/IJPQM.2009.025184>
- Orsi, F., Muratori, M., Rocco, M., Colombo, E., Rizzoni, G., 2016. A multi-dimensional well-to-wheels analysis of passenger vehicles in different regions: Primary energy consumption, CO₂ emissions, and economic cost. *Appl. Energy* 169, 197–209. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.039>
- Ou, S., Lin, Z., He, X., Przesmitzki, S., Bouchard, J., 2020. Modeling charging infrastructure impact on the electric vehicle market in China. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 81, 102248. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102248>
- Pagany, R., Ramirez Camargo, L., Dorner, W., 2019. A review of spatial localization methodologies for the electric vehicle charging infrastructure. *Int. J. Sustain. Transp.* 13, 433–449. <https://doi.org/10.1080/15568318.2018.1481243>
- Panwar, U., Kumar, A., Chakrabarti, D., 2019. Barriers in implementation of electric vehicles in India. *Int. J. Electr. Hybrid Veh.* 11, 195–204. <https://doi.org/10.1504/IJEHV.2019.101273>
- Peacock, B., Karwowski, W., 1993. *Automotive Ergonomics*. Taylor & Francis, Londo.
- Pillay, N.S., Brent, A.C., Musango, J.K., 2019. Affordability of battery electric vehicles based on disposable income and the impact on provincial residential electricity requirements in South Africa. *Energy* 171, 1077–1087. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.148>
- Qian, L., Yin, J., 2017. Linking Chinese cultural values and the adoption of electric vehicles: The mediating role of ethical evaluation. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 56, 175–188. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.07.029>
- Quak, H., Nesterova, N., van Rooijen, T., 2016. Possibilities and Barriers for Using Electric-powered Vehicles in City Logistics Practice. *Transp. Res. Procedia* 12, 157–169. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.055>
- Quiros-Tortos, J., Victor-Gallardo, L., Ochoa, L., 2019. Electric Vehicles in Latin America: Slowly but Surely Toward a Clean Transport. *IEEE Electrifi. Mag.* 7, 22–32.

<https://doi.org/10.1109/MELE.2019.2908791>

- Ramsbrock, J., Vilimek, R., Weber, J., 2013. Exploring Electric Driving Pleasure – The BMW EV Pilot Projects. pp. 621–630. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39262-7_70
- Rietmann, N., Lieven, T., 2019. How policy measures succeeded to promote electric mobility – Worldwide review and outlook. *J. Clean. Prod.* 206, 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.121>
- Rigo, P.D., Siluk, J.C.M., Lacerda, D.P., Rosa, C.B., Rediske, G., 2019. Is the success of small-scale photovoltaic solar energy generation achievable in Brazil? *J. Clean. Prod.* 240, 118243. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118243>
- Riyanto, R., Riyadi, S.A., Nuryakin, C., Gerald Massie, N.W., 2019. Estimating the Total Cost of Ownership (TCO) of Electrified Vehicle in Indonesia. *ICEVT 2019 - Proceeding 6th Int. Conf. Electr. Veh. Technol. 2019* 88–99. <https://doi.org/10.1109/ICEVT48285.2019.8994030>
- Romano, L.N., Back, N., Oglari, A., Marini, V.K., 2005. An introduction to the reference model for the agricultural machinery development process. *Prod. Manag. Dev.* 3, 109–132.
- Salvo, O. de, Vaz de Almeida, F.G., 2019. Influence of technologies on energy efficiency results of official Brazilian tests of vehicle energy consumption. *Appl. Energy* 241, 98–112. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.02.042>
- Sang, Y.N., Bekhet, H.A., 2015. Modelling electric vehicle usage intentions: An empirical study in Malaysia. *J. Clean. Prod.* 92, 75–83. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.045>
- Schmalfuß, F., Mühl, K., Krems, J.F., 2017. Direct experience with battery electric vehicles (BEVs) matters when evaluating vehicle attributes, attitude and purchase intention. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 46, 47–69. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2017.01.004>
- Schmidt, J., Cancelli, R., Pereira, A.O., 2016. An optimal mix of solar PV, wind and hydro power for a low-carbon electricity supply in Brazil. *Renew. Energy* 85, 137–147. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.010>
- Schneiderei, T., Franke, T., Günther, M., Krems, J.F., 2015. Does range matter? Exploring perceptions of electric vehicles with and without a range extender among potential early adopters in Germany. *Energy Res. Soc. Sci.* 8, 198–206. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.06.001>
- Schuitema, G., Anable, J., Skippon, S., Kinnear, N., 2013. The role of instrumental, hedonic and symbolic attributes in the intention to adopt electric vehicles. *Transp. Res. Part A Policy Pract.* 48, 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2012.10.004>

- She, Z.Y., Qing Sun, Ma, J.J., Xie, B.C., 2017. What are the barriers to widespread adoption of battery electric vehicles? A survey of public perception in Tianjin, China. *Transp. Policy* 56, 29–40. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.03.001>
- Sierra Rodriguez, A., de Santana, T., MacGill, I., Ekins-Daukes, N.J., Reinders, A., 2020. A feasibility study of solar PV-powered electric cars using an interdisciplinary modeling approach for the electricity balance, CO₂ emissions, and economic aspects: The cases of The Netherlands, Norway, Brazil, and Australia. *Prog. Photovoltaics Res. Appl.* 28, 517–532. <https://doi.org/10.1002/pip.3202>
- Simsekoglu, Ö., Nayum, A., 2019. Predictors of intention to buy a battery electric vehicle among conventional car drivers. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 60, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.10.001>
- Sindipeças, Abipeças, 2019. Relatório da Frota Circulante - edição 2019 13.
- Singh, A., Kalra, V., 2019. Electrospun nanostructures for conversion type cathode (S, Se) based lithium and sodium batteries. *J. Mater. Chem. A* 7, 11613–11650. <https://doi.org/10.1039/c9ta00327d>
- Tarei, P.K., Chand, P., Gupta, H., 2021. Barriers to the adoption of electric vehicles: Evidence from India. *J. Clean. Prod.* 291, 125847. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125847>
- Teixeira, A.C.R., Da Silva, D.L., MacHado Neto, L.D.V.B., Diniz, A.S.A.C., Sodr e, J.R., 2015. A review on electric vehicles and their interaction with smart grids: The case of Brazil. *Clean Technol. Environ. Policy* 17, 841–857. <https://doi.org/10.1007/s10098-014-0865-x>
- Teixeira, A.C.R., Sodr e, J.R., 2017. Drivers' View on the Introduction of Electric Vehicles in the Taxi Fleet of a Brazilian Large City. *SAE Tech. Pap.* 2017-Novem. <https://doi.org/10.4271/2017-36-0089>
- Trentini, S., Colin, B., 2015. Brazil is ramping up support of electric vehicles [WWW Document]. URL <https://thecityfix.com/blog/brazil-is-ramping-up-support-of-electric-vehicles/> (accessed 7.5.20).
- Tu, J.-C., Yang, C., 2019. Key Factors Influencing Consumers' Purchase of Electric Vehicles. *Sustainability* 11, 3863. <https://doi.org/10.3390/su11143863>
- U.S. OSAC, 2021. OSAC Analysis: Brazil [WWW Document]. URL <https://www.osac.gov/Country/Brazil/Detail> (accessed 4.1.21).
- UNEP, 2020. Global fuel economy initiative: Country overview [WWW Document]. United Nations Environmental Progr. URL <http://www.airqualityandmobility.org/gfeitoolkit/#/countryprofiles/latinamerica/brazil> (accessed 7.8.20).

- Utami, M.W. Dela, Haryanto, A.T., Sutopo, W., 2020. Consumer perception analysis of electric car vehicle in Indonesia. *AIP Conf. Proc.* 2217. <https://doi.org/10.1063/5.0000541>
- Vargas, J.E.V., Seabra, J.E.A., Cavaliero, C.K.N., Walter, A.C.S., Souza, S.P., Falco, D.G., 2020. The new neighbor across the street: An outlook for battery electric vehicles adoption in Brazil. *World Electr. Veh. J.* 11. <https://doi.org/10.3390/WEVJ11030060>
- Velandia Vargas, J.E., Falco, D.G., da Silva Walter, A.C., Cavaliero, C.K.N., Seabra, J.E.A., 2019. Life cycle assessment of electric vehicles and buses in Brazil: effects of local manufacturing, mass reduction, and energy consumption evolution. *Int. J. Life Cycle Assess.* 24, 1878–1897. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01615-9>
- Vernadat, F., 1996. *Enterprise Modeling and Integration*. Springer Netherlands.
- Wang, F.P., Yu, J.L., Yang, P., Miao, L.X., Ye, B., 2017. Analysis of Barriers to Wide Spread Adoption of Electric Vehicles in Shenzhen China. *Sustain.* 9, 1–20. <https://doi.org/10.3390/su9040522>
- Wang, G., Makino, K., Harmandayan, A., Wu, X., 2020. Eco-driving behaviors of electric vehicle users: A survey study. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 78, 102188. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.11.017>
- Wang, K., Wan, J., Xiang, Y., Zhu, J., Leng, Q., Wang, M., Xu, L., Yang, Y., 2020. Recent advances and historical developments of high voltage lithium cobalt oxide materials for rechargeable Li-ion batteries. *J. Power Sources* 460, 228062. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228062>
- Wang, L., Fu, Z.L., Guo, W., Liang, R.Y., Shao, H.Y., 2020a. What influences sales market of new energy vehicles in China? Empirical study based on survey of consumers' purchase reasons. *Energy Policy* 142. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111484>
- Wang, L., Wang, X., Yang, W., 2020b. Optimal design of electric vehicle battery recycling network – From the perspective of electric vehicle manufacturers. *Appl. Energy* 275, 115328. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115328>
- Wassie, Y.T., Adaramola, M.S., 2019. Potential environmental impacts of small-scale renewable energy technologies in East Africa: A systematic review of the evidence. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 111, 377–391. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.037>
- Weiller, C., Neely, A., 2014. Using electric vehicles for energy services: Industry perspectives. *Energy* 77, 194–200. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.06.066>
- Weiss, M., Dekker, P., Moro, A., Scholz, H., Patel, M.K., 2015. On the electrification of road transportation - A review of the environmental, economic, and social performance of electric two-wheelers. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 41, 348–366.

<https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.09.007>

Zarazua de Rubens, G., 2019. Who will buy electric vehicles after early adopters? Using machine learning to identify the electric vehicle mainstream market. *Energy* 172, 243–254. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.114>

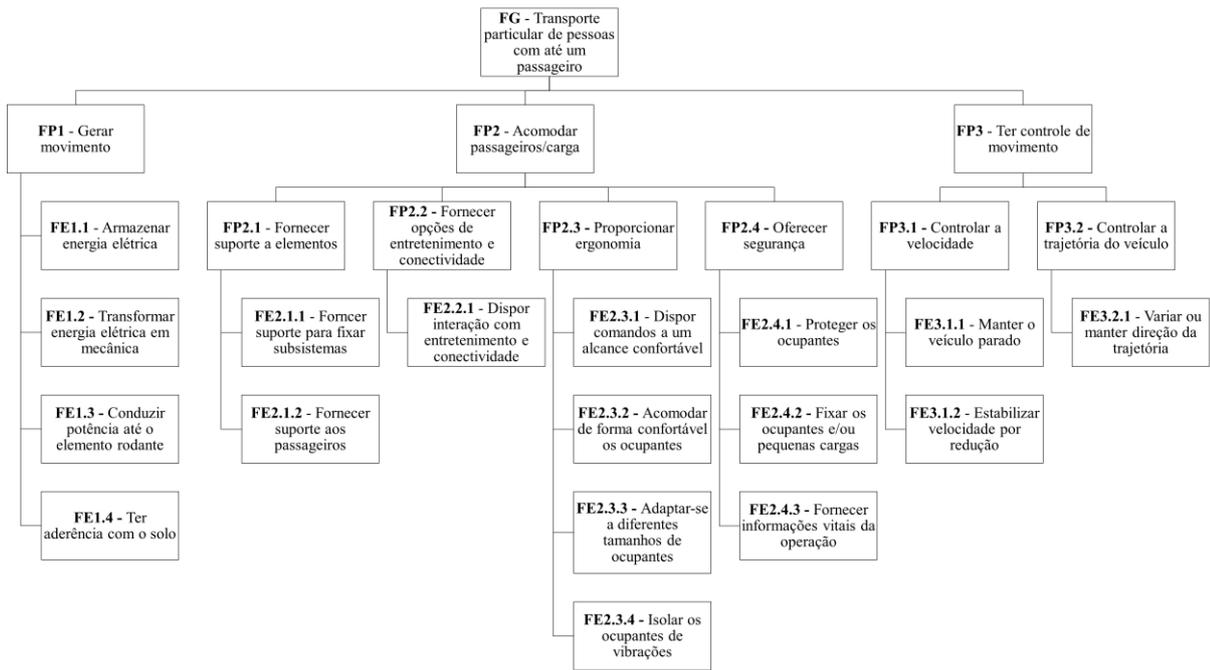
4.3 PROJETO CONCEITUAL

Com a aprovação das especificações de projeto, foi possível dar início a fase de projeto conceitual com a análise funcional do produto e proposta de princípios de solução para estes. Com isso, pôde-se selecionar concepções para o produto, e avaliar estas mediante o quão bem atendem as especificações determinadas no capítulo anterior.

4.3.1 **Análise funcional**

A análise das funções pretendidas no veículo é realizada a partir da declaração da função global, dividindo essa em funções parciais e elementares. Isso resulta na estrutura de funções do veículo elétrico vista na Figura 27, onde “FG” indica função global, “FP” função parcial e “FE” função elementar. Cada uma destas tem alguns princípios de solução, que são discutidos e elencados em uma matriz morfológica, que engloba todas as possibilidades para a geração de concepções. O Quadro 16 ilustra a matriz morfológica com as principais funções do veículo, e os princípios de solução para cada uma, que podem ser combinados para gerar as concepções do veículo a serem analisadas.

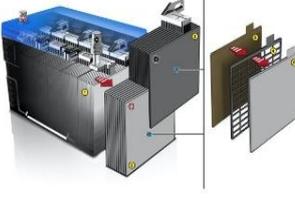
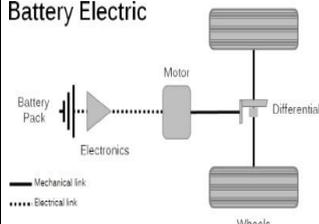
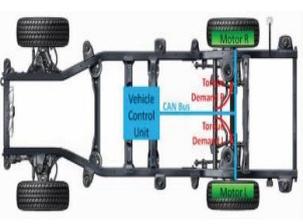
Figura 27 –Estrutura de funções do VE



Fonte: Autor

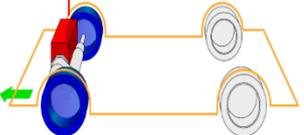
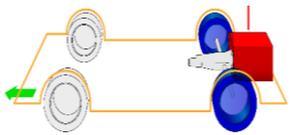
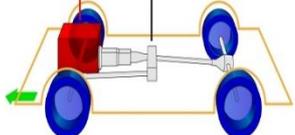
Quadro 16 – Matriz morfológica de princípios de solução

(continua)

FUNÇÕES	Princípio de solução 1	Princípio de solução 2	Princípio de solução 3
FE1.1 - Armazenar energia elétrica	Bateria de lítio	Baterias de chumbo	
			
FE1.2 - Transformar energia elétrica em mecânica	Motor <i>inboard</i>	Motor <i>inwheel</i>	
			

Quadro 16 – Matriz morfológica de princípios de solução

(continuação)

	Caixa + diferencial	Acoplamento direto	
FE1.3 - Conduzir potência ao elemento rodante (Acoplamento)			
	Tração dianteira	Tração traseira	4x4
FE1.3 - Conduzir potência ao elemento rodante (Eixo de tração)			
	Pneus Inmetro		
FE1.4 – Ter aderência com o solo			
	Monobloco	Chassi longarina + tubular	
FE2.1.1 – Fornecer suporte para fixar subsistemas			

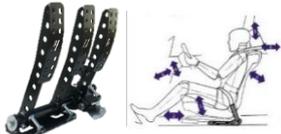
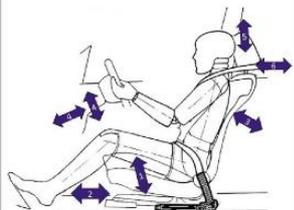
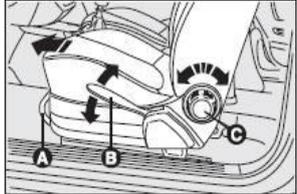
Quadro 16 – Matriz morfológica de princípios de solução

(continuação)

	Multimídia	Sistema de som	Suporte para smartphone
FP2.2.1 - Dispor interação com entretenimento e conectividade			
FE2.3.1 - Dispor comandos a um alcance confortável	Painel com botões 	Tela touchscreen 	
FE2.1.2 - Fornecer suporte aos passageiros	Linear 	Lado a lado 	
FE2.3.2 - Acomodar de forma confortável os ocupantes	Bancos de espuma 	Bancos poliméricos+ almofadas 	

Quadro 16 – Matriz morfológica de princípios de solução

(continuação)

	Regulagem de volante, banco e pedais	Somente banco e volante	Somente banco
FE2.3.3 - Adaptar-se a diferentes tamanhos de ocupantes			
FE2.3.4 - Isolar os ocupantes de vibrações	Suspensão passiva	Suspensão ativa	Coxins
			
FE2.4.1 - Proteger os ocupantes	Carenagem metálica	Carenagem de compósitos	
			
FE2.4.2 - Fixar ocupantes/pequenas cargas	Cintos de segurança	Cintos de segurança e suportes	
			

Quadro 16 – Matriz morfológica de princípios de solução

(conclusão)

FE2.4.3 - Fornecer informações vitais da operação	Painel luminoso		
			
FE3.1.2 - Estabilizar velocidade por redução	Freio a disco	Freio a tambor	Misto
			
FE3.1.1 - Manter o veículo parado	Freio de estacionamento hidráulico	Freio de estacionamento a cabo	Freio de estacionamento eletrônico
			
FE3.2.1 - Variar ou manter direção da trajetória	Caixa de direção	Vetorização de torque	
			

Fonte: Autor

Cada concepção formada foi analisada de acordo com os requisitos de projeto e o quão bem atendiam a estes, mas foi possível o impacto de cada princípio de solução no veículo como um todo. Por exemplo, o armazenamento de energia dá-se nas duas principais tecnologias de baterias, de lítio e chumbo. A escolha tem relação direta com a eficiência das baterias; a densidade de potência e o custo final da escolha.

A principal escolha de conceito do veículo é no sistema de transmissão deste. Pode-se optar por um motor central, conectado a uma caixa de transmissão e um diferencial, que

transmitirá potência às rodas por meio de eixos homocinéticos e permitirá as rodas terem velocidades distintas. Por outro lado, a escolha de motores diretamente acoplados às rodas elimina a necessidade desses elementos mecânicos; o que exige uma estratégia de controle mais elaborada e pode ser um dificultador da isolação de vibrações, pois está posicionada na massa não suspensa do veículo.

O suporte, e proteção aos ocupantes, pode ser realizado por meio de um monobloco, ou chassi tubular com uma longarina. Aqui, o custo e complexidade de produção são os fatores determinantes na escolha. Monoblocos tem um maior custo de produção, porém um melhor controle de fabricação e menos etapas, já que em um chassi tubular cada suporte terá de ser fabricado separadamente, o que pode aumentar os erros do processo como um todo.

Entretenimento e conectividade são avaliados de acordo com o custo, e quais as expectativas do usuário. Um emparelhamento digital é dito como mandatório, para que mídias e outras informações possam ser compartilhadas entre o veículo e dispositivos móveis.

Os controles do veículo podem ser posicionados a frente do volante, no painel de informações. Uma opção de menor custo é dispor esses comandos em botões de fácil alcance, com a contrapartida que a interface de usuário é fixa depois do veículo ter sido fabricado; além de que diferentes versões do veículo podem apresentar configurações diferentes. Uma tela *touchscreen* pode oferecer diferentes interfaces e possibilita mudanças, mas tem um custo considerável a ser acrescido.

Outro ponto passível de discussão, é onde acomodar o passageiro. Geralmente essa posição é no lado do motorista, mas em um veículo com uma pequena massa e comprimento reduzido, a presença de apenas um só passageiro pode deslocar o centro de gravidade de forma demasiada até a ponto de comprometer a segurança em manobras de curva. Por outro lado, um passageiro na parte de trás pode complicar o conforto e ergonomia dos ocupantes, devido às pequenas dimensões.

Os bancos que acomodam os ocupantes podem ser os bancos estofados que são comuns em veículos, mas ocupam um grande espaço e apresentam uma alta massa agregada, o que compromete a eficiência e o desempenho. Outra possibilidade é a de construir os bancos com fibra e apenas estofar as partes que entram em contato com o passageiro, o que pode prejudicar um pouco o conforto.

Todas as regulagens possíveis para o conforto dos ocupantes podem ser realizadas: pedais, banco e volante. Entretanto, regulagens de pedais não são fáceis de serem realizadas pelo motorista. A possibilidade de regulagem do volante necessita a adição de uma junta angular no sistema; e a regulagem dos bancos demanda um trilho regulável, além de que em bancos de

fibra a regulagem de postura não é possível. Todas essas alterações agregam custo e massa ao produto final.

O isolamento de vibrações é função primordial do sistema de suspensão, em que a grande questão é qual tecnologia será empregada em amortecedores e molas. Ainda, há a possibilidade de incluir coxins para redução de vibrações diretamente no motorista, desde que não entre em conflito com as opções de regulagem dos bancos.

O lado externo do veículo pode ser fabricado com o uso de materiais metálicos, que são mais resistentes e oferecem uma proteção maior. Materiais compósitos tem uma fabricação mais simples e são mais fáceis em relação à manutenção, porém não oferecem uma proteção contra impactos tão grande; ou podem se tornar mais caros se os compósitos utilizados forem pensados em resistência a impactos.

Os passageiros são por norma, fixados por meio de cintos de segurança que atendam à legislação vigente. Contudo, há espaço para desenvolvimento de fixadores e outros porta-objetos no banco traseiro, de modo que seja possível transformar o banco do passageiro em um compartimento para transporte de pequenas cargas.

Os freios do veículo podem ser à disco; tambor ou uma mistura dessas tecnologias. Freios a disco são mais caros, porém apresentam um desempenho consideravelmente melhor do que freios a tambor. Pode haver uma mescla dessas tecnologias, utilizando o freio a disco no eixo dianteiro, que é mais exigido durante a frenagem.

Para manter o veículo imóvel, tem-se as opções de freio de mão hidráulico, que irá utilizar algum artefato para manter a pressão no sistema; freios de mão acionados por cabo – estes requerem um freio a tambor na parte traseira; e um freio de mão eletrônico, que controlará por um servomotor a pinça de freio. Aqui, é importante ver o impacto dessa escolha no sistema de freio, e o custo de implementação.

Por fim, o controle de direção pode ser realizado por meio de uma caixa de direção, que pode contar com auxílio eletro hidráulico ou puramente elétrico; ou uma programação dos motores para que o torque seja vetorizado e que esse seja o mecanismo para mudança de direção, induzindo um momento de *yaw* no centro de massa do veículo.

4.3.2 Análise da concepção do motor

Uma concepção de único motor apresenta ligeiramente um menor custo e, embora entregue uma relação de eficiência x performance inferior, é o mais indicado para o compromisso de baixo custo e eficiência (OTHAGANONT; ASSADIAN; AUGER, 2017). Ainda, o controle é bem simplificado em relação à configuração com motores diretamente

acoplados nas rodas, e a tecnologia é bem conhecida, já que se assemelha muito a um trem de força de um veículo dotado de MCI.

Por outro lado, os elementos adicionais à transmissão têm desvantagens principalmente na massa e no impacto ambiental, já que o óleo lubrificante da caixa e do diferencial e a graxa das homocinéticas tem um impacto nocivo no ambiente. Óleos lubrificantes representam uma grande ameaça para a poluição dos solos e da água, além de serem uma ameaça à saúde das pessoas pois podem provocar doenças neurológicas e respiratórias (NOWAK; KUCHARSKA; KAMIŃSKI, 2019). Além disso, um veículo com motores nas rodas pode reduzir até 25% da massa no sistema de transmissão (OTHAGANONT; ASSADIAN; AUGER, 2017), o que é traduzido em uma necessidade de armazenamento menor nas baterias e uma maior eficiência. A topologia de motor nas rodas pode representar um aumento de até 10% de eficiência em ciclos de condução (WANG et al., 2018). Isso os faz serem recomendados para um compromisso entre performance e eficiência, com um leve acréscimo no custo, sendo visto como o sistema de propulsão do pequeno carro urbano (OTHAGANONT; ASSADIAN; AUGER, 2017). Somado ao controle mais complexo, essa topologia oferece em contrapartida estratégias que podem auxiliar em manobras de curva, disponibilizando torque sob demanda para cada roda separadamente. Apesar de isso exigir um controle ainda mais complexo, isso aumenta a segurança e a estabilidade do veículo, enquanto ainda pode aumentar o prazer do ato de dirigir (KNAUDER et al., 2014). A estratégia de vetorização de torque também traz benefícios em cargas adversas inclusive em eventos de aceleração e frenagem (SMITH et al., 2018), e em manobras de curva pode até reduzir em 10% o coeficiente de subesterço, facilitando a manobrabilidade em situação de emergência (GHOSH; TONOLI; AMATI, 2015).

Devido ao grande impacto que a escolha da arquitetura dos motores traz ao veículo, a escolha dessa concepção foi feita de maneira prévia ao restante. Para isso, os requisitos de projeto foram utilizados para a avaliação de quão bem essas concepções atendem a cada um destes, de maneira sugerida por Back et al. (2008), utilizando o peso (p_i) de cada requisito para a multiplicação do resultado final. Utilizando a pontuação vista na Tabela 1, o preenchimento da avaliação dessas concepções pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 1 - Valores de acordo com o atendimento das especificações de projeto

Valor v_i	Descrição
0	Não atende
3	Atende fracamente
5	Atende medianamente
7	Atende bem
10	Atende muito bem

Fonte: Autor

Tabela 2 - Comparação das concepções de motores

Especificação	Peso	Motor nas rodas		Motor central	
	p_i	v_i	p_i*v_i	v_i	p_i*v_i
Preço de venda	6,73	5	33,65	7	47,11
Consumo energético	6,51	10	65,10	7	45,57
Vida útil da bateria	6,22	7	43,54	7	43,54
Autonomia	5,97	7	41,79	5	29,85
Tecnologias embarcadas	5,23	10	52,30	7	36,61
Volume de baterias	5,13	7	35,91	5	25,65
Massa total	4,62	7	32,34	5	23,10
Conforto térmico	4,56	0	0,00	0	0,00
Custos de manutenção	4,44	3	13,32	7	31,08
Recursos de segurança adicionais	4,24	7	29,68	5	21,20
<i>Jerking</i>	4,19	7	29,33	5	20,95
Tempo para velocidade máxima	4,14	5	20,70	5	20,70
Emissão de CO ₂ na vida útil	3,83	3	11,49	0	0,00
Velocidade máxima	3,68	5	18,40	5	18,4
Dispositivos pareáveis	3,39	0	0,00	0	0,00
Número de comandos	3,09	0	0,00	0	0,00
Potência de carregamento	3,01	3	9,03	3	9,03
Tempo para carga total	2,95	3	8,85	3	8,85
Proteção à água	2,44	0	0,00	0	0,00
Aviso luminoso	2,27	0	0,00	0	0,00
Conforto e NVH	2,25	3	6,75	5	11,25
Área total na rodovia	2,17	0	0,00	0	0,00
Tempo para manutenção	2,04	3	6,12	5	10,20
Aviso sonoro	1,87	0	0,00	0	0,00
Ergonomia	1,8	5	9,00	3	5,40
Emissão sonora	1,55	7	10,85	5	7,75
Itens sob medida	1,23	7	8,61	5	6,15
Manufatura nacional	0,48	3	1,44	7	3,36
Resultado	-	-	488,2	-	425,75

Fonte: Autor

A Tabela 2 foi preenchida de acordo com as informações trazidas anteriormente, com os prós e contras de cada topologia. As vantagens do motor central estão no preço de venda; no custo de manutenção, pois a manutenção de um segundo motor tem maior custo que a manutenção de componentes mecânicos; no conforto e nos ruídos e vibrações (NVH), já que não haverá uma maior massa suspensa, embora o sistema, como um todo, também emita vibrações que não existem no motor elétrico; no tempo para manutenção e na manufatura nacional, que engloba fabricação de elementos de transmissão, mas não de motores elétricos.

O motor diretamente acoplado à roda, por sua vez, leva vantagem em eficiência, já que é o máximo que se pode atingir quando se acopla este na roda e em tecnologias embarcadas, devido aos controles que se pode desenvolver com essa concepção. Isso reflete na maior nota em autonomia e volume de baterias, por uma maior eficiência, e em recursos de segurança. A massa é menor e recebe uma pontuação maior; assim como o *Jerking* que pode ser minimizado com o controle. Pela ausência de lubrificantes e componentes mecânicos, há uma menor emissão de CO₂. O espaço extra confere vantagens em ergonomia e itens sob medida. Por fim, por não possuir engrenagens e acoplamentos, o ruído é menor, o que aumenta sua nota em emissão sonora. Os demais atributos não possuem diferenciação significativa entre as duas tecnologias.

Assim, determinada a utilização de motores diretamente conectado às rodas, iniciam-se as propostas de concepção finais do veículo, e a análise dessas de forma análoga ao que foi realizado com os motores.

4.3.3 Propostas de concepções

A formação de concepções se dá pela combinação de diversos princípios de solução da matriz morfológica mostrada no Quadro 16, de modo a formar um conceito para o veículo elétrico. Alguns princípios de solução alteram o funcionamento do veículo, sua eficiência e a estratégia de controle a ser utilizada, sem apresentar impactos físicos e estéticos ao produto. Outros, por sua vez, definem propriedades como as dimensões, leiaute e interface de interação do motorista com o veículo, e podem ser facilmente visualizados.

A discussão sobre as possíveis concepções do veículo gerou 8 concepções a serem analisadas de acordo com as especificações de projeto. Dentre as concepções geradas, cada uma tem sua peculiaridade: A concepção “A” é focada no menor custo possível para o veículo, enquanto que a concepção “B” foca na maior eficiência possível. A concepção “C” abrange uma concepção com o mínimo de massa, e a concepção “D” com enfoque em toda a tecnologia que se pode instalar no veículo. A concepção “E” é focada na ergonomia dos ocupantes,

enquanto que as concepções “F”, “G” e “H” são alternativas que mesclam as 5 concepções anteriores, buscando um compromisso entre elas que irá atingir a maior valoração de acordo com todos os requisitos de projeto. A concepção “F” mantém a ideia de tecnologia e massa mínima; a concepção “G” foca em eficiência e tecnologia, e a concepção “H” mantém custo e ergonomia como enfoques principais. A Figura 28 ilustra a construção dessas concepções.

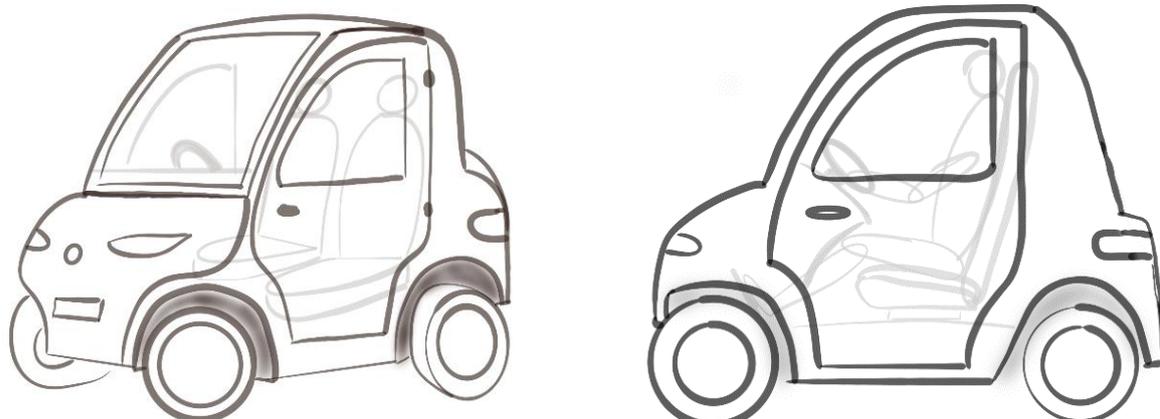
Figura 28 - Construção das concepções geradas

CONCEPÇÃO A	CONCEPÇÃO B	CONCEPÇÃO C	CONCEPÇÃO D
Baterias de chumbo	Bateria de lítio	Bateria de lítio	Bateria de lítio
Motor inwheel	Motor inwheel	Motor inwheel	Motor inwheel
Acoplamento direto	Acoplamento direto	Acoplamento direto	Acoplamento direto
Tração traseira	Tração dianteira	Tração traseira	4x4
Pneus Inmetro	Pneus Inmetro	Pneus Inmetro	Pneus Inmetro
Chassi longarina + tubular	Chassi longarina + tubular	Chassi longarina + tubular	Monobloco
Suporte para smartphone	Suporte para smartphone	Multimídia	Multimídia
Painel com botões	Painel com botões	Painel com botões	Tela touchscreen
Lado a lado	Linear	Lado a lado	Lado a lado
Bancos poliméricos+ almofadas	Bancos poliméricos+ almofadas	Bancos poliméricos+ almofadas	Bancos de espuma
Somente banco	Regulagem de banco e volante	Regulagem de banco e volante	Regulagem de volante, banco e pedais
Coxins	Suspensão ativa	Suspensão ativa	Suspensão ativa
Carenagem de compósitos	Carenagem de compósitos	Carenagem de compósitos	Carenagem metálica
Cintos de segurança	Cintos de segurança	Cintos de segurança	Cintos e suportes
Painel luminoso	Painel luminoso	Painel luminoso	Painel luminoso
Freios a tambor	Freios a disco	Freios a disco	Freios a disco
Freio de estacionamento a cabo	Freio de estacionamento a cabo	Freio de estacionamento eletrônico	Freio de estacionamento eletrônico
Caixa de direção	Caixa de direção	Vetorização de torque	Vetorização de torque
CONCEPÇÃO E	CONCEPÇÃO F	CONCEPÇÃO G	CONCEPÇÃO H
Baterias de chumbo	Baterias de chumbo	Bateria de lítio	Baterias de chumbo
Motor inwheel	Motor inwheel	Motor inwheel	Motor inwheel
Acoplamento direto	Acoplamento direto	Acoplamento direto	Acoplamento direto
Tração traseira	4x4	Tração traseira	Tração dianteira
Pneus Inmetro	Pneus Inmetro	Pneus Inmetro	Pneus Inmetro
Monobloco	Chassi longarina + tubular	Chassi longarina + tubular	Chassi longarina + tubular
Sistema de som	Suporte para smartphone	Multimídia	Suporte para smartphone
Tela touchscreen	Painel com botões	Painel com botões	Painel com botões
Lado a lado	Lado a lado	Linear	Linear
Bancos de espuma	Bancos poliméricos+ almofadas	Bancos poliméricos+ almofadas	Bancos de espuma
Regulagem de volante, banco e pedais	Regulagem de banco e volante	Regulagem de banco e volante	Regulagem de volante, banco e pedais
Suspensão passiva	Suspensão passiva	Suspensão passiva	Suspensão ativa
Carenagem metálica	Carenagem de compósitos	Carenagem metálica	Carenagem metálica
Cintos de segurança	Cintos e suportes	Cintos e suportes	Cintos e suportes
Painel luminoso	Painel luminoso	Painel luminoso	Painel luminoso
Misto	Misto	Freios a disco	Freios a tambor
Freio de estacionamento a cabo	Freio de estacionamento eletrônico	Freio de estacionamento eletrônico	Freio de estacionamento eletrônico
Caixa de direção	Vetorização de torque	Caixa de direção	Vetorização de torque

Fonte: Autor

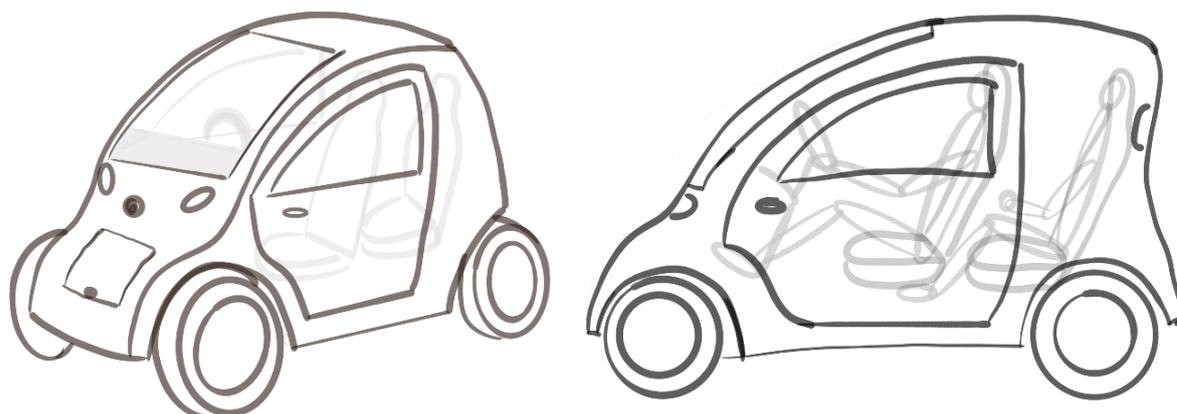
Alguns princípios de solução são mandatórios na aparência e funcionalidade do veículo, e podem ser visualizados antes da análise das concepções. A Figura 29 ilustra o conceito A, enquanto a Figura 30 ilustra o conceito B, ambos vistos pelo exterior. Quanto ao interior do veículo, a Figura 31 ilustra a concepção G; a Figura 32 ilustra a concepção C e a Figura 33 ilustra a concepção D.

Figura 29 – Exterior do conceito A



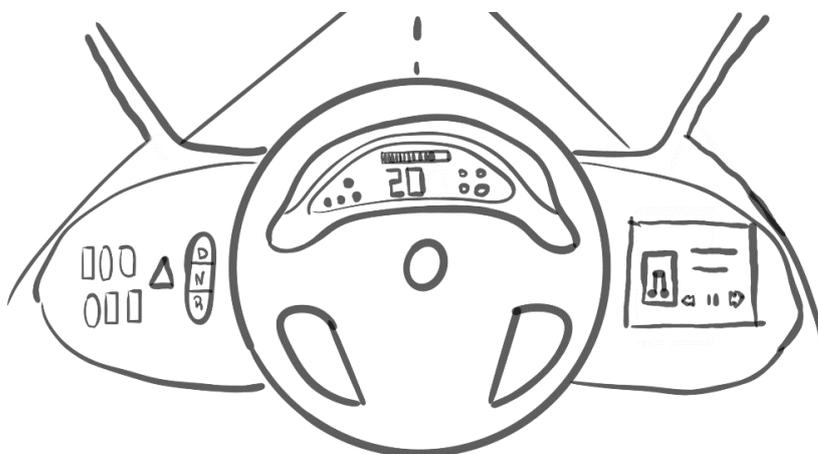
Fonte: Autor

Figura 30 – Exterior do conceito B



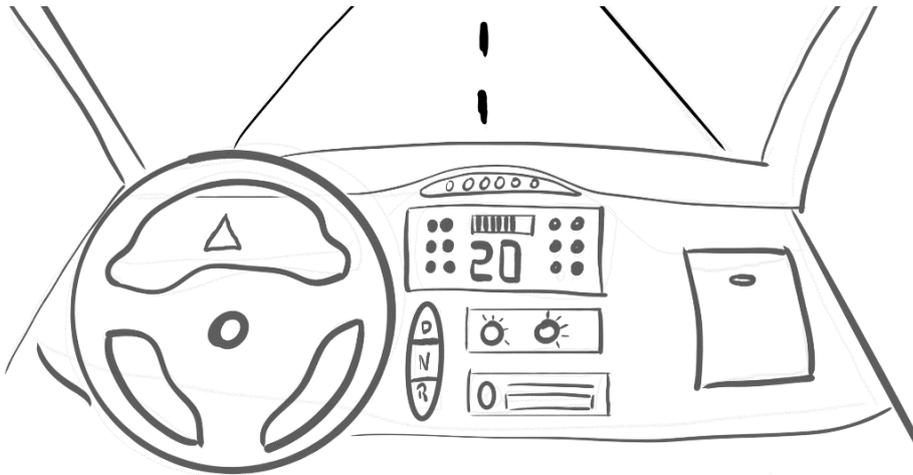
Fonte: Autor

Figura 31 – Interior do conceito G



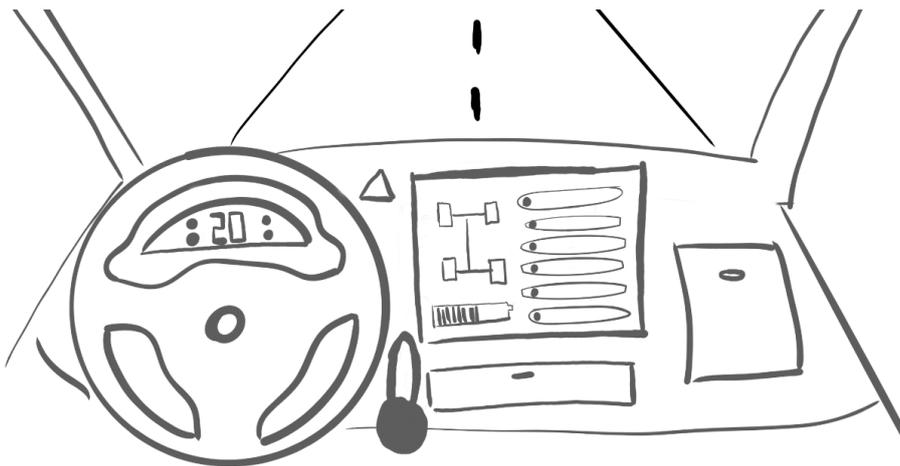
Fonte: Autor

Figura 32 – Interior do conceito C



Fonte: Autor

Figura 33 – Interior do conceito D



Fonte: Autor

4.3.4 Seleção da concepção final

A Tabela 3 contém a avaliação das concepções geradas para o veículo. De forma análoga ao realizado na avaliação de qual conceito de motor utilizar, cada concepção é avaliada de acordo com o quão bem atende às especificações de projeto. Os grandes balizadores das análises foram as tecnologias de baterias e as tecnologias embarcadas presentes no veículo. Concepções com baterias de lítio apresentam maior custo, mas tem melhores resultados em performance de baterias e do veículo em si, devido à maior densidade de energia e uma menor massa agregada; enquanto tecnologias embarcadas também aumentam o custo, mas asseguram melhor controle dinâmico e maior valor agregado ao veículo.

A concepção com a maior nota é a concepção G. O veículo tem um custo agregado um pouco elevado, mas atende muito bem os requisitos de eficiência devido a baterias de lítio, um

chassi tubular e uma massa agregada menor devido a seu chassi e bancos de fibra. A concepção de passageiros dispostos linearmente é benéfica à distribuição de massa nos eixos do veículo e principalmente à centralização do centro de massa em seu eixo transversal, o que assegura uma maior segurança e desempenho ao veículo. Freios a disco são um pouco mais caros, mas tem um desempenho muito superior e manutenção facilitada. A presença da caixa de direção pode proporcionar ângulos de cambagem e esterçamento nas rodas que são benéficos à segurança em curvas; embora que a vetorização de torque possa ser utilizada como um complemento da segurança e desempenho destas manobras. Ainda, há um espaço considerável para o transporte de pequenas cargas, que pode ser expandido se o banco traseiro não for utilizado; e que também pode ser customizado de acordo com o tamanho do pacote de baterias.

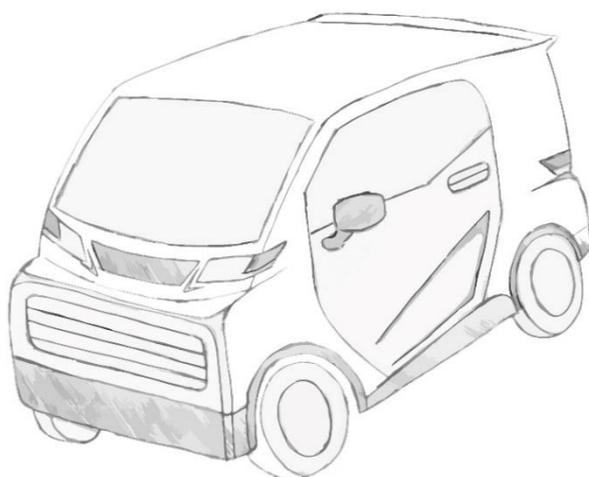
Tabela 3 - Comparação das concepções geradas

Especificação	Peso		Concepção A		Concepção B		Concepção C		Concepção D		Concepção E		Concepção F		Concepção G		Concepção H	
	pi	vi	pi*vi	vi														
Preço de venda	6,73	10	67,30	5	33,65	5	33,65	3	20,19	7	47,11	7	47,11	5	33,65	7	47,11	7
Consumo energético	6,51	3	19,53	10	65,10	7	45,57	7	45,57	5	32,55	5	32,55	7	45,57	5	32,55	5
Vida útil da bateria	6,22	3	18,66	7	43,54	7	43,54	5	31,10	5	31,10	5	31,10	7	43,54	5	31,10	5
Autonomia	5,97	3	17,91	10	59,70	7	41,79	5	29,85	5	29,85	5	29,85	7	41,79	5	29,85	5
Tecnologias embarcadas	5,23	5	26,15	5	26,15	7	36,61	10	52,30	7	36,61	7	36,61	7	36,61	5	26,15	5
Volume de baterias	5,13	3	15,39	5	25,65	7	35,91	5	25,65	5	25,65	7	35,91	7	35,91	5	25,65	5
Massa total	4,62	3	13,86	7	32,34	10	46,20	5	23,10	5	23,10	7	32,34	7	32,34	5	23,10	5
Conforto térmico	4,56	5	22,80	5	22,80	5	22,80	7	31,92	7	31,92	5	22,80	5	22,80	7	31,92	7
Custos de manutenção	4,44	7	31,08	3	13,32	3	13,32	3	13,32	5	22,20	7	31,08	7	31,08	7	31,08	7
Recursos de segurança adicionais:	4,24	5	21,20	5	21,20	7	29,68	10	42,40	5	21,20	5	21,20	5	21,20	5	21,20	5
<i>Jerking</i>	4,19	5	20,95	5	20,95	7	29,33	10	41,90	7	29,33	5	20,95	5	20,95	5	20,95	5
Tempo para velocidade máxima	4,14	5	20,70	7	28,98	7	28,98	7	28,98	5	20,70	5	20,70	7	28,98	5	20,70	5
Emissão de CO2 na vida	3,83	3	11,49	7	26,81	7	26,81	5	19,15	5	19,15	5	19,15	7	26,81	5	19,15	5
Velocidade máxima	3,68	3	11,04	7	25,76	7	25,76	7	25,76	5	18,40	5	18,40	7	25,76	5	18,40	5
Dispositivos pareáveis	3,39	5	16,95	5	16,95	5	16,95	7	23,73	7	23,73	7	23,73	7	23,73	7	23,73	7
Número de comandos	3,09	5	15,45	7	21,63	5	15,45	7	21,63	5	15,45	7	21,63	7	21,63	7	21,63	7
Potência de carregamento	3,01	5	15,05	7	21,07	7	21,07	7	21,07	5	15,05	5	15,05	7	21,07	5	15,05	5
Tempo para carga total	2,95	3	8,85	7	20,65	7	20,65	7	20,65	5	14,75	5	14,75	7	20,65	5	14,75	5
Proteção à água	2,44	7	17,08	5	12,20	5	12,20	7	17,08	7	17,08	7	17,08	5	12,20	7	17,08	7
Aviso luminoso	2,27	7	15,89	7	15,89	7	15,89	7	15,89	7	15,89	7	15,89	7	15,89	7	15,89	7
Conforto NVH	2,25	5	11,25	5	11,25	7	15,75	7	15,75	10	22,50	7	15,75	7	15,75	7	15,75	7
Área total na rodovia	2,17	5	10,85	7	15,19	7	15,19	5	10,85	5	10,85	7	15,19	7	15,19	5	10,85	5
Tempo para manutenção	2,04	7	14,28	5	10,20	5	10,20	3	6,12	5	10,20	7	14,28	5	10,20	7	14,28	7
Aviso sonoro	1,87	7	13,09	7	13,09	7	13,09	7	13,09	7	13,09	7	13,09	7	13,09	7	13,09	7
Ergonomia	1,8	5	9,00	5	9,00	3	5,40	7	12,60	10	18,00	7	12,60	5	9,00	7	12,60	7
Emissão sonora	1,55	7	10,85	7	10,85	7	10,85	7	10,85	7	10,85	7	10,85	7	10,85	7	10,85	7
Itens sob medida	1,23	5	6,15	7	8,61	5	6,15	7	8,61	7	8,61	7	8,61	5	6,15	7	8,61	7
Manufatura nacional	0,48	7	3,36	0	0,00	3	1,44	5	2,40	5	2,40	5	2,40	5	2,40	5	2,40	5
Resultado			486,16		632,53		640,23		631,51		587,32		600,65		644,79		575,47	
POSIÇÃO			8		3		2		4		6		5		1		7	

Fonte: Autor

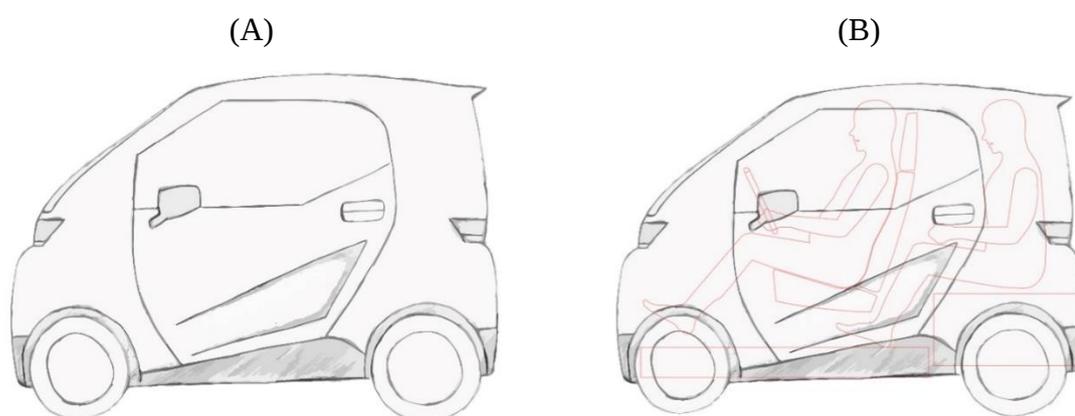
Com a concepção selecionada, são realizados os desenhos conceituais da versão final do veículo. Suas dimensões principais são definidas, assim como seus atributos e acessórios. A Figura 34 ilustra o conceito do veículo em vista isométrica, para que seja possível visualizar como um todo o conceito selecionado. A Figura 35 mostra as vistas laterais, mostrando o espaço interno ocupado pelos passageiros. O espaço vazio abaixo do motorista é destinado ao pacote de baterias, como é comum em veículos elétricos. Além de ocupar um espaço relativamente sem uso, a grande massa concentrada no assoalho reduz a altura do centro de gravidade e aumenta a estabilidade do veículo.

Figura 34 - Vista isométrica do conceito do veículo



Fonte: Autor

Figura 35 - Lateral do veículo sem (A) e com (B) ilustração dos ocupantes internos

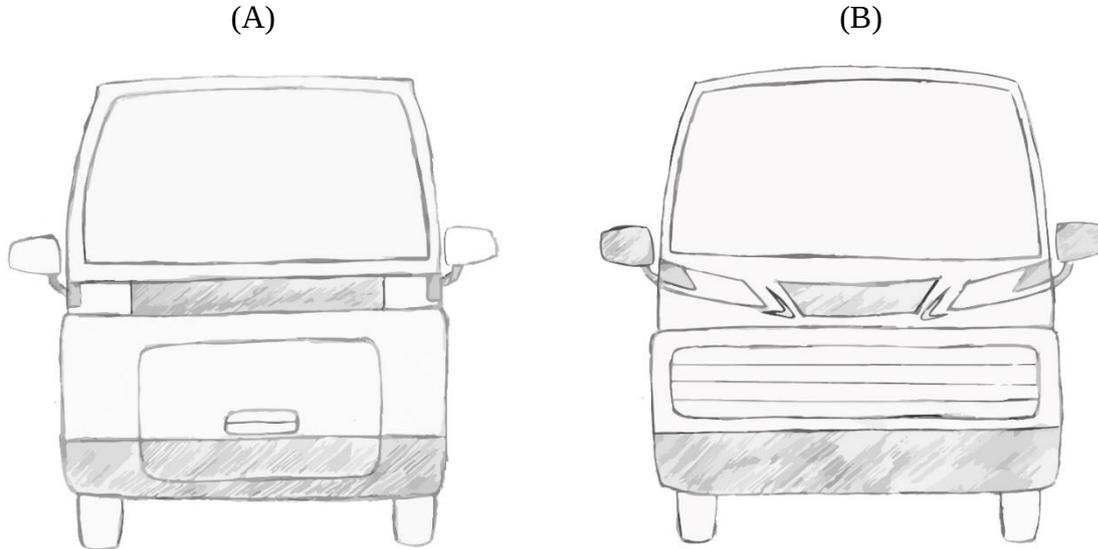


Fonte: Autor

A Figura 36 mostra as vistas posterior e frontal do veículo. É possível notar o porta malas na vista posterior, que dá acesso ao espaço vazio abaixo do passageiro como já mencionado. Ainda, pode-se notar uma ampla área em vidro nos para-brisas frontais e traseiros

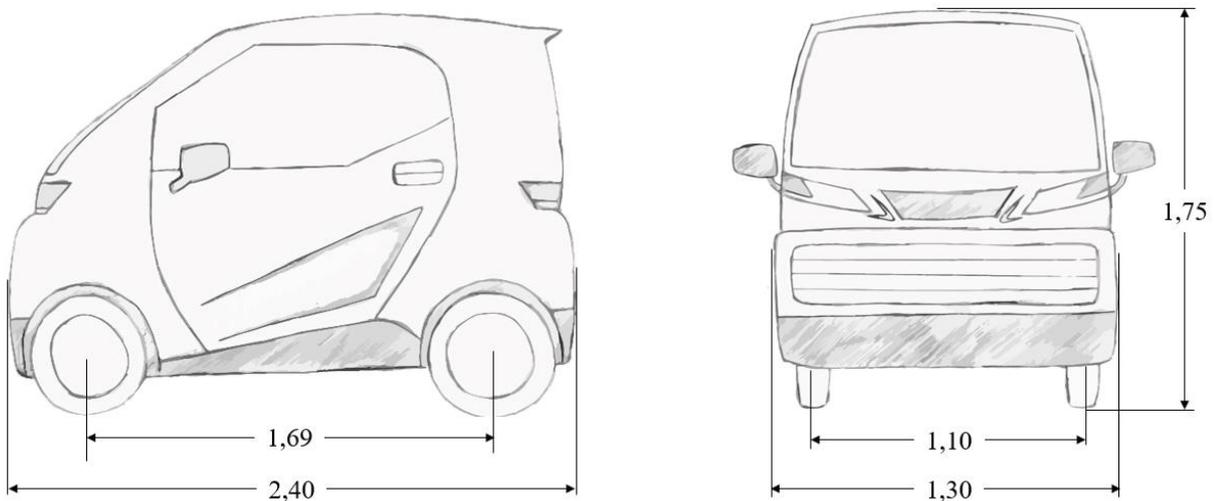
que é responsável pela entrada de luz e por uma ampla visibilidade. Por fim, as dimensões principais do conceito definido estão na Figura 37.

Figura 36 - Vista posterior (A) e frontal (B) do veículo



Fonte: Autor

Figura 37 - Dimensões do veículo em metros



Fonte: Autor

As dimensões foram definidas de acordo com as especificações de projeto e pelo *benchmarking* de veículos similares no mercado. As medidas internas são desenvolvidas de modo a acomodar dois passageiros do 95º percentil masculino (ABNT, 2015) de maneira a seguir as recomendações de ângulos e distâncias contidas em (DREYFUSS, 2007). O pequeno comprimento do veículo possibilita que ele seja estacionado de maneira perpendicular à via que

transita, sem necessidade da manobra de baliza. Isso implica que mais veículos podem ser estacionados em uma vaga destinada à um veículo convencional. Uma vaga de estacionamento tem medidas aproximadas de 2,1 x 4,2m (BRASILPARK, 2021), e então a largura do veículo é pensada para que seja possível estacionar três veículos neste espaço.

Após a definição da concepção, o projeto conceitual é encerrado. A seguir, estão as análises dinâmicas realizadas como parte inicial do projeto preliminar, de modo a atestar a viabilidade das dimensões e propriedades estimadas na concepção proposta.

4.4 ANÁLISES DINÂMICAS

As análises abordadas aqui nesse capítulo são análises preliminares de necessidades dinâmicas do veículo, como desempenho longitudinal, frenagem e manobras de curva. O intuito de realizar essas análises é principalmente validar o conceito desenvolvido, de modo a assegurar que as dimensões e propriedades desenvolvidas previamente no veículo podem ser utilizadas. O objetivo não é realizar nenhuma otimização ou definir algum valor final, apenas verificar a ordem de grandeza dos parâmetros desenvolvidos. Os valores presentes nessa seção são estimados de acordo com as dimensões e características da concepção final do veículo.

4.4.1 Parâmetros e grandezas

Para que seja possível realizar as análises pretendidas, é necessário o levantamento de alguns parâmetros e grandezas relacionados ao desempenho do veículo. As dimensões do veículo já foram mostradas na Figura 37, o que baliza parâmetros como área frontal e coeficiente de arrasto aerodinâmico. A massa do veículo já havia sido levada em consideração no desenvolvimento do produto, então ela é considerada de acordo com as estimativas realizadas durante o desenvolvimento, assim como a máxima carga que o veículo pode transportar. A Tabela 4 traz os parâmetros de massa do veículo que serão utilizados nas análises. O restante dos parâmetros necessários é referente ao sistema de transmissão do veículo e sua eficiência. Ainda, dados aerodinâmicos e de rolamento que influenciam no comportamento do veículo durante o movimento são necessários para avaliar a dinâmica longitudinal do veículo. Esses parâmetros estão na Tabela 5.

Tabela 4 – Parâmetros de massa do veículo

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade
Massa do veículo em ordem de marcha	m	550	kg
Massa do veículo carregado	m_c	700	kg
Altura do CG	h	0,4	m
Altura do CG carregado	h_c	0,38	m
Distribuição de massa no eixo traseiro	ψ	0,61	-
Distribuição de massa no eixo traseiro carregado	ψ_c	0,69	-
Distância entre eixos	L	1,69	m

Fonte: Autor

Tabela 5 – Parâmetros de transmissão do veículo

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade
Relação de transmissão	i	1	-
Eficiência de transmissão	η	0,97	-
Raio dinâmico do pneu	r_w	0,305	m
Coefficiente de arrasto	C_d	0,64	-
Coefficiente de rolamento	C_{rr}	0,015	-
Área frontal	A_f	1,4	m ²

Fonte: Autor

O raio do pneu é definido pois se entende que um pneu modelo 175/65 R15 é apropriado para o veículo, já que um perímetro maior permite uma maior velocidade final, e seu raio dinâmico é calculado como 98% do raio estático (GILLESPIE, 1992). Ainda, o coeficiente de arrasto é estimado por sua forma e por veículos similares; enquanto que o coeficiente de rolamento é retirado de Nicolazzi (2012). Por fim, são necessários parâmetros de dinâmica lateral, de modo que seja possível verificar o desempenho do veículo em curvas e se há risco nesse tipo de manobra. Esses parâmetros são estimados com base em desenhos preliminares do subsistema de suspensão e estão contidos na Tabela 6.

Tabela 6 - Parâmetros referentes à dinâmica lateral do veículo

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade
Altura do centro de rolagem dianteiro	Z_{RF}	0,32	m
Altura do centro de rolagem traseiro	Z_{RR}	0,35	m
Bitola dianteira	t_F	1,1	m
Bitola traseira	t_R	1,1	m
Rigidez à rolagem dianteira	K_F	14000	N.m/°
Rigidez à rolagem traseira	K_R	18000	N.m/°

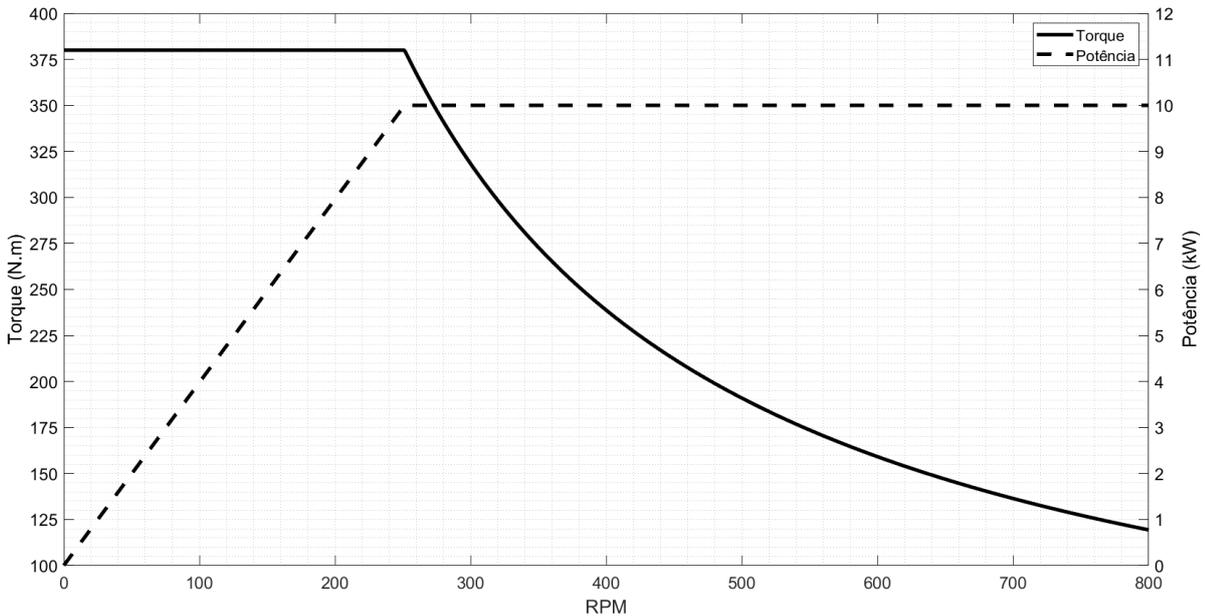
Fonte: Autor

Com as informações presentes nessa seção, pôde-se implantar modelos dinâmicos de modo a verificar informações relevantes sobre o desempenho do veículo e sua segurança. Serão realizadas três análises preliminares: análise de demanda energética, para que seja possível verificar a velocidade do veículo e seu consumo; análise de frenagem, para garantir a possibilidade de uma frenagem segura; e uma análise de estabilidade em curvas, para se verificar tendências de rolagem e aderência nessas manobras.

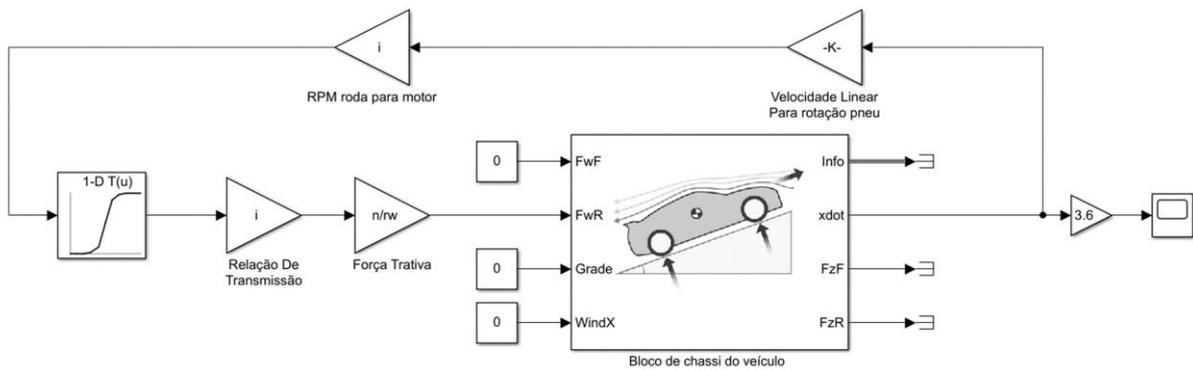
4.4.2 Análise de demanda energética

Para a simulação, utilizaram-se os dados de 2 motores elétricos comerciais, construídos para equipar veículos elétricos diretamente nas rodas. A curva dos motores está na Figura 38, considerando que são 2 motores de 5 kW acoplados um em cada roda traseira, o que possibilita a soma das propriedades destes. O modelo dinâmico é construído em interface Matlab®, utilizando o Simulink e o suplemento de dinâmica veicular desse. A simulação desempenhada é da estratégia *Full Throttle Performance* (FTP), que consiste em fixar a posição do acelerador em seu máximo e mantê-la dessa forma durante todos os cálculos, fazendo com que o veículo entregue o máximo desempenho. O modelo construído no *software* está na Figura 39.

Figura 38 - Curva de torque e potência dos motores somados



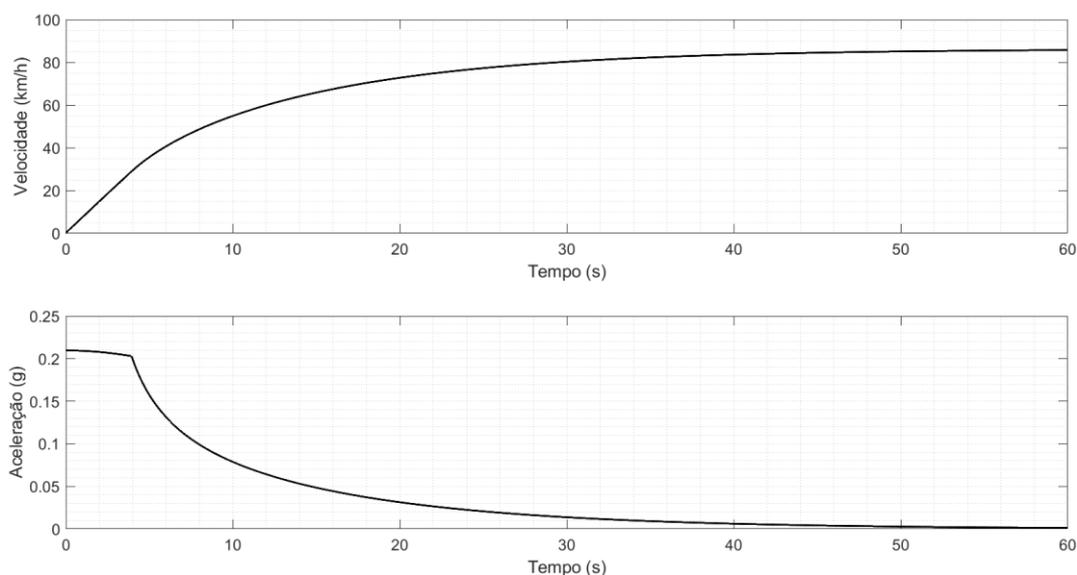
Fonte: Autor

Figura 39 - Modelo da análise construído no *Simulink*

Fonte: Autor

Os resultados de velocidade e aceleração estão na Figura 40. Pode-se observar que a velocidade máxima é condizente com os limites das vias urbanas brasileiras, e que a aceleração que o veículo apresenta também é satisfatória. O Renault Twizy, que é o único veículo atualmente enquadrado na legislação dessa categoria, possui uma velocidade máxima de 80 km/h; atinge 45 km/h em 6.1 segundos partindo do repouso; e percorre 50 metros em 6,6 segundos também partindo do repouso. Para o veículo proposto, as simulações retornaram tais parâmetros como 86 km/h, 6,7 segundos e 7,1 segundos; respectivamente.

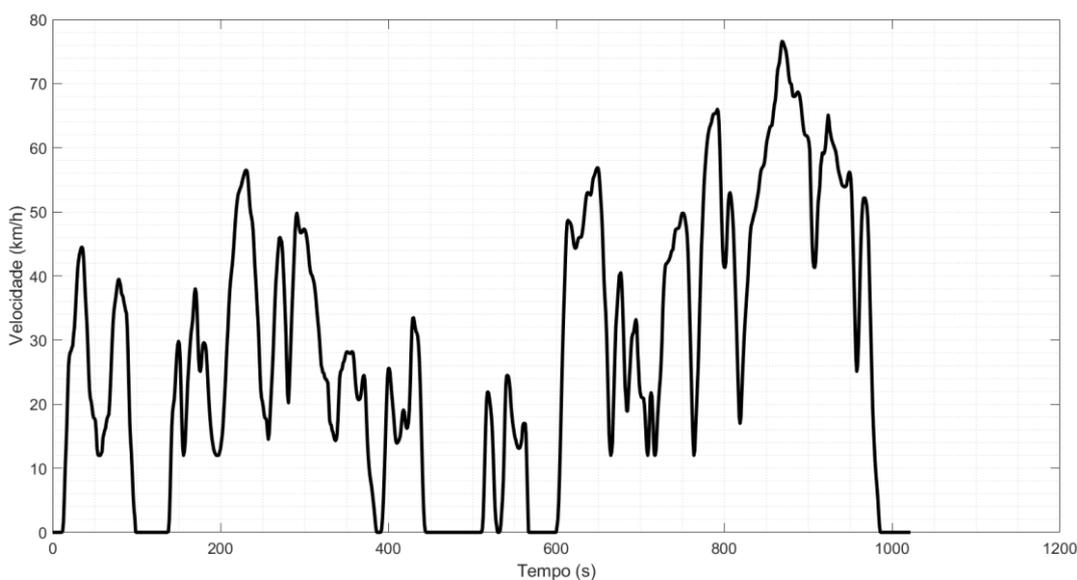
Figura 40 - Resultados de velocidade e aceleração



Fonte: Autor

A verificação da demanda energética foi realizada através de um ciclo de condução. O ciclo de condução é composto por fases e velocidades específicas, que simulam o comportamento do veículo durante um período de utilização. O veículo é forçado a percorrer o perfil de velocidades que o ciclo representa, e então a potência consumida por este é mensurada. O ciclo utilizado de acordo com os parâmetros do veículo e sua potência é o ciclo WLTC 3 (TUTUIANU et al., 2015), mostrado na Figura 41.

Figura 41 - Perfil de velocidades do ciclo WLTC 3



Fonte: Adaptado de (TUTUIANU et al., 2015)

Para o cálculo da demanda energética do veículo, é necessário o somatório de forças que atuam neste durante o deslocamento. Isso é feito da mesma maneira que a Equação (1), com a ressalva que o torque instantâneo é dado de acordo com a rotação que o motor precisa estar para que a velocidade do ciclo seja respeitada. Com o somatório das forças, a potência pode ser calculada pela multiplicação desse somatório com a velocidade do veículo:

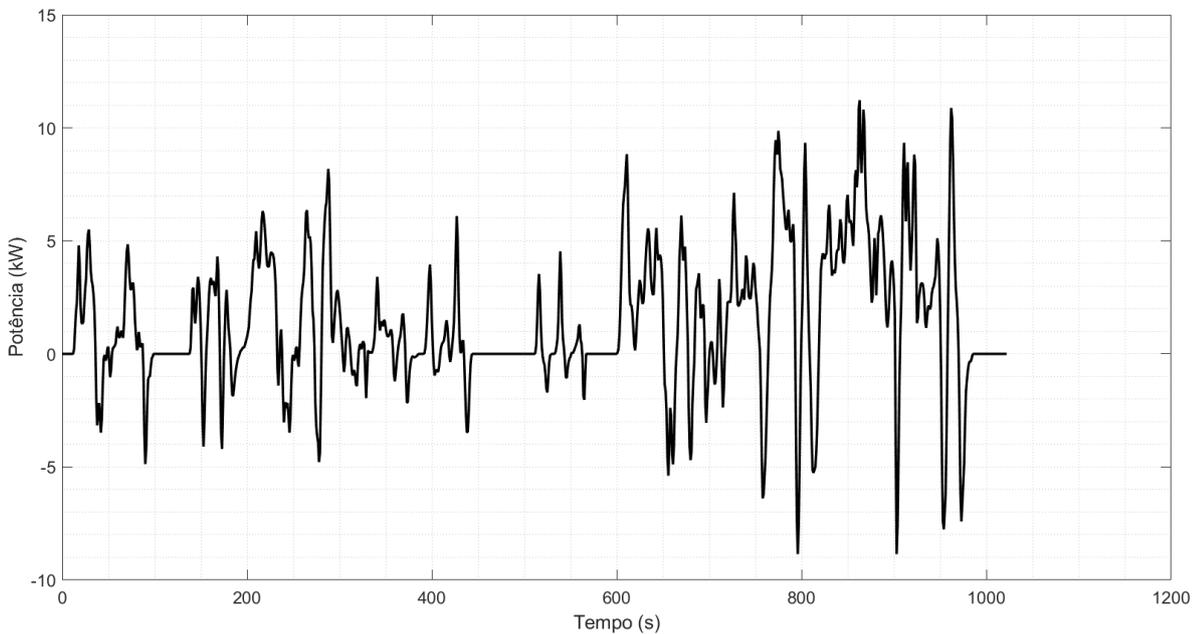
$$P_{tot} = F_{tot} \cdot v \quad (26)$$

A potência total consumida no ciclo está na Figura 42. A partir desses resultados, o consumo energético pode ser calculado então pela integral da potência, durante a duração do ciclo de condução, como mostra a Equação (27).

$$E_{tot} = \int P_{tot} \cdot dt \quad (27)$$

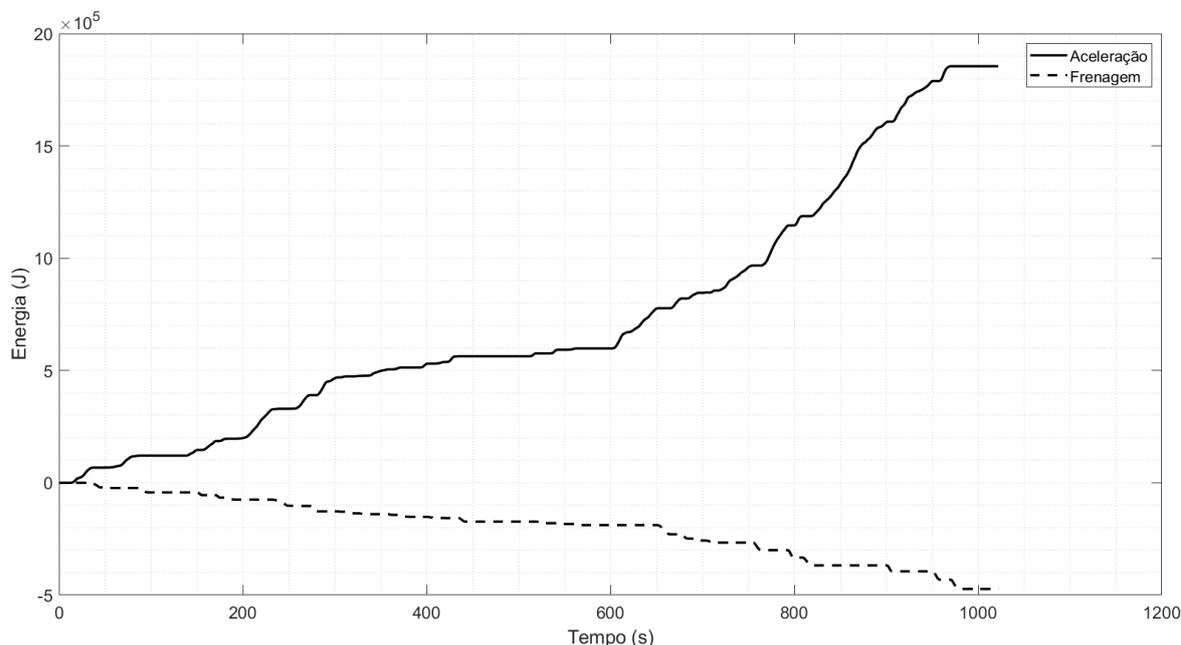
A energia total é vista na Figura 43. Pode-se distinguir entre a energia consumida para a aceleração do veículo, e também a energia desperdiçada na frenagem.

Figura 42 - Potência consumida no ciclo



Fonte: Autor

Figura 43 - Consumos de energia durante o ciclo



Fonte: Autor

No momento, não se discute sistemas de recuperação de energia por sua complexidade e custo que não estavam alinhados com os propósitos do veículo, então toda a energia gasta na frenagem é dita como dissipada. Com os resultados da Figura 43, é possível estimar o consumo do veículo de acordo com a distância percorrida. Ao fim do ciclo, o veículo percorreu 7,85 km utilizando uma energia total de 1,85 MJ para esse percurso. Transformando a energia de Joules para kWh, e dividindo pelo percurso total; tem-se um consumo médio de 0,065 kWh/km. A título de comparação, veículos populares consomem em média 0,078 litros de combustível para cada km percorrido com gasolina tipo C e 0,11 litros por km com etanol [(INMETRO, 2020)]. Para a autonomia desejada de 100 km, as baterias que ocupam o veículo deverão ter em torno de 6,5 kWh de armazenamento, o que é um valor próximo ao estimado no projeto informacional. Isso atesta que as dimensões, ordem de massa e potência do veículo estão de acordo com o que foi prospectado para os resultados finais, e podem ser utilizadas como base no desenvolvimento do projeto preliminar.

4.4.3 Análise de frenagem

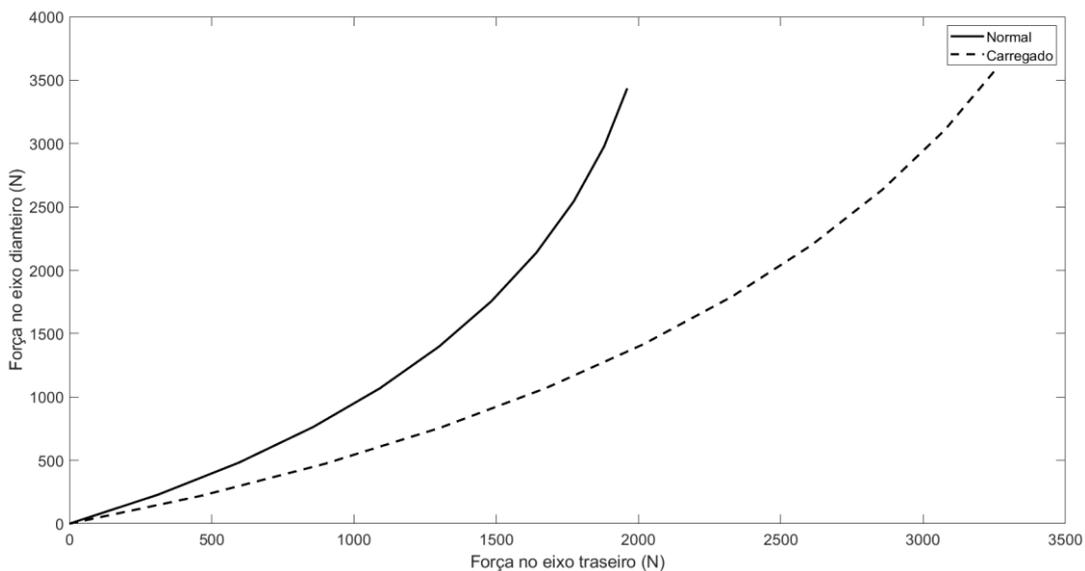
A análise de frenagem tem como objetivo verificar a capacidade de instalação de um sistema de freios no veículo, seu desempenho e segurança. Como já visto, o veículo de 550 kg (no caso de apenas um ocupante) pode chegar a aproximadamente 85 km/h, devendo ser verificado se um sistema de freios nas dimensões que o veículo comporta é suficiente para essa

situação. Ainda, é importante realizar a mesma análise com o veículo carregado, devido à alteração que esses parâmetros podem causar.

Pela aceleração se transformar em uma variável quadráticas nas Equações (13) e (14), o comportamento da frenagem ideal tem um perfil de parábola, como mostrado na Figura 44, para os casos do veículo em sua carga normal e em sua máxima carga. Pode-se notar que em determinado momento, o crescimento da força no eixo traseiro é bem pequeno; enquanto para o eixo dianteiro há um crescimento quase exponencial. Isso é dado pela transferência de carga, onde cada vez mais a carga do eixo traseiro é reduzida e transferida para o eixo dianteiro.

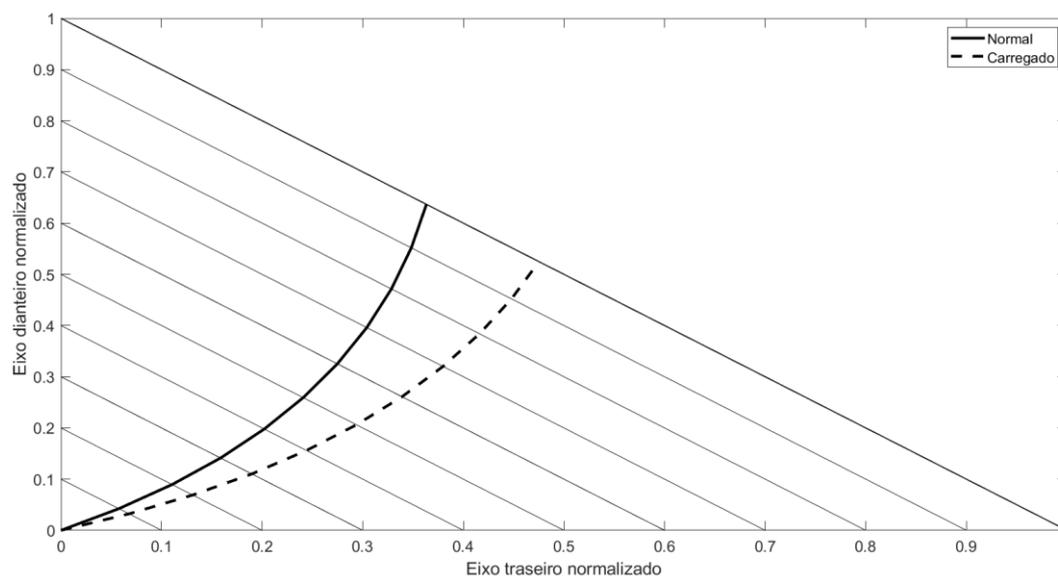
É comum normalizar as forças de frenagem, para que se possa analisar estas de acordo com a aceleração do veículo. Isso é realizado ao dividir cada força pelo peso total do veículo. Como o somatório das duas forças divididas pelo peso do veículo é igual à desaceleração, pode-se entender os eixos adimensionais como a própria desaceleração em g, como mostra a Figura 45. Neste caso, é possível analisar como as forças se comportam em cada faixa de desaceleração (ou no caso, dos coeficientes de atrito).

Figura 44 - Forças de frenagem ótimas



Fonte: Autor

Figura 45 – Forças de frenagem ótimas normalizadas



Fonte: Autor

Cada linha diagonal representa um valor de desaceleração atingido pelo veículo. A capacidade instalada deve se assemelhar ao máximo às curvas presentes na Figura 45. É importante ressaltar que, se as forças de frenagem instaladas estiverem abaixo das linhas ideais, haverá um travamento precoce no eixo traseiro, o que induz em instabilidades no veículo e uma frenagem dita como não segura (LEAL; ROSA; NICOLAZZI, 2012). Quanto mais distante das forças ideais, maior a possibilidade de um travamento precoce nas rodas.

Com isso em mente, e entendendo as limitações do sistema como diâmetro do disco de freio; definem-se os valores da Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros do sistema de freio

Parâmetro	Valor	Unidade
A_{mc}	285,02	mm ²
A_{wc}	706,86	mm ²
r_d	107,5	mm
l_p	7	-
BF	0,76	-

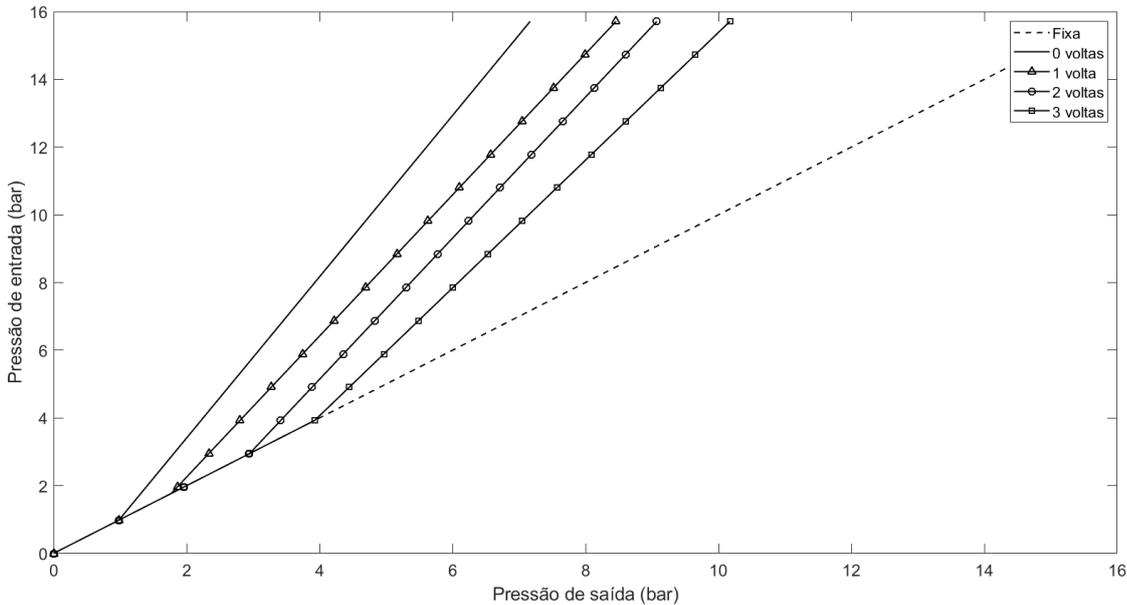
Fonte: Autor

As áreas escolhidas para cilindros e pinças são medidas comerciais, facilitando a escolha de componentes prontos ou kits de vedações e reparos. O BF é definido com base em (LIMPERT, 2011), assim como os valores de raio e alavancas são estimados para seguirem recomendações de conforto. Para a mitigação da distribuição de frenagem neste trabalho, foi

realizada a análise de uma válvula comercial que possui uma regulagem do ponto onde será limitada a pressão na linha. Isso será realizado para que se possa avaliar a aplicabilidade desse conceito, não para definir o modelo final a ser utilizado no veículo. A válvula escolhida é a válvula Wilwood® 260-8419, pela disponibilidade dos parâmetros do fabricante.

A válvula selecionada opera regulando a pressão de corte de acordo com as voltas que são dadas no seu registro. A cada volta, a pressão sobe de maneira igual em cada linha até o ponto de corte, onde a pressão que passa pela válvula é limitada, como mostra a Figura 46.

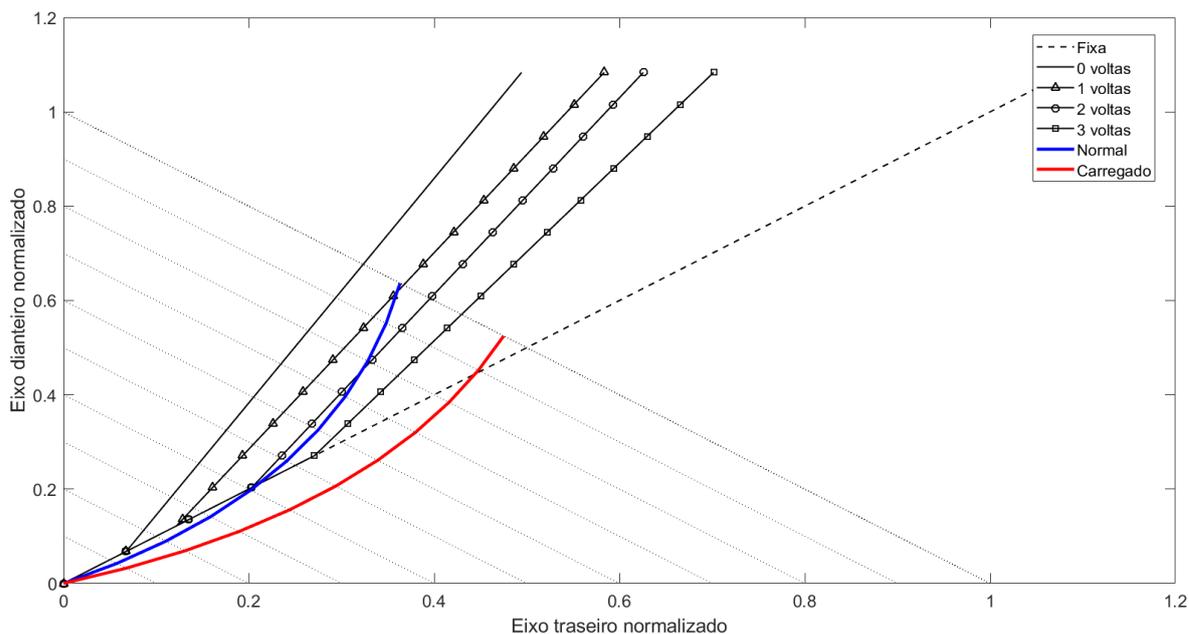
Figura 46 - Atuação da válvula equalizadora Wilwood® 260-8419



Fonte: Autor

Ao posicionar a válvula nas linhas do eixo traseiro, a pressão é limitada em relação ao eixo dianteiro, o que provoca o mesmo efeito nas forças de frenagem, já que a força de frenagem é diretamente proporcional à pressão na linha. Com a atuação da válvula e os parâmetros selecionados, obtém-se as forças contidas na Figura 47, comparadas com as distribuições ótimas para ambos casos de veículo.

Figura 47 – Forças de frenagem ótimas e atingíveis pelo veículo



Fonte: Autor

A análise do gráfico da Figura 47 mostra que, com 1 volta, é possível obter uma distribuição de forças muito próxima à ideal, mantendo-se acima desta e caracterizando uma frenagem segura durante todas as faixas de atrito possíveis. Isso é suficiente para caracterizar uma frenagem segura e estável como análise preliminar. Por último, é importante verificar quais são as condições que o motorista deve exercer para que o veículo atinja as forças de frenagem requeridas.

Nos pontos onde a força de frenagem intercepta as linhas diagonais que representam as faixas de desacelerações, pode-se calcular as forças de frenagem necessárias para cada desaceleração, além da força aplicada no pedal necessária para essa condição. Isso indica que são necessários 470 N no pedal para se atingir 1g de desaceleração. Esse valor está em uma faixa considerada adequada, a qual compreende valores entre 445 e 685 N/g, além de seguir a recomendação de um esforço máximo de 489 N para atingir a desaceleração teórica de 1 g (LIMPERT, 2011).

4.4.4 Análise de manobras em curva

A análise de dinâmica lateral é muito mais complexa do que será discutido, e necessita parâmetros específicos e bem definidos que não podem ser estimados no nível de maturidade atual do projeto do veículo. As análises apresentadas a seguir são estudos iniciais, com modelo quase-estáticos, que indicam se os parâmetros até aqui definidos podem ocasionar instabilidade dinâmicas em cálculos iniciais, o que indicaria que os mesmos devem ser revistos antes do

prosseguimento das etapas de projeto. Pelo conceito de um pequeno carro urbano, mas que ainda comporte grandes passageiros, o veículo tem uma relação altura/base maior que veículos convencionais, o que estimula o estudo da estabilidade deste em curvas. Por outro lado, o pacote de baterias estar localizado no assoalho do veículo, ajuda a uma menor altura no CG e confere maior estabilidade. Nessa seção, uma manobra em curva será simulada apenas para verificação das forças de reação nos pneus. Se estas forem próximas a zero, o veículo pode apresentar o fenômeno de *rollover* (tendência de capotamento) (GILLESPIE, 1992). Estaticamente, o veículo possui as cargas em cada pneu de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8 - Distribuição estática de carga em cada pneu de acordo com o eixo

Eixo	Normal (N)	Carregado (N)
Pneus dianteiros	1051	1099
Pneus traseiros	1645	2334

Fonte: Autor

Para as situações de aceleração, utiliza-se os dados vistos em Xu et al. (2015) e Karjanto et al. (2017). Para valores de utilização normais de veículos, a faixa de acelerações laterais está por volta de 0,1 a 0,5g, com a maioria dos valores contidos na faixa de 0,2g. Nesse caso, os valores propostos por Karjanto et al. (2017) para um comportamento agressivo e outro defensivo foram utilizados, como mostra a Tabela 9, para uma curva de 15,6 metros de raio. Com os dados da Tabela 9, somados aos parâmetros da Tabela 6 e o uso das equações (23) e (24), pode-se calcular as transferências de carga em cada caso, conforme mostra a Tabela 10.

Tabela 9 - Parâmetros de pilotagem em curva

Estilo de pilotagem	Velocidade (km/h)	Aceleração (g)
Agressivo	31	0,48
Defensivo	24	0,29

Fonte: Adaptado de (KARJANTO et al., 2017)

Tabela 10 - Transferências de carga em cada situação de curva

Parâmetro	Transferência de carga dianteira		Transferência de carga traseira	
	Normal (N)	Carregado (N)	Normal (N)	Carregado (N)
Agressivo	786,95	781,34	1104,60	1491,80
Defensivo	475,45	472,06	667,34	901,30

Fonte: Autor

A Tabela 10 mostra a carga total transferida durante uma manobra de curva, de acordo com cada parâmetro. Esse valor total de transferência de carga é adicionado aos valores estáticos vistos na Tabela 8 no caso dos pneus externos, e retirado dos pneus internos. Com a carga de apenas um ocupante (“normal”) e pilotagem agressiva, a transferência de carga implica que os pneus internos dianteiro e traseiro permaneçam com aproximadamente 264 N e 540 N, respectivamente. O veículo ainda não chega no limiar de capotamento, porém os valores mostram que as dimensões do veículo não podem ser encurtadas nas próximas fases de projeto, embora um ligeiro aumento das bitolas trouxesse um bom acréscimo de estabilidade e redução da transferência de carga.

Com o veículo totalmente carregado e pilotagem agressiva, os pneus internos dianteiro e traseiro permanecem com aproximadamente 317 N e 842 N, respectivamente. Os valores são ainda mais satisfatórios que os valores anteriores pois a adição de um passageiro acaba por transferir mais massa ao eixo traseiro, além de que cargas no porta-malas reduzem a altura do centro de gravidade. Isso é interpretado como satisfatório, já que estratégias de controle e otimizações podem melhorar os números encontrados, enquanto que pequenas alterações nas dimensões ainda podem ser realizadas.

Os valores pré-determinados para o veículo provaram-se de acordo com as necessidades dinâmicas do mesmo, e podem servir para embasar as próximas decisões das fases de projeto seguintes. Alterações ainda são permitidas, desde que visitadas as análises decorridas neste capítulo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nessa seção final, são apresentadas as conclusões observadas ao decorrer do trabalho. Posteriormente, são comentadas as sugestões acerca de estudos futuros que se mostraram pertinentes com o encerramento da pesquisa.

5.1 CONCLUSÕES

Observou-se, ao longo da pesquisa, o grande potencial que veículos elétricos possuem para mitigar os efeitos adversos do setor de transportes no meio ambiente e na saúde dos habitantes de cidades, principalmente de grandes centros urbanos. A maior eficiência e a ausência de emissões durante a utilização atestam que soluções nesse âmbito devem receber a atenção e esforços de pesquisadores, para que sejam introduzidos e conhecidos no mercado paralelamente ao avanço da tecnologia de baterias e atributos desse conceito de veículos.

Especificamente no Brasil, estratégias para adoção de VEs devem ser focadas na aplicação destes em utilizações onde as necessidades dos consumidores já são sanadas no atual panorama da tecnologia, o que irá contribuir para a ampla adoção desses veículos. A grande matriz energética renovável e seus prospectos dão o suporte às barreiras que veículos elétricos podem encontrar em diferentes localidades, o que acelera a percepção dos benefícios e permite que essa tecnologia possa se desenvolver em todo seu potencial. As barreiras existentes no país são referentes a percepções de consumidores e aspectos econômicos, nos quais atitudes governamentais podem estimular a adoção de VEs. Quanto aos consumidores, VE ainda não estão no estado tecnológico em que se encontram prontos para substituírem veículos a combustão. Porém, como dito anteriormente, o desenvolvimento de pequenos veículos urbanos e outras aplicações é capaz de introduzir os veículos no mercado enquanto estes satisfazem as necessidades específicas de uma grande parte dos consumidores.

Foi possível adotar etapas de projeto em metodologias da literatura e aplicar uma própria metodologia ao trabalho, com enfoque nos resultados necessários e pertinentes aos fins acadêmicos. Com o êxito da aplicação da metodologia, foi possível verificar a literatura e determinar os fatores de sucesso, que foram expostos como requisitos de clientes e de projeto, de modo que o veículo seja aceito pelo mercado consumidor e consiga suprir as necessidades de um deslocamento urbano diário. A partir disso, a lista de especificações de projeto foi elaborada, trazendo recursos e valores meta de atributos a serem atendidos no leiaute final do produto.

O veículo elétrico parcialmente desenvolvido nesse trabalho é classificado como um pequeno carro urbano, para o transporte individual (ou particular) de pessoas, com autonomia

e possibilidades de carregamento que são acessíveis à grande parte dos consumidores de veículos. As especificações de projeto selecionadas retratam um veículo especificado para o cotidiano, com uma autonomia suficiente para deslocamentos diários; facilidade de carregamento domiciliar ou profissional, além de proporcionar atratividade e conforto durante o uso. O foco em um pequeno consumo de energia e um pequeno pacote de baterias proporciona um custo menor de aquisição e razoável autonomia.

As análises dinâmicas atestam os atributos determinados na seleção da concepção final. O veículo proposto pode desenvolver uma boa velocidade, enquanto é capaz de ser freado e realizar manobras curvas com segurança aos ocupantes. Essas atribuições são importantes no sucesso do produto, dadas as condições de uso de um veículo urbano e as situações em que este pode se encontrar no uso cotidiano.

É importante ressaltar que as particularizações de projeto e a concepção final foram especificamente determinadas para uma aplicação nacional do veículo, e são válidos de acordo com a opinião da equipe de projeto apenas no país. Localidades com climas e condições econômicas e sociais semelhantes podem se beneficiar dos resultados obtidos na pesquisa, enquanto recomenda-se a cautela na aplicação destes em outras realidades.

5.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Em função do que foi abordado durante a pesquisa, compreende-se que são importantes novas pesquisas acerca dos temas e resultados abordados. Sugere-se:

- a) A continuação da fase de projeção, compreendendo o projeto preliminar do veículo e a modelagem do restante do produto, até a fabricação de um protótipo;
- b) O estudo específico de estratégias de dinâmica veicular para o veículo gerado, como vetorização de torque e análises vibracionais;
- c) Avaliar a aplicabilidade da metodologia de projeto utilizada para o desenvolvimento de veículos elétricos em diferentes localidades e/ou públicos-alvo;
- d) Estudos de interação com os consumidores sobre os resultados dessa pesquisa;
- e) Avaliação da viabilidade econômica da produção nacional do veículo.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **ABNT 6068: Veículos rodoviários - Massas e dimensões de adultos** Associação Brasileira de Normas Técnicas, , 2015.
- ANENBERG, S. et al. A global snapshot of the air pollution-related health impacts of transportation sector emissions in 2010 and 2015. **International Council on Clean Transportation**, p. 55, 2019.
- ANFAVEA. **Anuário da indústria automobilística brasileira**, 2021.
- AYODELE, B. V.; MUSTAPA, S. I. Life Cycle Cost Assessment of Electric Vehicles: A Review and Bibliometric Analysis. **Sustainability**, v. 12, n. 6, p. 2387, 19 mar. 2020.
- BACK, N. et al. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Florianópolis,: Manole, 2008.
- BANNON, E. **Electric cars emit less CO2 over their lifetime than diesels even when powered with dirtiest electricity – study** **Transport & Environment**, 2017. Disponível em: <<https://www.transportenvironment.org/press/electric-cars-emit-less-co2-over-their-lifetime-diesels-even-when-powered-dirtiest-electricity>>. Acesso em: 15 maio. 2021
- BARROS, M. V.; PIEKARSKI, C. M.; DE FRANCISCO, A. C. Carbon footprint of electricity generation in Brazil: An analysis of the 2016-2026 period. **Energies**, v. 11, n. 6, 2018.
- BAXTER, M. **Projeto de produto: Guia prático para o design de novos produtos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2000.
- BONSIEPE, G.; KELLNER, P.; POESSNECKER, H. **Desenho Industrial - Metodologia Experimental**. Bras: CNPq/Coordenação Editorial, 1984.
- BRASILPARK. **Parâmetros de vagas de estacionamentos**. Disponível em: <<http://www.brasilpark.com.br/tecnico/vaga>>. Acesso em: 9 jul. 2021.
- CHAMBLISS, S. E. et al. Estimating source-attributable health impacts of ambient fine particulate matter exposure: global premature mortality from surface transportation emissions in 2005. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 10, p. 104009, 1 out. 2014.
- CORREA, G.; MUÑOZ, P. M.; RODRIGUEZ, C. R. A comparative energy and environmental analysis of a diesel, hybrid, hydrogen and electric urban bus. **Energy**, v. 187, 2019.
- DALLMANN, T.; FAÇANHA, C. International comparison of Brazilian regulatory standards for light-duty vehicle emissions. **International Council on Clean Transportation**, n. June, p. 1–40, 2017.
- DEMURO, D. **Should You Buy an Electric Vehicle or a Plug-In Hybrid?** **AutoTrader**,

2019. Disponível em: <<https://www.autotrader.com/car-tips/should-you-buy-an-electric-vehicle-or-a-plug-in-hybrid-223714>>. Acesso em: 15 maio. 2021

DREYFUSS, H. **As Medidas do Homem e da Mulher: Fatores Humanos em Design**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2007.

EHRENBERGER, S. I. et al. An international dialogue about electric vehicle deployment to bring energy and greenhouse gas benefits through 2030 on a well-to-wheels basis. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 74, n. August, p. 245–254, 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Brazilian energy balance**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-494/BEN_2019_Completo_WEB.pdf>. Acesso em: 9 maio. 2021.

FLAMMINI, M. G. et al. Statistical characterisation of the real transaction data gathered from electric vehicle charging stations. **Electric Power Systems Research**, v. 166, p. 136–150, jan. 2019.

FREDDI, A.; SALMON, M. **Design Principles and Methodologies**. Cham: Springer International Publishing, 2019.

GAIA ELECTRIC. **Conheça o Gaia**. Disponível em: <<https://gaiaelectric.com.br/conheca-o-gaia#versoes>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

GAZETA DO POVO. **Pesquisa revela a média anual de km rodado de carro pelo brasileiro**. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/automoveis/km-rodado-ano-carro-motorista-brasil/>>. Acesso em: 5 set. 2021.

GHOSH, J.; TONOLI, A.; AMATI, N. A Torque Vectoring Strategy for Improving the Performance of a Rear Wheel Drive Electric Vehicle. **2015 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC 2015 - Proceedings**, n. October, 2015.

GILLESPIE, T. D. (THOMAS D. . **Fundamentals of vehicle dynamics**. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992.

GOMIDE, A. **INSTRUMENTOS DE DESESTÍMULO AO USO DO TRANSPORTE INDIVIDUAL MOTORIZADO: LIÇÕES E RECOMENDAÇÕES**, 2011.

GRAHAM-ROWE, E. et al. Mainstream consumers driving plug-in battery-electric and plug-in hybrid electric cars: A qualitative analysis of responses and evaluations. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 46, n. 1, p. 140–153, 2012.

HABICH-SOBIEGALLA, S.; KOSTKA, G.; ANZINGER, N. Electric vehicle purchase intentions of Chinese, Russian and Brazilian citizens: An international comparative study.

Journal of Cleaner Production, v. 205, p. 188–200, 2018.

HAUSEN, R. B. **Sistematização do conhecimento para o projeto de motor a etanol para aeronave agrícola**. Santa Maria, 2011.

HEALTH EFFECTS INSTITUTE; INSTITUTE FOR HEALTH METRICS AND EVALUATION'S GLOBAL BURDEN OF DISEASE PROJECT. **State Of Global Air**, 2020.

HI-TECH. **Hitech-E: Produtos**. Disponível em: <<https://www.hitech-e.com.br/produtos/on-road/eco-tech-2>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

IEMA. **Municípios da Amazônia dominam emissões de carbono**. Disponível em: <<https://energiaeambiente.org.br/municipios-da-amazonia-dominam-emissoes-de-carbono-20210304>>.

INMETRO. **Programa Brasileiro de Etiquetagem**, 2020.

INSTITUTE FOR HEALTH METRICS AND EVALUATION. **Global Burden of Disease. Results by location, cause, and risk factor**, 2016.

KARJANTO, J. et al. Simulating autonomous driving styles: Accelerations for three road profiles. **MATEC Web of Conferences**, v. 90, p. 01005, 20 dez. 2017.

KNAUDER, B. et al. Electric torque vectoring for electric vehicles. **ATZelektronik worldwide**, v. 9, n. 4, p. 50–55, 2014.

KWON, Y.; SON, S.; JANG, K. User satisfaction with battery electric vehicles in South Korea. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 82, p. 102306, 2020.

LACERDA, D. P. et al. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, p. 741–761, 26 nov. 2013.

LEAL, L. DA C. M.; ROSA, E. DA; NICOLAZZI, L. C. **Uma introdução à modelagem quase-estática de automóveis**, Florianópolis, GRANTE UFSC, , 2012.

LI, W. et al. **A review of factors influencing consumer intentions to adopt battery electric vehicles** *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Elsevier Ltd, , 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.076>>

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

MARINI, V. K. **Fatores de Influência no Projeto de Máquinas Agrícolas: Uma Contribuição Teórica** Santa Maria, 2007.

MASHADI, B.; CROLLA, D. **Vehicle Powertrain Systems**. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2012.

MASIERO, G. et al. The global value chain of electric vehicles: A review of the Japanese, South Korean and Brazilian cases. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 80, n. May, p. 290–296, 2017.

MILLIKEN, W. F.; MILLIKEN, D. L. **Race car vehicle dynamics**. Warrendale: SAE International, 1995.

MOBILIS ME. **Mobilis: Nossos Produtos**. Disponível em: <<https://www.mobilis.me>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

MOURA, M. **A disparada do carro elétrico** *Revista Época*, 2017. Disponível em: <<https://epoca.globo.com/tecnologia/noticia/2017/10/disparada-do-carro-eletrico.html>>. Acesso em: 1 jun. 2021

NETO, E. B. **Desenho industrial: Desenvolvimento de Produtos - Oferta Brasileira de Entidades de Projeto e Consultoria**. Brasília: CNPq/Coordenação Editorial, 1982.

NOWAK, P.; KUCHARSKA, K.; KAMIŃSKI, M. Ecological and health effects of lubricant oils emitted into the environment. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 16, p. 1–13, 2019.

OTHAGANONT, P.; ASSADIAN, F.; AUGER, D. J. Multi-objective optimisation for battery electric vehicle powertrain topologies. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering**, v. 231, n. 8, p. 1046–1065, 2017.

OU, S. et al. Modeling charging infrastructure impact on the electric vehicle market in China. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 81, n. May 2019, p. 102248, 2020.

PAGANY, R.; RAMIREZ CAMARGO, L.; DORNER, W. A review of spatial localization methodologies for the electric vehicle charging infrastructure. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 13, n. 6, p. 433–449, 3 jul. 2019.

PAHL, G. et al. **Engineering design: A systematic approach**. London: Springer London, 2007.

PMBOK. **PMBOK Guide - 6th Edition**. Philadelphia: PMI, 2017. v. 40

ROMANO, L. N. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas** Florianópolis, 2003.

SABRI, M. F.; DANAPALASINGAM, K. A.; RAHMAT, M. F. A review on hybrid electric vehicles architecture and energy management strategies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 1433–1442, jan. 2016.

SALVO, O. DE; VAZ DE ALMEIDA, F. G. Influence of technologies on energy efficiency results of official Brazilian tests of vehicle energy consumption. **Applied Energy**, v. 241, n. March, p. 98–112, 2019.

SCHNEIDERREIT, T. et al. Does range matter? Exploring perceptions of electric vehicles with and without a range extender among potential early adopters in Germany. **Energy Research**

and Social Science, v. 8, p. 198–206, 2015.

SEEG. **Monitor Elétrico SEEG**. Disponível em: <<http://monitoreletrico.seeg.eco.br/>>. Acesso em: 1 jun. 2021.

SEEG. **Emissões por Setor**. Disponível em: <<http://plataforma.seeg.eco.br/sectors/energia>>. Acesso em: 18 abr. 2021a.

SEEG. **Contexto SEEG**. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/contexto>>. Acesso em: 15 maio. 2021b.

SHE, Z. Y. et al. What are the barriers to widespread adoption of battery electric vehicles? A survey of public perception in Tianjin, China. **Transport Policy**, v. 56, n. February, p. 29–40, 2017.

SIERRA RODRIGUEZ, A. et al. A feasibility study of solar PV-powered electric cars using an interdisciplinary modeling approach for the electricity balance, CO2 emissions, and economic aspects: The cases of The Netherlands, Norway, Brazil, and Australia. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 28, n. 6, p. 517–532, 2020.

SILVA, C. B. P. DA et al. Evaluation of the air quality benefits of the subway system in São Paulo, Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 101, p. 191–196, 2012.

SINDIPEÇAS; ABIPEÇAS. Relatório da Frota Circulante - edição 2019. p. 13, 2019.

SMITH, E. N. et al. Effect of handling characteristics on minimum time cornering with torque vectoring. **Vehicle System Dynamics**, v. 56, n. 2, p. 221–248, 2018.

THE WORLD BANK GROUP. **Databank | World Development Indicators**. Disponível em: <<https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=2&series=EN.ATM.CO2E.PC&country=#>>. Acesso em: 5 jul. 2021.

TUTUIANU, M. et al. Development of the World-wide harmonized Light duty Test Cycle (WLTC) and a possible pathway for its introduction in the European legislation. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 40, p. 61–75, 2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Manual de Dissertações e Teses da UFSM: estrutura e apresentação**. Santa Maria: Editora UFSM, 2015.

VERNADAT, F. **Enterprise Modeling and Integration**. Heidelberg: Springer Netherlands, 1996.

VOITCH, G. **São Paulo tem média de 1,4 ocupante por carro**, 2011. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/brasil/sao-paulo-tem-media-de-14-ocupante-por-carro-2695421>>. Acesso em: 31 maio. 2021

WANG, B. et al. Energy Consumption Analysis of Different Bev Powertrain Topologies

by Design Optimization. **International Journal of Automotive Technology**, v. 19, n. 5, p. 907–914, 12 out. 2018.

WANG, F. P. et al. Analysis of Barriers to Wide Spread Adoption of Electric Vehicles in Shenzhen China. **Sustainability (Switzerland)**, v. 9, n. 4, p. 1–20, 2017.

WHEELWRIGHT, S. C.; CLARK, K. B. **Revolutionizing Product Development: Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality**. New York, NY: Free Press, 1992.

XU, J. et al. An Experimental Study on Lateral Acceleration of Cars in Different Environments in Sichuan, Southwest China. **Discrete Dynamics in Nature and Society**, v. 2015, p. 1–16, 2015.

ZARAZUA DE RUBENS, G. Who will buy electric vehicles after early adopters? Using machine learning to identify the electric vehicle mainstream market. **Energy**, v. 172, p. 243–254, 2019.

ANEXO A – CRONOGRAMA E PLANEJAMENTO

PROJETO DO PROTÓTIPO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO DE PEQUENO PORTE PARA TRANSPORTE URBANO INDIVIDUAL		
PLANO DO PROJETO		
Preparado por	Leonardo Roso Colpo	Versão [1.0]
Aprovado por	Macklini Dalla Nora	

Título do Projeto

O projeto será intitulado, em sua dissertação, como “Projeto do protótipo de um veículo elétrico de pequeno porte para transporte urbano individual”, podendo ser referenciado de forma resumida dentro dos documentos como “VEUFSM”, forma reduzida de “Veículo Elétrico UFSM”.

Gerente de Projeto e time

O gerente de projeto será o aluno de Mestrado Acadêmico em Engenharia Mecânica Leonardo Roso Colpo.

O time é composto pelo professor orientador, Macklini Dalla Nora. Ainda, conta-se com um desenvolvimento externo por parte do GEPOC; e uma consultoria externas dos professores Leonardo Nabaes Romano e Ronaldo Glufke.

Justificativas

O projeto faz parte da dissertação de mestrado do gerente de projeto, requisito parcial para obtenção do grau de mestre em engenharia. A motivação para o assunto selecionado é a busca por soluções mais limpas em mobilidade, visando a qualidade do ar e a qualidade de vida nos centros urbanos. Somado a isso, busca-se o projeto de um veículo nacional com a emergente tecnologia de tração puramente elétrica, desenvolvido para atender as necessidades de usuários brasileiros.

Objetivos

O principal objetivo deste projeto é conceber o conceito do protótipo de um veículo elétrico de pequeno porte, para transporte individual. Busca-se uma solução para atender os requisitos de usuários brasileiros, adaptados à realidade e aos fatores de influência na utilização dentro do país. O projeto é voltado para ser de baixo custo, e uma solução viável à mobilidade urbana, atuando no transporte diário de pequenas distâncias.

Partes Interessadas

Serão três grandes áreas do conhecimento da instituição, trabalhando de modo autônomo: Mecânica, Elétrica e Design. A área mecânica engloba o GPMOT e o LPST, que farão o gerenciamento do projeto, além do projeto do produto, manufatura e demais dimensionamentos.

O grupo de eletrônico é comandado pelo GEPOC, responsável pelo acionamento e controle elétrico, além da eletrônica de potência e dos inversores dos motores. Esse grupo que cede o motor ao veículo.

A área de design trabalhará em conjunto com a área mecânica, no momento por consultoria para que o projeto se adeque futuramente a um desenvolvimento de design externo.

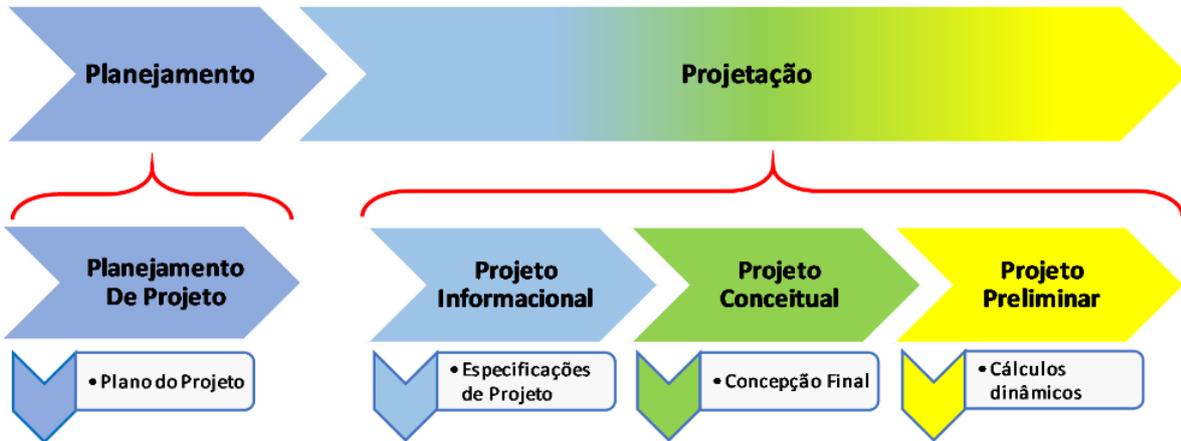
Aspectos Gerais do Gerenciamento

Será utilizada uma metodologia adaptada do PDMA desenvolvido pelo prof. Leonardo Romano em seu doutorado. São definidas 2 macrofases e 4 fases de desenvolvimento, onde cada uma tem uma entrega principal, exceto a última fase, que possui duas entregas.

O monitoramento do andamento será realizado de maneira quinzenal, entre o gerente de projeto e o professor orientador, por meio de uma reunião. Abaixo das fases, existem as tarefas principais a serem desenvolvidas, onde estas se desmembram em tarefas, o nível mais baixo da hierarquia. O prazo das tarefas é maleável, porém a entrega principal de cada fase é de extrema importância estar dentro do cronograma. Qualquer atraso deve ser avisado aos professores no mínimo com 1 mês de antecedência, para que se faça a mitigação do risco de atraso e o gerenciamento do cronograma a partir deste atraso.

Escopo

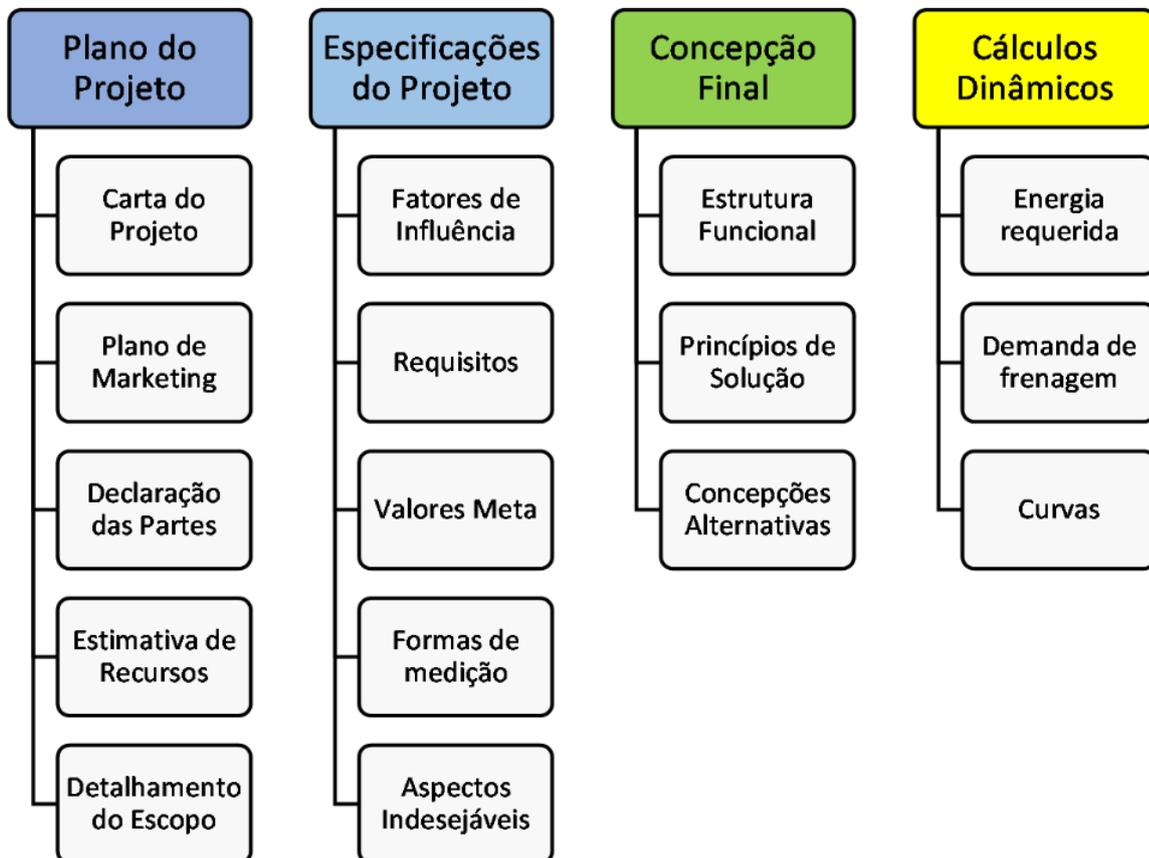
As macrofases e fases estão definidas na figura abaixo. Identifica-se abaixo delas as principais saídas, que serão as entregas do projeto.



No quadro abaixo, estão definidas as datas das entregas de cada saída.

Macrofase	Fase	Entrega	Prazo
Planejamento	Planejamento de Produto	Plano do Projeto	11/12/2019
Projetação	Projeto Informacional	Especificações de Projeto	12/06/2020
	Projeto Conceitual	Concepção Final	21/09/2020
	Projeto Preliminar	Cálculos Dinâmicos	11/05/2021

Para que se atinjam as saídas programadas, são definidas atividades chave para a conclusão de cada fase. Essas atividades estão descritas abaixo, para cada entrega.



Cronograma

O cronograma geral do projeto engloba o último nível de hierarquia: as tarefas. Neste, são descritas as tarefas a serem executadas, suas datas de início e término, além da relação das tarefas. Abaixo, está a lista de tarefas propostas:

Tarefa	Data inicial	Data final
Termo de Abertura do Projeto	21/10/2019	22/10/2019
Declaração das Partes Envolvidas	23/10/2019	28/10/2019
Declaração de Risco	29/10/2019	30/10/2019
Estimativa de Recursos Tecnológicos	31/10/2019	06/11/2019
Estimativa de Recursos Financeiros	31/10/2019	06/11/2019
Estimativa de Recursos Humanos	31/10/2019	06/11/2019
Plano de Marketing	31/10/2019	04/11/2019
Declaração do Escopo	05/11/2019	26/11/2019
Gerenciamento de Escopo	27/11/2019	10/01/2020
Elaboração do Plano do Projeto	27/11/2019	11/12/2019
Aprovação do Plano do Projeto	12/12/2019	10/01/2020
Determinação dos Fatores de Influência	11/01/2020	13/06/2020
Gerenciamento do Projeto Informacional	14/03/2020	12/06/2020
Requisitos de Clientes	14/03/2020	08/06/2020
Requisitos de Projeto	14/03/2020	08/06/2020
Relatório das Especificações do Projeto	09/05/2020	12/06/2020
Aprovação das Especificações do Projeto	13/06/2020	27/06/2020
Gerenciamento de Projeto Conceitual	28/06/2020	04/09/2020
Confecção de um PAPER	11/04/2020	27/06/2021
Verificação da Estrutura Funcional	28/06/2020	07/07/2021
Análise de concepções alternativas	08/07/2020	11/08/2020
Seleção da Concepção Final	12/08/2020	21/08/2020
Aprovação da Concepção Final	22/08/2020	04/09/2020
Gerenciamento do Projeto Preliminar	05/09/2020	27/04/2021
Análise de Demanda Energética	17/09/2020	19/09/2020
Desempenho Longitudinal	20/09/2020	26/09/2020
Determinação das Dimensões Principais	01/12/2020	03/12/2020
Dinâmica de Frenagem	08/12/2020	17/12/2020
Simulação de curva	31/03/2021	02/06/2021
Análise Rollover	31/03/2021	02/06/2021
Dissertação	13/06/2020	25/08/2021
Conclusão do Mestrado / Projeto	25/08/2021	22/09/2021

Custos

O custo do projeto não será computado, visto que os materiais necessários para sua elaboração já estão sob posse da instituição de ensino. Recursos humanos e tecnológicos também são providos pela instituição, portanto não representam uma preocupação.

Comunicações

Como o projeto molda-se de uma integração de diferentes cursos, com prazos e trabalhos próprios,

apenas inicialmente é definido um objetivo em comum e a meta para cada área. Cabe a cada área a administração de seu próprio cronograma, sob a ótica do gerente de projeto.

Risco

O risco envolvido é o da não conclusão do curso de pós-graduação de alguma das partes envolvidas. Neste caso, o projeto até então desenvolvido será entregue aos professores participantes, que tomarão a decisão do futuro do projeto no caso da desistência ou não conclusão do curso por meio de algum dos acadêmicos envolvidos.

Documentação

Como documentação auxiliar, é prevista a confecção de dois artigos, e da dissertação final. O primeiro artigo compreenderá o resumo da dissertação, enquanto que a principal tarefa de pesquisa do projeto informacional será redigida e submetida para uma revista de *qualis* no mínimo A2.