

**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA Curso
de Engenharia Automotiva**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E
ECONÔMICA DA CONVERSÃO DE VAN
PEUGEOT A COMBUSTÃO PARA ELÉTRICA**

**Autor: Paulo Cezar da Silva
Orientador: Rudi Henri Van Els**

**Brasília, DF
2021**



PAULO CEZAR DA SILVA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA
CONVERSÃO DE VAN PEUGEOT A COMBUSTÃO PARA
ELÉTRICA**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Orientador: Rudi Henri Van Els

Brasília, DF

2021

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA
CONVERSÃO DE VAN PEUGEOT A COMBUSTÃO PARA
ELÉTRICA**

Paulo Cezar da Silva

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em __/__/2021 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Profº. Dr. Rudi Henri Van Els

Orientador

Profº. Dr. Fábio Cordeiro Lisboa

Membro Convidado

Profª. Dra. Silvia Araújo dos Reis

Membro Convidado

Brasília, DF
2021

RESUMO

O apelo pela sustentabilidade ambiental e a consciência das limitações das reservas de combustíveis fósseis pelo mundo abriram uma nova forma de pensar a mobilidade humana. Os veículos a combustão passaram a ser substituídos por híbridos e elétricos. Mas, numa época de ascensão da mobilidade por tração elétrica, nem sempre o custo de aquisição de um veículo elétrico é acessível a todos. Nesse caso, recorrer à conversão de um veículo a combustão em elétrico pode fazer todo o sentido. Esse trabalho tem por proposta analisar a viabilidade técnica e econômica da conversão de uma Van da marca Peugeot em elétrica, contemplando as necessidades de consumo e potência do veículo a partir do perfil do seu usuário. A metodologia empregada consistiu no levantamento de dados do perfil de condução do usuário e do desempenho do veículo na região geográfica onde ele deverá circular a partir de dados colhidos por meio de GPS em trajetória realizada em situação real de operação do veículo. Os resultados foram analisados por meio de um código escrito em MATLAB, que tem por objetivo calcular as necessidades de potência e energia do veículo em função dos dados de trajetos obtidos experimentalmente. Um algoritmo à parte foi desenvolvido para otimizar a quantidade de baterias a serem adquiridas em função de possíveis postos de recarga instalados ao longo do trajeto do veículo, visando à redução do custo de conversão de um veículo a combustão em elétrico. Por fim, realizou-se análise técnica e econômica da conversão realizada tendo em vista um mercado consumidor em potencial formado por condutores que utilizam esse tipo de veículo no transporte de passageiros. Como resultado, concluiu-se pela viabilidade técnica da conversão, mas não pela viabilidade econômica. Dado o perfil do usuário analisado, o investimento realizado na conversão do veículo não se paga dentro do tempo de sua vida útil.

Palavras-chave: Mobilidade Elétrica, Conversão Veicular, Dinâmica Veicular, Carros Elétricos, Potência, Consumo de Energia.

ABSTRACT

The call for environmental sustainability and awareness of the limitations of fossil fuel reserves around the world have opened a new way of thinking about human mobility. Combustion vehicles were replaced by hybrids and electric ones. But, at a time of rising mobility by electric traction, the cost of purchasing an electric vehicle is not always accessible to everyone. In that case, resorting to converting from a combustion vehicle to an electric one can make perfect sense. This work aims to analyze the technical and economic feasibility of converting a Peugeot brand Van into an electric one, considering the vehicle's consumption and power needs based on the profile of its user. The methodology used consisted of collecting data on the user's driving profile and the vehicle's performance in the geographic region where it should circulate, based on data collected through GPS in a trajectory performed in a real situation of vehicle operation. The results were analyzed using a code written in MATLAB, which aims to calculate the vehicle's power and energy needs as a function of the path data obtained experimentally. A separate algorithm was developed to optimize the number of batteries to be purchased due to possible charging stations installed along the vehicle's path, aiming to reduce the cost of converting a combustion vehicle into an electric one. Finally, a technical and economic analysis of the conversion was carried out in view of a potential consumer market formed by drivers who use this type of vehicle in the transport of passengers. As a result, it was concluded that the conversion was technically viable, but it was not economically viable. Given the profile of the analyzed user, the investment made in converting the vehicle is not paid within its useful life.

Key-Words: Electric Mobility, Vehicle Conversion, Vehicle Dynamics, Electric Cars, Power, Energy Consumption.

LISTA DE ESQUEMÁTICOS

| | |
|--|-----|
| Esquemático 1 - Sistema Nacional de Trânsito | 128 |
| Esquemático 2 - Fluxograma para homologação de veículo convertido para elétrico..... | 132 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1 - Fiat Palio convertido para elétrico | 21 |
| Figura 2 - Carrinho de golf..... | 22 |
| Figura 3 - Gurgel BR 800..... | 22 |
| Figura 4 - Van Boxer Peugeot 2.8 HDI 2008 | 25 |
| Figura 5 - Gurgel BR800 em dinamômetro | 29 |
| Figura 6 - Esquemático de configuração do veículo elétrico para efetuação de cálculos de dinâmica veicular | 31 |
| Figura 7 - Motor CC em corte..... | 34 |
| Figura 8 - Exemplos de motores CA: a) motor de indução, b) motor de imã permanente, c) motor de relutância comutada | 35 |
| Figura 9 - Inversores de frequência..... | 39 |
| Figura 10 - Sistema de gerenciamento de energia em um veículo elétrico..... | 42 |
| Figura 11 - Carregadores de veículos elétricos da Testa: a) carregador residencial, b) eletroposto: carregador comercial | 44 |
| Figura 12 - Motor elétrico da WEG refrigerado a água..... | 46 |
| Figura 13 - Esquema simplificado do controle de velocidade/aceleração de um veículo elétrico | 48 |
| Figura 14 - Convenção dos sistemas de eixos veiculares | 49 |
| Figura 15 - Forças arbitrárias agindo sobre o veículo | 50 |
| Figura 16 - Arrasto de forma na resistência aerodinâmica | 51 |
| Figura 17 - Mapa de estados brasileiros com descontos ou isenções de IPVA para veículos híbridos e elétricos..... | 68 |
| Figura 18 - Postos de recarga de veículos elétricos espalhados pelo Brasil | 75 |
| Figura 19 - Van Peugeot Boxer Longa 2.8 HDI ano 2008 Diesel | 79 |
| Figura 20 - Caixa de escolha do tipo de veículo | 84 |
| Figura 21 - Caixa de entrada de dados..... | 85 |
| Figura 22 - Rota impressa no Street Google | 85 |
| Figura 23 - Gráficos de elevação, potência e energia emitidos pelo algoritmo..... | 86 |
| Figura 24 - Quadro exemplificativo para inserção de dados de tempo de recarregamento para cada parada..... | 87 |
| Figura 25 - Entradas de dados das distâncias percorridas entre as paradas indicadas | 88 |
| Figura 26 - Caixa com opção de fatores de segurança CS..... | 89 |
| Figura 27 - Rede de Fluxo | 90 |
| Figura 28 - Problema de Fluxo de Custo Mínimo | 91 |
| Figura 29 - Fluxo representativo do fluxo de energia dentro do trajeto veicular..... | 93 |
| Figura 30 - Veículo utilizado no trajeto | 99 |
| Figura 31 - Trajetória realizada impressa no Street Google..... | 100 |
| Figura 32 - Parâmetros obtidos a partir dos dados do arquivo gpx..... | 101 |
| Figura 33 – Energia consumida a cada instante por trecho percorrido..... | 105 |
| Figura 34 - Motor CA M01 WEG Gaiola de Esquilo: a) Vista lateral; b) Vista superior | 110 |

| | |
|---|-----|
| Figura 35 - Inversor de frequência WE CVW500..... | 111 |
| Figura 36 - Bateria de Lítio-Ferro-Fosfato (LIFEPO4) HIPOWER..... | 113 |
| Figura 37 - Módulo de baterias dentro da grade de proteção; acima das células, o BMS do módulo | 115 |
| Figura 38 – Sistema de Gerenciamento de Bateria (BMS) | 116 |
| Figura 39 - BMS HUB | 116 |
| Figura 40 - Display HMI monitora tensão, corrente e temperatura | 117 |
| Figura 41 - Esquema do sistema de gerenciamento do banco de baterias | 117 |
| Figura 42 - Bomba de vácuo..... | 118 |
| Figura 43 - Sistema de arrefecimento do veículo elétrico | 120 |
| Figura 44 - Coluna de direção elétrica do Volkswagen UP adaptada | 121 |
| Figura 45 - Esquema de montagem dos contadores de potência no sistema bateria-inversor | 122 |
| Figura 46 - (a) Flange de suporte do motor, prato de fixação e acoplamento do eixo; (b) Qualidade dos elementos da malha obtida na simulação numérica do eixo | 123 |
| Figura 47 - Van Peugeot Boxer Longa 2.8 HDI 2008 com a frente desmontada | 124 |
| Figura 48 - Motor elétrico acoplado à caixa de marchas, à direita, e sustentado pelo “berço”, à esquerda..... | 125 |
| Figura 49 - Teste de acoplamento e fixação do motor elétrico no câmbio | 125 |
| Figura 50 - Modificação do câmbio | 126 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|-----|
| Gráfico 1 - Ciclo de condução europeu NEDC | 30 |
| Gráfico 2 - Ciclo de condução NBR 6601 e deslocamento | 31 |
| Gráfico 3 - Coeficientes f_0 e f_s | 53 |
| Gráfico 4 - Quantidade de veículos elétricos emplacados no Brasil entre 2012 e 2021 | 64 |
| Gráfico 5 - Previsão da quantidade de veículos a serem emplacados no Brasil entre 2021 e 2025..... | 65 |
| Gráfico 6 - Vendas de veículos elétricos no Brasil por ano | 76 |
| Gráfico 7 - Elevação da área percorrida em teste de campo | 100 |
| Gráfico 8 - Gráficos da Potência em CV e em Watts | 103 |
| Gráfico 9 - Gráficos da Energia consumida ao longo do percurso | 103 |
| Gráfico 10 - Energia total consumida em cada trecho do percurso | 106 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----|
| Quadro 1 - Trabalhos relacionados à eletrificação veicular desenvolvidos na FGA | 22 |
| Quadro 2 - Vantagens e desvantagens de motores CC..... | 34 |
| Quadro 3 - Vantagens e desvantagens dos motores CA | 36 |
| Quadro 4 - Coeficientes de arrasto em função da forma do veículo | 52 |
| Quadro 5 - Principais projetos de lei voltados para veículos híbridos e elétricos atualmente em tramitação no Congresso Nacional | 71 |
| Quadro 6 - Projetos de leis voltados para veículos híbridos e elétricos por estado..... | 73 |
| Quadro 7 - Projetos de leis voltados para veículos híbridos e elétricos por cidade | 74 |
| Quadro 8 - Empresas de conversão de veículos a combustão em elétricos..... | 77 |
| Quadro 9 - Componentes removidos e adaptados da Van..... | 124 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1 - Veículos híbridos e elétricos vendidos no Brasil | 59 |
| Tabela 2 - Distribuição de ônibus elétricos por marca e cidade no Brasil | 62 |
| Tabela 3 - Quantidade de veículos elétricos emplacados no Brasil entre 2012 e 2021 | 63 |
| Tabela 4 - Valores de erro dos modelos utilizados na previsão | 64 |
| Tabela 5 - Vendas previstas de veículos híbridos e elétricos até 2025 | 65 |
| Tabela 6 - Emplacamentos de veículos híbridos e elétricos por estado | 66 |
| Tabela 7 - Dados do Motor da Van Peugeot Boxer Longa 2.8 HDI 2008..... | 80 |
| Tabela 8 - Dados Gerais do Van | 80 |
| Tabela 9 - Dimensões da Van Peugeot Boxer Longa 2.8 HDI 2008 | 81 |
| Tabela 10 - Métodos empregados na correção de erros aleatórios dos dados do GPS | 83 |
| Tabela 11 - Dados de entrada do módulo de dimensionamento de potência e energia | 102 |
| Tabela 12 - Dados de entrada no módulo de otimização de baterias | 104 |
| Tabela 13 - Resultados emitidos pelo módulo de dimensionamento da quantidade de baterias | 106 |
| Tabela 14 - Resultados obtidos no dimensionamento da potência da Van..... | 108 |
| Tabela 15 - Resultados obtidos no dimensionamento da potência da Van..... | 109 |
| Tabela 16 - Características do motor elétrico CA do tipo Gaiola de Esquilo da WEG..... | 109 |
| Tabela 17 - Características principais do Inversor WEG CVW500..... | 112 |
| Tabela 18 - Características da bateria LIFEPO4 adquirida..... | 114 |
| Tabela 19 - Dados do módulo de baterias | 115 |
| Tabela 20 - Características da geração de calor pelo motor elétrico e pelo inversor de frequência | 119 |
| Tabela 21 - Custo de documentação de homologação de veículo convertido para elétrico no Distrito Federal..... | 134 |
| Tabela 22 - Parâmetros utilizados na análise financeira..... | 137 |
| Tabela 23 - Descrição dos cenários analisados | 138 |
| Tabela 24 - Descrição dos cenários analisados e os principais custos de conversão relacionados a eles | 139 |
| Tabela 25 - Parâmetros utilizados no algoritmo de otimização de baterias..... | 140 |
| Tabela 26 - Resumo dos custos de conversão para cada cenário..... | 141 |
| Tabela 27 - Parâmetros para cálculo de custo de manutenção do veículo a diesel | 142 |
| Tabela 28 - Parâmetros para cálculo de custo de manutenção do veículo elétrico | 142 |
| Tabela 29 - Parâmetros para cálculo de custo de rodagem dos veículos a diesel e elétrico.... | 143 |
| Tabela 30 - Custos de operação dos veículos a diesel e elétrico | 144 |
| Tabela 31 - Custo benefício do veículo elétrico em relação ao veículo a diesel..... | 145 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 32 - Inflação projetada para 10 Anos | 147 |
| Tabela 33 - Resultados obtidos na análise | 148 |
| Tabela 34 - Resultados obtidos na análise sem Imposto de Importação..... | 148 |
| Tabela 35 - Resultados Obtidos na Análise em Situação de Nacionalização da Produção de Baterias para Veículos Elétricos | 149 |

Sumário

| | |
|---|----|
| RESUMO | 3 |
| ABSTRACT | 4 |
| LISTA DE ESQUEMÁTICOS..... | 5 |
| LISTA DE FIGURAS | 6 |
| LISTA DE GRÁFICOS..... | 8 |
| LISTA DE QUADROS | 9 |
| LISTA DE TABELAS | 10 |
| 1. Introdução..... | 17 |
| 1.1 Objetivo..... | 18 |
| 1.1.1 Objetivo Geral..... | 18 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos..... | 18 |
| 1.2 Metodologia | 18 |
| 1.3 Plano de Trabalho..... | 19 |
| 2. Referencial Teórico | 20 |
| 2.1. A História dos Veículos Elétricos na FGA | 20 |
| 2.2. Revisão do Estado da Arte | 26 |
| 2.3. Estudos de Metodologia de Conversão | 28 |
| 3. Veículos Elétricos | 32 |
| 3.1. Conceito de Veículo Elétrico | 33 |

| | | |
|----------|--|----|
| 3.2. | Motores Elétricos | 33 |
| 3.2.1. | Motor CC..... | 33 |
| 3.2.2. | Motor CA | 34 |
| 3.3. | Baterias..... | 36 |
| 3.3.1. | Bateria de Chumbo-Ácido..... | 37 |
| 3.3.2. | Bateria de Hidreto Metálico de Níquel..... | 37 |
| 3.3.3. | Bateria de Zinco | 37 |
| 3.3.4. | Bateria de Íon-Lítio | 38 |
| 3.3.5. | Bateria de Lítio-Ferro-Fostafo..... | 38 |
| 3.4. | Inversor de Frequência | 39 |
| 3.5. | Controlador | 40 |
| 3.6. | Sistema de Gerenciamento de Bateria (BMS)..... | 40 |
| 3.7. | Sistema de Carregamento..... | 42 |
| 3.7.1. | Carregadores Portáteis..... | 43 |
| 3.7.2. | Eletropostos..... | 43 |
| 3.8. | Sistema de Arrefecimento | 44 |
| 3.8.1. | Arrefecimento das Baterias | 44 |
| 3.8.2. | Arrefecimento do Motor..... | 45 |
| 3.9. | Componentes Auxiliares | 46 |
| 3.9.1. | Voltímetro e Amperímetro | 46 |
| 3.9.2. | Interruptor de Inércia..... | 46 |
| 3.9.3. | Botão de Emergência | 47 |
| 3.9.4. | Acelerador | 47 |
| 3.9.4.1. | Potenciômetro..... | 47 |
| 3.9.4.2. | Acelerador Eletrônico | 48 |
| 3.9.5. | Sensores..... | 48 |
| 3.9.5.1. | Sensor de Velocidade | 48 |
| 3.9.5.2. | Sensor de Temperatura..... | 48 |
| 3.9.6. | Cabos e Fusíveis..... | 49 |
| 4. | Fundamentos de Dinâmica Veicular | 49 |
| 4.1. | Dinâmica de Veículos | 49 |
| 4.1.1. | Força de Resistência Aerodinâmica | 50 |
| 4.1.2. | Força de Resistência ao Rolamento | 52 |
| 4.1.3. | Força de Resistência Devido ao Plano Inclinado | 54 |
| 4.1.4. | Força de Resistência à Aceleração | 54 |
| 4.1.5. | Força de Resistência à Curva | 55 |
| 4.2. | Força Total | 56 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 4.3. | Potência Mecânica..... | 57 |
| 4.4. | Eficiência energética | 58 |
| 5. | Pesquisa de Mercado | 59 |
| 5.1. | Marcas e Modelos de Veículos Elétricos Comercializados no País..... | 59 |
| 5.2. | Mercado de Veículos Elétricos no Brasil | 63 |
| 5.3. | Incentivos Fiscais e Financeiros..... | 67 |
| 5.3.1. | Incentivos Fiscais | 67 |
| 5.3.2. | Incentivos Financeiros..... | 69 |
| 5.3.3. | Rota 2030 | 69 |
| 5.4. | Legislação de Apoio ao Mercado de Veículos Elétricos..... | 71 |
| 5.4.1. | Esfera Federal..... | 71 |
| 5.4.2. | Esferas Estadual e Municipal | 72 |
| 5.5. | Particularidades do Mercado de Veículos Elétricos no Brasil | 74 |
| 5.6. | Mercado de Conversão de Veículos a Combustão em Elétricos | 76 |
| 6. | Processo de Levantamento de Dados e Dimensionamento | 78 |
| 6.1. | O Veículo | 79 |
| 6.2. | Algoritmo em MATLAB | 81 |
| 6.2.1. | Módulo de Simulação das Necessidades de Potência e Energia | 82 |
| 6.2.2. | Módulo de Dimensionamento e Otimização do Conjunto de Baterias | 87 |
| 6.2.2.1. | Modelos de Otimização de Redes | 89 |
| 6.2.2.2. | O Problema do Fluxo de Custo Mínimo | 90 |
| 6.2.2.3. | Metodologia Aplicada ao Desenvolvimento do Algoritmo de Otimização | 92 |
| 6.2.3. | Levantamentos dos Dados da Trajetória de Operação Real do Veículo | 98 |
| 6.2.4. | Simulação e Resultados..... | 102 |
| 6.2.4.1. | Necessidades de Potência e Energia..... | 102 |
| 6.2.4.2. | Otimização da Quantidade de Baterias | 104 |
| 7. | Processo de Conversão da Van | 107 |
| 7.1. | Definição dos Componentes do Sistema de Tração Elétrica..... | 108 |
| 7.1.1. | Motor..... | 108 |
| 7.1.2. | Inversor..... | 111 |
| 7.1.3. | Baterias..... | 113 |
| 7.1.4. | Sistema de Gerenciamento de Bateria (BMS)..... | 115 |
| 7.2. | Componentes e Sistemas Auxiliares | 118 |
| 7.2.1. | Componentes Adquiridos..... | 118 |
| 7.2.1.1. | Bomba de Vácuo | 118 |
| 7.2.1.2. | Bomba de Água..... | 119 |
| 7.2.1.3. | Assistente de Direção Elétrico | 120 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 7.2.1.4. | Contator de Potência | 121 |
| 7.2.1.5. | Eixo de Acoplamento do Conjunto Motor-Transmissão | 122 |
| 7.3. | Processo de Montagem do Veículo Elétrico | 123 |
| 7.3.1. | Desmontagem do Veículo | 123 |
| 7.3.2. | Instalação do Motor Elétrico | 125 |
| 7.3.3. | Conversão do Câmbio Manual em Automático | 126 |
| 7.3.4. | Sistema de Direção..... | 126 |
| 8. | Homologação | 127 |
| 8.1. | Sistema Nacional de Trânsito..... | 127 |
| 8.2. | Código de Trânsito Brasileiro - CTB | 128 |
| 8.3. | Conversão de Tração Veicular no Código Brasileiro De Trânsito | 129 |
| 8.4. | Resolução Contran 291/2008 | 129 |
| 8.5. | Portaria Denatran 190/2009 | 130 |
| 8.6. | Alterações para Adequação à Legislação Atual | 131 |
| 8.7. | Fluxograma do Processo de Homologação | 132 |
| 8.8. | Custos Associados ao Processo de Homologação..... | 133 |
| 9. | Análise de Viabilidade | 135 |
| 9.1. | Viabilidade Técnica..... | 135 |
| 9.2. | Custos..... | 136 |
| 9.2.1. | Custos de Conversão | 137 |
| 9.2.2. | Custos de Operação | 141 |
| 9.3. | Viabilidade Econômica | 146 |
| 10. | Considerações Finais..... | 149 |
| | Bibliografia..... | 151 |
| | APÊNDICES | 163 |
| | Apêndice A – Códigos Desenvolvidos..... | 163 |
| | Código Desenvolvido em Matlab | 163 |
| | Algoritmo Desenvolvido no Lingo | 177 |
| | Apêndice B - Gráficos Obtidos na Simulação da Trajetória | 179 |
| | Parâmetros Inseridos na Simulação Inicial | 179 |
| | Resultados Obtidos | 182 |
| | Apêndice C - Orçamentos | 192 |
| | Apêndice D - Tabelas De Cálculos Financeiros..... | 201 |
| | Custo de Mão de Obra..... | 201 |
| | Custos de Conversão | 201 |
| | Cálculos dos Custos de Operação | 205 |
| | Comparação dos Custos de Operação | 207 |

| | |
|---|-----|
| Cálculo do PIS e Cofins | 209 |
| Fluxos de Caixa..... | 209 |
| Apêndice E - Pesquisa com Usuário da Van (Transporte Escolar) | 213 |
| QUESTIONÁRIO | 213 |

1. Introdução

O carro movido a eletricidade não é uma invenção da atualidade. A história do carro elétrico começa no fim século XIX, mas sua ascensão só acontece na virada do século XX para o século XXI com o avanço das baterias elétricas (HOYER, 2008). Desde sua invenção até os dias de hoje, os veículos elétricos sempre estiveram à margem quando comparados aos veículos com motor a combustão interna. O declínio considerável começa no início do século XX com o sistema de produção desenvolvido por Ford, que diminuiu o preço dos veículos movidos a gasolina, e com a descoberta de reservas de Petróleo no Texas, o que barateou o combustível não renovável (ANTUNES, 2018). Com o maior rendimento do motor a combustão interna e a facilidade de transporte de combustíveis líquidos, a rede de distribuição de gasolina se expandiu rapidamente, tornando os carros elétricos ainda mais inviáveis. Recentemente, no entanto, com as ideias cada vez mais fortes a respeito da diminuição da poluição ambiental e o avanço das tecnologias voltadas para a eletrificação veicular, a história dos veículos elétricos começou a mudar.

Os veículos elétricos são vistos por muitos como os carros do futuro, pois são altamente eficientes, silenciosos, seus custos de manutenção são relativamente baixos e não produzem poluição local.

No entanto, os carros elétricos atuais ainda são, em geral, considerados caros e têm pouca autonomia em relação aos veículos a combustão interna. A implementação prática desses veículos, por conseguinte, tende a acontecer apenas quando eles se apresentam como realmente mais vantajosos em termos de custo e consumo do que os veículos a combustão (FREITAS, 2012).

Nesse sentido, uma alternativa à compra de um veículo elétrico seria a conversão de um veículo a combustão em elétrico, com a troca dos motores, instalação de um banco de baterias capaz de dar a autonomia considerada ótima pelo usuário e adaptação dos demais subsistemas em função do sistema de tração elétrica. Esse trabalho foca na análise da viabilidade técnica e econômica de uma Van Peugeot Boxer 2.8 HDI 2008 diesel em elétrica, contemplando, assim, uma das vertentes da mobilidade urbana atual, qual seja, a do transporte coletivo de passageiros. Entretanto, seria essa conversão viável tanto do ponto de vista técnico quanto do ponto de vista econômico? A conversão de uma Van a combustão em elétrica é viável economicamente frente aos custos relacionados à manutenção do veículo com motor à combustão e aos preços das Vans elétricas de fábrica

de mesma categoria recém lançadas no mercado? Essas são questões que pretendemos responder ao final do presente trabalho.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente plano de trabalho consiste em analisar a viabilidade técnica da conversão de um utilitário do tipo VAN da marca Peugeot bem como a viabilidade econômica dessa transformação, levando em conta os custos envolvidos na conversão e os benefícios financeiros potenciais possibilitados por ela.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos acima deverão ser alcançados através da concretização dos seguintes objetivos específicos:

- Definir uma metodologia para conversão de veículos a combustão em elétrico a partir do uso de dados obtidos em teste de campo realizado por veículo Van em suas condições reais de operação;
- Analisar o processo de dimensionamento e conversão da Van Peugeot a diesel em elétrica;
- Analisar a legislação relativa à homologação do veículo convertido para elétrico.
- Analisar a viabilidade técnica de conversão da Van a combustão em elétrica;
- Analisar a viabilidade econômico-financeira da conversão da Van a combustão em elétrica em função do trajeto a ser realizado pelo veículo, de seu emprego pelo usuário em potencial e de aplicação de técnicas de otimização na definição das especificações dos principais componentes do sistema de tração elétrica.

1.2 Metodologia

O presente projeto trabalhará com metodologia indutiva, de modo que, a partir do estudo de caso, tentar-se-á estender os métodos e processos adquiridos a outras situações de conversão de veículo a combustão para elétrico. Recorrer-se-á a pesquisas bibliográficas e testes de campo sempre que possível, com o fim de se estabelecer

conceitos e elucidar o entendimento a respeito de suas aplicações, cuidando para não ultrapassar as delimitações do objeto do presente projeto.

Pesquisas de campo deverão ser realizadas na tentativa de captar as necessidades do usuário e convertê-las em variáveis de engenharia, a fim de poder dimensioná-las da forma mais aproximada possível da realidade dos usuários, considerando custos e outras restrições que possam ser descobertas ao longo do caminho e que se apresentem dentro do escopo do presente projeto.

1.3 Plano de Trabalho

O presente projeto deverá se dividir em duas partes. A primeira parte, teórica, corresponderá ao levantamento bibliográfico dos conceitos envolvidos no desenvolvimento de um veículo elétrico. A segunda parte, prática, terá por objetivo o dimensionamento da potência e da energia demandadas pelo veículo elétrico e a descrição do processo de conversão do veículo a diesel em elétrico e, a partir desse processo, a realização da análise da viabilidade técnica e econômica da conversão.

O primeiro capítulo traz a introdução do presente projeto, com o estabelecimento de seu objetivo e da metodologia.

O segundo capítulo tem por objetivo apresentar a motivação e a história da conversão de veículos elétricos na Faculdade do Gama da Universidade de Brasília, que serviu de base para a realização do presente projeto, a realização de uma revisão do estado da arte e de metodologias atualmente empregadas no dimensionamento de veículos elétricos.

O terceiro capítulo, por outro lado, trará os principais conceitos relacionados aos veículos elétricos, aos seus componentes e suas características.

O quarto capítulo, por outro lado, voltar-se-á para a construção de um modelo de dinâmica veicular que será usado no desenvolvimento de um algoritmo capaz de simular as necessidades de potência e de energia do veículo a ser convertido em elétrico.

O quinto capítulo apresentará uma pesquisa do mercado de veículos elétricos no Brasil, seu avanço ao longo do tempo, as legislações relacionadas a esse mercado e uma análise da viabilidade de um potencial mercado de conversão de veículo a combustão para elétrico no país.

O sexto capítulo apresentará as características do veículo a ser convertido para elétrico, a metodologia empregada no desenvolvimento do algoritmo de simulação de potência e energia desenvolvido em Matlab e os resultados da simulação realizada a partir

de dados obtidos em testes de campo com veículo similar ao que será convertido em elétrico.

O capítulo sete, por sua vez, descreverá todo o processo de conversão da Van a diesel em elétrica, enumerando tanto os componentes e os subsistemas comprados quanto os que precisaram ser desenvolvidos pela equipe.

O capítulo oito, por sua vez, apresentará a legislação pertinente à homologação de veículo a combustão convertido para elétrico e os custos relacionados a ela.

O capítulo nove, por fim, será utilizado para analisar a viabilidade técnica e econômica da conversão a partir de diferentes cenários, considerando os custos da conversão e as necessidades de clientes em potencial.

O último capítulo corresponderá à conclusão do trabalho.

2. Referencial Teórico

2.1. A História dos Veículos Elétricos na FGA

A história do envolvimento da Faculdade do Gama da Universidade de Brasília, também conhecida como FGA-Gama, com os veículos elétricos é quase tão histórica quanto a história da própria FGA-Gama. Segundo a página da Web da própria faculdade, a FGA-Gama teve seus trabalhos iniciados no segundo semestre de 2008. Ainda sem prédio próprio, as aulas foram realizadas no antigo prédio do Fórum da cidade, com uma estrutura para atender a 240 alunos, até a inauguração do campus definitivo, no prédio construído a Leste do distrito do Gama, cuja inauguração ocorreu em 25 de abril de 2011. Desde então, as instalações do campus só aumentaram, a fim de suprir as demandas dos cursos de Engenharia Automotiva, Engenharia Aeroespacial, Engenharia de Energia, Engenharia de Energia e Engenharia de Software ministrados no local.

Devido à grande diversidade de pesquisas e trabalhos acadêmicos encontrada nos repositórios de trabalhos de alunos e professores do campus da FGA-Gama, contudo, é impossível abarcar tudo isso em um único trabalho. Os trabalhos de pesquisas produzidos no campus da FGA-Gama vêm para agregar um pouco mais de conhecimento ao vasto campo composto pelas tecnologias voltadas para os veículos elétricos e para ajudar a humanidade a caminhar em direção ao desenvolvimento de tecnologias voltadas para veículos elétricos. Por isso, vemos como uma necessidade a compilação das pesquisas realizadas no campus FGA-Gama voltadas para o estudo dos veículos elétricos, seus componentes e temas a eles relacionados.

O primeiro trabalho envolvendo veículos elétricos na FGA-Gama ocorreu no ano de 2012 por meio de uma disciplina chamada Projeto Integrador 2. Trata-se de uma disciplina que junta alunos das cinco engenharias ministradas no campus e os envolve no desenvolvimento, dimensionamento e construção de um protótipo de engenharia. O protótipo desenvolvido correspondeu a uma bancada de testes para veículos elétricos, que permitia analisar motores elétricos por indução, assíncronos, e cuja utilização futura contemplaria a conversão de dois veículos a combustão para elétrico, a saber: um Gurgel BR800 e um Fiat Palio. Esse trabalho coincidiu com a proximidade da formação da primeira turma de engenheiros da FGA-Gama, que havia iniciado o curso quando do início das aulas da faculdade, em 2008, o que evidencia a ligação precoce entre o campus da FGA-Gama e as pesquisas cujo tema envolve, de forma direta ou indireta, as tecnologias envolvidas no desenvolvimento de veículos elétricos.

Nesse mesmo ano, iniciou-se a conversão do Gurgel BR800, a combustão, para elétrico, com a ajuda de um grupo de estudantes da disciplina de Projeto Integrador 2, mas cuja finalização só aconteceria nos anos seguintes. Alguns anos depois, foi a vez da conversão de um carrinho de Golf em elétrico híbrido, com a instalação de um motor a combustão que funcionaria como gerador de energia para o motor elétrico. A título de exemplificação, a Figura 1, a Figura 2 e a Figura 3 abaixo mostram os veículos já convertidos em elétrico na FGA-Gama.

Figura 1 - Fiat Palio convertido para elétrico



Fonte: VIEIRA et. al (2015)

Figura 2 - Carrinho de golf



Fonte: OLIVEIRA (2018)

Figura 3 - Gurgel BR 800



Fonte: RIVEIRO; MENEGHIN; ELS, (2020)

Além dos projetos acima, diversos trabalhos com temas relacionados aos veículos elétricos foram desenvolvidos no campus da FGA-Gama. Abaixo, segue Quadro 1, resumido, com dados bibliográficos de trabalhos já realizados na FGA-Gama cujo assunto, de forma direta ou indireta, refere-se à tecnologia veicular elétrica.

Quadro 1 - Trabalhos relacionados à eletrificação veicular desenvolvidos na FGA

| ANO | AUTOR | TÍTULO | ASSUNTO/OBJETIVO |
|------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| 2012 | Equipe Multidisciplinar | <i>Projeto Integrador 2</i> | Conversão Gurgel BR 800 para elétrico |
| 2012 | Equipe Multidisciplinar | | Conversão Fiat Palio para elétrico |

| | | | |
|------|--|--|--|
| 2014 | BENTO, João Paulo Moreira | <i>Análise da Viabilidade de Adaptação de Motores Elétricos nos Cubos de Rodas Traseiras de Veículos de Passeio</i> | Análise de viabilidade técnica de conversão de veículo para elétrico |
| 2015 | COSTA, Marcos de Oliveira | <i>Projeto de Plataforma de Análise de Conversão de Tração de Veículos Com Motor a Combustão Interna Para Tração Elétrica</i> | Bancada para análise de veículos elétricos e dimensionamento de seus componentes, utilizando com obase a conversão do FIAT Palio para elétrico |
| 2015 | VIEIRA, Marcus Vinícius Barbosa, ELS, Rudi Henri Van, e KHALIL, Saleh Barbosa Khalil | <i>Avaliação de Um Veículo a Combustão Interna Convertido Para Tração Elétrica</i> | Avalia teste de performance do Gurgel BR 800 convertido para elétrico |
| 2016 | SILVA, Matheus Barros, e SOUSA, Victor Hugo de | <i>Sistemas Híbrido-Hidráulicos e Híbridoelétricos para Geração de Potência Mecânica: recuperação parcial da energia de frenagem</i> | Projeto de bancada didático experimental para sistema de freios regenerativos |
| 2016 | LACERDA, Kallil Rocha | <i>Critérios de Escolha e Dimensionamento Para o Sistema Motriz de Um Veículo Tipo Fórmula SAE Elétrico</i> | Dimensionamento de motor elétrico para veículo tipo Fórmula SAE elétrico |
| 2017 | CHAVES, Hildoglas Botelho | <i>Bancada Híbrida Combustão/Energia Elétrica</i> | descreve o projeto de uma bancada de testes para instalação de um gerador eletromagnético |

| | | | |
|------|--|---|--|
| 2017 | ELS, Pedro Paulo Dunice Van et. all | <i>Conversão de BR800 e Dimensionamento Do Sistema de Arrefecimento</i> | Apresenta a metodologia de conversão do veículo Gurgel BR 800 para elétrico |
| 2017 | FREITAS, Renato Cunha Morais de et. all | <i>Plataforma de Ensaio Para Conversão de Veículos Elétricos Com Motor de Imã Permanente Sem Escovas e Banco de Baterias</i> | Apresenta metodologia para realização de cálculos da potência e energia necessárias para um veículo a combustão a ser convertido em elétrico |
| 2018 | OLIVEIRA, Túlio Costa de | <i>Estudo da Tecnologia Empregada em Veículos Elétricos com Autonomia Estendida: comparativo experimental com veículos híbridos</i> | Compara a emissão e gases de motor a combustão por um veículo Toyota Prius e um carrinho de Golf convertido em veículo híbrido |
| 2019 | BOÇON, Gustavo Schafhauser | <i>Análise Do Impacto de Veículos Elétricos Na Rede de Distribuição de Energia Elétrica</i> | Avalia o impacto que o carregamento das baterias de um veículo elétrico teria sobre a rede de distribuição de energia elétrica e na tarifa de energia elétrica |
| 2019 | PRIMO, Júlio César Tavares | <i>Remodelagem e Modernização de Veículos Em Fim de Vida</i> | viabilidade de adaptação de motores elétricos a um veículo a combustão em fim de vida |
| 2019 | NASCIMENTO, Alex, e ELS, Rudi Henri Van, e | <i>Design of Control System for Electric Motor of Two-Stroke Hybrid 800CC</i> | Design de um sistema de controle para um motor elétrico instalado |

| | | | |
|-----------|---|---|---|
| | MENEGHIN, Pedro Luiz | <i>Internal Combustion Engine</i> | em um veículo convertido para elétrico |
| 2020 | RIBEIRO, Alex do Nascimento, MENEGHIN, Pedro, e ELS, Rudi Henri Van | <i>Developing Technology for a Brazilian Hybrid Electric Mini Car</i> | Experiência da conversão de um veículo BR800, Gurgel, para híbrido, com a manutenção do motor a combustão funcionando em paralelo com um motor elétrico |
| 2020-2021 | Equipe multidisciplinar | Projeto Tecnomobele | Conversão da VAN Boxer Longa Peugeot 2.8 HDI 2008 Diesel para elétrica |

Fonte: o AUTOR (2020)

Por fim, é preciso acrescentar, ainda, que as pesquisas com veículos elétricos não pararam. Apesar das intempéries vividas por toda a sociedade no atual ano, o trabalho de conversão de veículo a combustão para elétrico continua com a conversão da VAN PEUGEOT BOXER 2.8 HDI 2008 DIESEL para tração elétrica.

Figura 4 - Van Boxer Peugeot 2.8 HDI 2008



Fonte: Acervo Do Projeto TECNOMOBELLE (2021)

Essa conversão serve de fundamento para o presente trabalho e tem por ideal ajudar a sociedade brasileira a encontrar um caminho mais rápido e menos custoso em direção à adoção de veículos movidos por propulsão elétrica.

2.2. Revisão do Estado da Arte

Esse item tem por objetivo estabelecer o estado da arte relacionado à análise de viabilidade de conversão de veículos a combustão em veículos elétricos. Apesar da necessidade de informar que esse tópico não tem a intenção de ser exaustivo, é preciso reconhecer, no entanto, que ainda não existem muitos trabalhos realizados até o momento a respeito desse assunto, haja vista que a conversão de veículos a combustão em elétricos ainda é um tema muito recente, restrito a umas poucas empresas ou empreendedores autônomos capazes de realizar tal empreitada e a pesquisas desenvolvidas dentro de universidades.

Um estudo já citado no tópico anterior e que convém citar novamente é o trabalho de conclusão de curso realizado na FGA-Gama intitulado *Análise da Viabilidade de Adaptação de Motores Elétricos nos Cubos de Rodas Traseiras de Veículos de Passeio* (BENTO, 2014), cujo objetivo consistia em analisar a viabilidade de conversão de um veículo a combustão em híbrido a partir da instalação de motores elétricos nos cubos das rodas traseiras do veículo. Esse estudo é positivo porque já traz uma análise dos custos de aquisição e instalação dos motores elétricos e seus componentes periféricos, bem como uma comparação entre os custos de consumo de combustível durante rodagem do veículo com motor original e do veículo transformado em híbrido.

Em *Análise da Viabilidade Técnico-Econômica de um Kit Elétrico para Veículos Automotores*, Portella de Carvalho (S/d) usa o ciclo de condução “The New York City Cycle” para realizar a análise de consumo de um veículo a combustão durante a realização do percurso escolhido e da quantidade de energia necessária para o mesmo veículo, já convertido em elétrico, poder percorrer, do início ao fim, o trajeto do ciclo citado. Com os resultados em mãos, o autor propõe a criação de um kit para conversão de veículo a combustão em elétrico e faz uma análise comparativa entre o custo monetário por ciclo consumido em combustível e em energia elétrica para o veículo a combustão e para o veículo convertido para elétrico, chegando à conclusão de que o veículo elétrico tem um custo de locomoção bem menor que o veículo a combustão.

Sampaio (2012), em *Estudo da Viabilidade Técnica e Econômica da Conversão para Veículo Elétrico*, por outro lado, faz não só uma análise da viabilidade econômica de conversão de um veículo a combustão para elétrico, como, também, a análise da viabilidade técnica de conversão a partir da realização de um projeto de conversão de um veículo Volkswagen Golf de 1988 a combustão em elétrico.

No critério técnico, o autor seguiu com a abordagem e dimensionamento do desempenho do veículo, velocidade máxima, autonomia, capacidade de aceleração em subidas e o desempenho de cada velocidade da caixa de marchas. A partir dos resultados obtidos para as variáveis consideradas, foram escolhidos os componentes da tração elétrica. No critério econômico, por sua vez, o autor focou no tempo de retorno do investimento realizado, constatando que o retorno do investimento ocorre após 10 anos da conversão do veículo e sob a condição de que o veículo trafegue pelo menos 24 km por dia.

No artigo *Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica de um Veículo Elétrico Urbano de Carga*, por sua vez, Vasconcelos (2015) trata da viabilidade técnica e econômica de veículos elétricos urbanos de carga já existentes no mercado como o Tesla Rodaste, Renault Zoe e o Nissan Leaf, e compara os veículos citados com veículos a combustão em termos de eficiência e autonomia, apontando que viabilidade econômica na conversão de um veículo a combustão para elétrico é positiva.

Em *Análise de Viabilidade Técnica e Econômica de um Veículo Elétrico versus Veículo a Combustão e Carros Elétricos: viabilidade econômica e ambiental de inserção competitiva no mercado brasileiro*, Rocha Santos (2017) e Azevedo (2018), respectivamente, focam suas pesquisas na viabilidade econômica do veículo elétrico de passeio frente ao veículo a combustão, comparando o consumo de rodagem de cada veículo. Os autores concluem por um tempo de retorno do investimento na aquisição de um veículo elétrico de fábrica superior a 15 anos, o que contrasta em demasia com o tempo de retorno encontrado nas pesquisas citadas acima de 10 anos, aproximadamente, para se obter o retorno do investimento feito na conversão de um veículo a combustão para elétrico.

No artigo *Análise e Estudos da Conversão de uma Kombi para Tração Elétrica*, Peres (2007) faz uma análise simulada em termos de consumo e potência necessárias à conversão de uma perua Kombi a combustão para elétrica. Entretanto, a análise não se estende à análise econômica da conversão.

No mesmo contexto, podemos citar o artigo *Avaliação de Um Veículo a Combustão Interna Convertido Para Tração Elétrica* (VIEIRA; ELS; KHALI, 2015), cuja análise de um veículo da marca Gurgel de modelo BR800 convertido para elétrico concentrou-se na discussão do desempenho do veículo convertido em termos de potência e consumo.

O estudo *Conversão de Veículos Diesel para Tração Elétrica* (ARAÚJO, 2013), por outro lado, faz um trabalho completo ao analisar a viabilidade técnica e econômica

de conversão de um veículo a diesel, pertencente à Força Aérea de Portugal, para elétrico. A análise concentrou-se nas Vantagens da conversão em nível econômico, comparando o investimento necessário à conversão com os custos associados ao veículo diesel.

A conclusão do autor foi a de que o investimento na conversão de um veículo a combustão para elétrico é economicamente viável e possui um Payback, ou tempo de retorno do investimento, de 10 anos. Essa conclusão considera um uso mínimo diário de rodagem do veículo de 25 km, a partir do qual o retorno do investimento se torna viável. Abaixo dessa quilometragem, por outro lado, o investimento mostra-se inviável, pois o investimento não se pagaria, já que, a cada 8 anos, o banco de baterias teria de ser renovado, aumentando ainda mais os custos (ARAÚJO, 2013).

Dos estudos acima, podemos depreender que todos os custos relacionados à conversão e à rodagem do veículo convertido para elétrico devem ser levados em consideração, inclusive os custos de reposição das baterias ao final de sua vida útil.

2.3. Estudos de Metodologia de Conversão

As atividades científicas caracterizam-se pela utilização de métodos e técnicas reproduzíveis e logicamente encadeados que permitem ao pesquisador evitar erros e contornar desvios causados pela ação humana ou pela imprecisão de seus equipamentos. Assim, se nem todo método científico pertence à ciência, não há ciência sem método científico (MARCONI, 2003).

O método científico, portanto, pode ser definido como um conjunto de atividades sistemáticas e racionais que permitem alcançar um objetivo com maior segurança (MARCONI, 2003).

Na área de conversão de veículos a combustão para elétricos, a metodologia de pesquisa e o processo de trabalho também são imprescindíveis para a realização de uma conversão adequada aos desejos do usuário do veículo, alcançando os níveis de consumo, custo e eficiência almejados. É preciso reconhecer, no entanto, que ainda não há uma metodologia científica padronizada para a conversão de veículos a combustão em elétricos. Nesse sentido, aqueles que se aventuram nessa seara acabam por usar diferentes metodologias, metodologias essas desenvolvidas para outros fins que não a conversão de um veículo a combustão em elétrico.

Elifas Chaves Gurgel do Amaral (2018), no livro *Como Converter o seu Carro para Elétrico*, trabalha de uma forma muito pragmática na conversão de um veículo a combustão para elétrico. Mas, seu pragmatismo não deixa de ter uma sequência lógica.

Na obra citada, Amaral (2018) estabelece os passos necessários para converter um veículo da marca Volkswagen Gol 2008 a combustão em totalmente elétrico, iniciando com a escolha do veículo a ser convertido, passando pelo dimensionamento do motor elétrico a partir de cálculos de dinâmica veicular e, por fim, determinando os demais componentes do sistema elétrico de tração, como o banco de baterias, o controlador, o inversor, entre outros componentes secundários em função do tipo de motor escolhido e do desempenho esperado para o veículo. A fase de operacionalização da conversão foi iniciada a partir de um planejamento de todas as ações a serem realizadas e da construção de um cronograma a ser seguido (AMARAL, 2018). A fase final correspondeu ao trabalho de homologação do veículo convertido para elétrico junto às autoridades de trânsito.

Em sentido contrário, em *Conversão de BR800 e Dimensionamento Do Sistema de Arrefecimento*, Els et al (2017) trabalham o dimensionamento do sistema motriz elétrico a partir da experimentação do veículo em movimento. Como Els (2017) afirma que tratar o dimensionamento do sistema de tração elétrico apenas com os dados do veículo nas equações obtidas a partir dos métodos de dimensionamento da dinâmica veicular pode não ser a melhor das opções. Por isso, a metodologia proposta pelos autores para dimensionar o sistema de tração elétrico parte de um dimensionamento da dinâmica do veículo inicial e, na sequência, utiliza esses resultados para otimizar, a partir de ensaios em uma plataforma com dinamômetro de rolos e bancada de acionamento de motores (expresso na Figura 5), o dimensionamento do conjunto motor-controlador-banco de baterias, com base nas solicitações de potência e energia determinadas para um ciclo de condução padronizado (ELS, 2017).

Figura 5 - Gurgel BR800 em dinamômetro

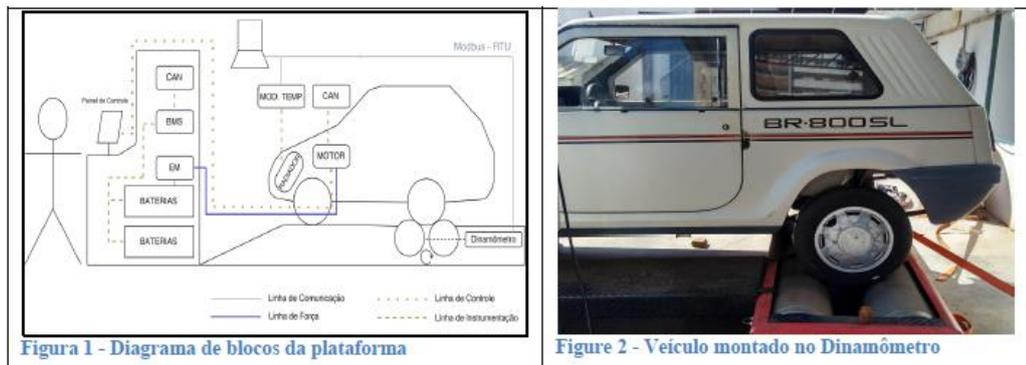


Figura 1 - Diagrama de blocos da plataforma

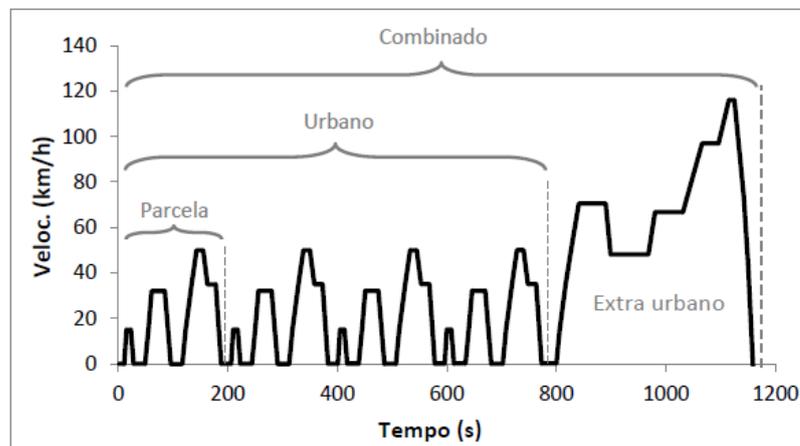
Figure 2 - Veículo montado no Dinamômetro

Fonte: ELS (2017)

Em *Projeto e Análise ao Funcionamento de Carros Elétricos*, Freitas (2012) pretendeu realizar a conversão de um *Buggy* a gasolina para elétrico. A metodologia utilizada no dimensionamento do sistema elétrico de tração foi composta pela simulação

do desempenho do veículo em função do ciclo de condução europeu NEDC (*New European Driving Cycle*) mostrado no Gráfico 1, a partir do qual o autor extraiu os parâmetros de consumo e potência utilizados na especificação do motor elétrico e do conjunto de baterias.

Gráfico 1 - Ciclo de condução europeu NEDC



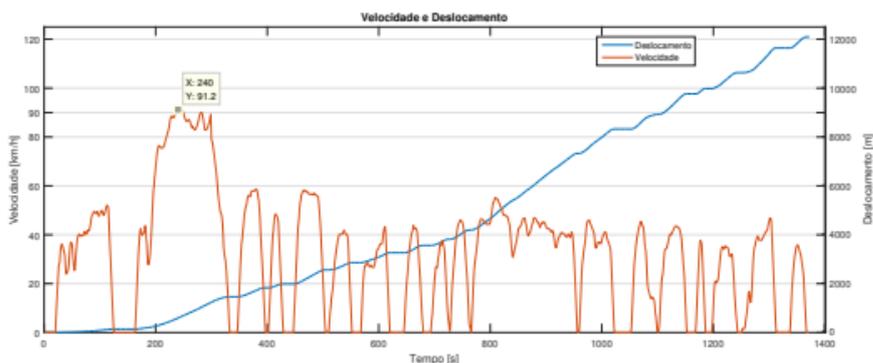
Fonte: FREITAS (2012)

Com os dados de consumo e potência obtidos, o autor fez a escolha de um motor e de um conjunto de baterias e, em seguida, refez a simulação acima, mas, agora, incluindo os dados referentes ao motor elétrico e às baterias escolhidos, concluindo que o motor e as baterias escolhidos não eram adequados ao desempenho pretendido para o veículo. Então, Freitas (2012) refez a simulação e realizou novas escolhas de motor e baterias para o veículo elétrico, repetindo o processo até encontrar os componentes adequados ao veículo.

A metodologia descrita acima permitiu ao autor obter resultados em termos de potência e consumo, ajudando-o a escolher o tipo de motor e de bateria mais próximos de suas necessidades, evitando super e sub dimensionamento desses dois componentes. Entretanto, como o próprio autor reconhece, o ciclo de condução europeu, como outros ciclos, não inclui curvas, elevações, declínios longitudinais ou laterais no trajeto usado na simulação de rodagem do veículo (FREITAS, 2012).

Em *Dimensionamento do Sistema de Tração para Veículos Elétricos: tração dianteira in-wheel*, Rodrigues (2017) traz mais um exemplo de dimensionamento da dinâmica do veículo a combustão a ser convertido para elétrico a partir do uso de um ciclo de condução padronizado, a saber, o ciclo NBR 6601, apresentado no Gráfico 2, que representa a condução de um veículo em ambiente urbano.

Gráfico 2 - Ciclo de condução NBR 6601 e deslocamento

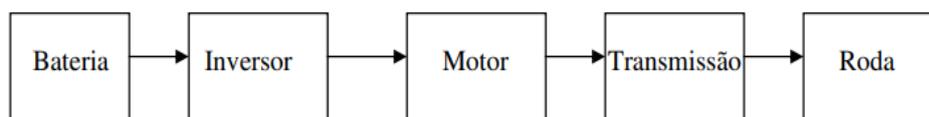


Fonte: RODRIGUES (2017)

A partir dos dados do veículo e do ciclo padronizado inseridos em ambiente Simulink/Matlab, Rodrigues (2017) obteve dados de potência e consumo para o veículo em função de seu desempenho no ciclo indicado e, em seguida, utilizou esses dados para determinação do motor, do conversor e das baterias a serem usados no veículo elétrico.

Em *Análise e Estudos da Conversão de uma Kombi para Tração Elétrica*, Peres (2007) analisa a conversão de um veículo do tipo Volkswagen Kombi a combustão para totalmente elétrica. O veículo elétrico final deveria ter autonomia e potência para percorrer um trecho de 10 km de distância a uma velocidade média de 50 km/h. A conversão foi realizada com o intuito principal de desenvolver uma metodologia de conversão de veículos a combustão em elétrico. Abaixo, a Figura 6 segue o esquema utilizado pelo autor para compor a sequência lógica que orientaria os cálculos de dinâmica veicular e, por conseguinte, de necessidade de potência e de consumo do veículo convertido para elétrico.

Figura 6 - Esquemático de configuração do veículo elétrico para efetuação de cálculos de dinâmica veicular



Fonte: PERES (2007)

Após um cálculo básico inicial das necessidades de potência e consumo de energia pelo veículo elétrico, foi escolhido um motor elétrico preliminar e um especificado um conjunto de baterias. Os dados do motor e das baterias escolhidos foram utilizados para a realização de uma nova rodada dos cálculos. Permitindo a Peres (2007) concluir que a bateria e o motor elétrico escolhidos previamente não possuíam as características necessárias para promover o deslocamento do veículo dentro das

especificações previamente definidas. A partir desse resultado, o autor supracitado refez a simulação, obtendo, enfim, dados mais precisos para a escolha de um motor e de um conjunto de baterias considerados mais adequados para o veículo. É preciso constar que toda a simulação foi realizada computacionalmente, sem a utilização de dados do veículo em operação real.

Em contrapartida, em *Veículos Elétricos e a Geração Distribuída a Partir de Sistemas Fotovoltaicos*, Silva (2019) caminhou em direção contrária aos autores anteriores. O trabalho em questão tinha por objetivo converter para elétrico o veículo Mercedes Benz, modelo Classe A 190 a combustão. Não foram realizadas simulações para determinação da potência e do consumo do veículo. Ao contrário, Silva (2019), após determinar a priori os componentes necessários à conversão do veículo, concentrando-se em um motor de 10 kWh e um conjunto de baterias, realizou a conversão e, em seguida, colocou o veículo em operação, concluindo, então, que o motor precisaria ser trocado por um de 20 kWh para que o veículo alcançasse o desempenho por ele esperado.

O problema dessa metodologia foi o seu alto custo. Além do custo de rodagem em ambiente real com o veículo, houve o custo da aquisição de baterias e de um motor elétrico fora das especificações necessárias para se alcançar o desempenho pretendido, o que trouxe por consequência a aquisição de novo motor e de novas baterias mais adequados ao veículo, com perda do investimento feito no motor e na bateria adquiridos para o teste.

A ideia de realizar operações de campo para determinar o desempenho real do veículo pode ser muito útil na determinação das necessidades de potência e consumo do veículo a ser convertido para elétrico. Entretanto, isso deve ser feito antes da conversão, evitando, assim, superdimensionamento, custos desnecessários e perda de um tempo que poderia ser melhor utilizado na busca por melhores soluções para o veículo a ser convertido para elétrico.

3. Veículos Elétricos

Os veículos elétricos possuem uma configuração formada basicamente por baterias, inversor de frequência e motor elétrico. Esses três componentes, no entanto, precisam de componentes auxiliares para o bom desempenho de suas

Esse capítulo tem por objetivo descrever os principais componentes dos veículos elétricos e alguns de seus componentes auxiliares principais, evitando, porém, aqueles

componentes que não são considerados cruciais durante o processo de dimensionamento de um veículo elétrico, como cabos, fusíveis, capacitores, entre outros.

3.1. Conceito de Veículo Elétrico

Antes de mais nada, alguns conceitos a respeito da tipologia de veículos híbridos e elétricos precisam ser esclarecidos. Abaixo, seguem suas descrições, segundo classificação utilizada pelo Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES, 2018):

Veículos Híbridos – são veículos que possuem motor elétrico e motor a combustão, e cuja alimentação se dá apenas por meio de combustível fóssil.

Veículos Elétricos Híbridos Plug-in – são veículos híbridos, com motor a combustão e motor elétrico, mas que podem ser alimentados tanto com combustível fóssil, para o motor a combustão, quanto com energia elétrica por meio de recarregamento das baterias.

Veículos Elétricos Puros – são veículos que possuem apenas motores elétricos e, portanto, só podem ser recarregados com energia elétrica.

Veículos Elétricos a Célula de Combustível – são veículos elétricos que, no lugar das baterias, ou de parte delas, possuem células de combustível capazes de transformar um combustível, seja fóssil ou não, em energia elétrica, para alimentar o sistema de armazenamento de energia e o motor elétrico (BNDES, 2018).

Por fim, os veículos híbridos ainda podem ser em série ou em paralelo. O veículo híbrido em série possui um motor elétrico que traciona as rodas e um motor a combustão que funciona apenas como gerador de energia elétrica para o motor elétrico. No veículo híbrido em paralelo, por sua vez, os dois motores, tanto a combustão quanto por tração elétrica, são capazes de tracionar as rodas do veículo (BNDES, 2018).

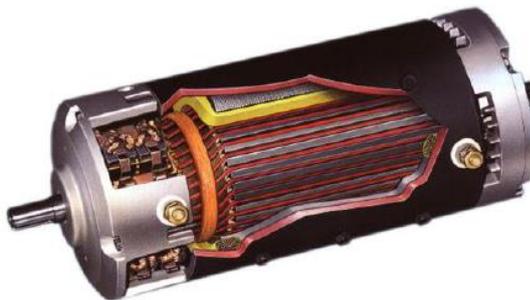
3.2. Motores Elétricos

3.2.1. Motor CC

O Motor CC (exemplo apresentado na Figura 7) é um motor de corrente contínua alimentado por uma fonte de energia de corrente contínua. A troca de energia entre o rotor e o estator pode ocorrer por meio de escovas ou mesmo por sistema sem escovas (*brushless*), e sua velocidade pode ser controlada por meio da variação a tensão (AZEVEDO, 2018). Os motores CC em série são conhecidos por operarem a potência

constante e, em paralelo (*shunt*), por operarem a velocidade constante. Por conta de suas características de binária e velocidades voltados para tração, os motores CC em série são ideais para uso em veículos elétricos, apesar de estar em desuso nos últimos tempos (FREITAS, 2012) por conta de suas limitações em relação à exigência de torques elevados.

Figura 7 - Motor CC em corte



Fonte: FREITAS (2012)

Abaixo, o Quadro 2 mostra as Vantagens e desvantagens dos motores elétricos CC:

Quadro 2 - Vantagens e desvantagens de motores CC

| MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA | |
|--|---|
| VANTAGENS | DESVANTAGENS |
| Bom desempenho para binários elevados | Desgaste e manutenção de escovas e coletor |
| Gama de variação de velocidade | Estrutura do rotor limita velocidade máxima |
| Sistemas de controle relativamente simples | Perdas elevadas no rotor dificulta evacuação de calor |

Fonte: Adaptado de ARAÚJO (2013)

3.2.2. Motor CA

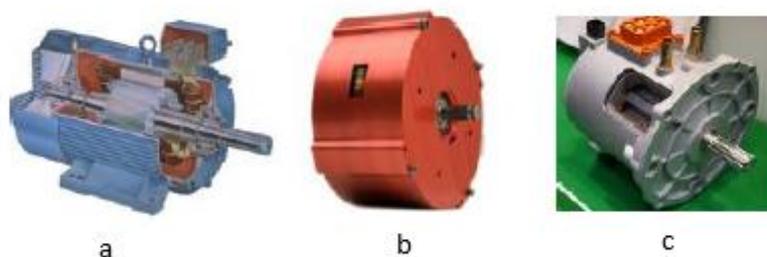
Motor CA é o motor de corrente alternada construído de forma a se ter dois campos magnéticos girantes (AZEVEDO, 2018). Dessa forma, enquanto no estator é gerado um campo magnético que gira em função do posicionamento das espiras e da

forma de onda de tensão, no rotor existe outro campo magnético, induzido ou não, que interage com o campo magnético do estator, produzindo o torque que faz o motor girar (VASCONCELOS, 2015).

Esse tipo de motor pode ser assíncrono, ou de indução, assim designado porque a velocidade de rotação do rotor tem um ligeiro atraso em relação ao campo magnético girante, ou síncrono, caso em que o atraso entre a velocidade de rotação do rotor e o campo magnético girante inexistente. Nesse último caso, a velocidade do rotor é proporcional à frequência de alimentação do estator e acompanha o campo magnético girante (FREITAS, 2012). Os motores CA podem ser monofásicos ou polifásicos, dependendo da quantidade de fases de sua alimentação (VASCONCELOS, 2015).

O motor CA síncrono do tipo ímã permanente é caracterizado por produzir um campo magnético estacionário. As correntes circulantes no estator do motor síncrono produzem um campo magnético girante, de modo que dois campos magnéticos passam a existir no motor, e o campo do rotor tenderá a se alinhar com o campo do estator à medida que este gira. Esse tipo de motor geralmente possui torque elevado e é relativamente pequeno se comparado aos motores de indução para uma mesma potência (AZEVEDO, 2018). A sua única desvantagem é o preço, por conta do alto custo dos ímãs (FREITAS, 2012). A Figura 8 mostra imagens de diferentes tipos de motores CA.

Figura 8 - Exemplos de motores CA: a) motor de indução, b) motor de ímã permanente, c) motor de relutância comutada



Fonte: Adaptado de FREITAS (2012)

Os motores elétricos, diferentemente dos motores a combustão, possuem um torque de partida elevado, fazendo com que não seja necessária uma caixa de marchas para produzir um torque alto (VASCONCELOS, 2015).

Os motores CA denominados de *brushless* são os mais recomendados para veículos elétricos por conta de sua baixa necessidade de manutenção e de sua capacidade de atingir torques elevados. Utilizados, no entanto, com uma fonte de energia CC, eles

exigem a conversão de CC em CA ou um inversor de frequência para a conversão da frequência da energia advinda da fonte de alimentação CC (VASCONCELOS, 2015).

O Quadro 3 abaixo resume as principais vantagens e desvantagens dos motores elétricos CA:

Quadro 3 - Vantagens e desvantagens dos motores CA

| MOTORES ELÉTRICOS CA | |
|---|---|
| VANTAGENS | DESVANTAGENS |
| Rendimento elevado | Controle de velocidade complexo |
| Velocidade máxima de rotação | Sistemas de controle custosos |
| Comportamento térmico eficiente | Conjunto motor + controlador é dispendioso |
| Inércia menor que de outros motores | Imãs são caros e podem perder características magnéticas com o aumento da temperatura |
| Podem trazer conversores eletrônicos eficientes associados a eles | Operam em fluxo constante |

Fonte: Adaptado de ARAÚJO (2013)

Enfim, a escolha do motor para um veículo elétrico depende de diversas características como potência, custo, rendimento, faixa de velocidade de operação, controlabilidade e tração. Ademais, os motores com rotor bobinado são pouco usuais, por causa da presença de escovas, que exigem manutenção frequente (AZEVEDO, 2018).

3.3. Baterias

A bateria é o dispositivo que compõe o sistema de armazenamento energia e alimenta o motor elétrico para subsequente geração de tração. As baterias mais utilizadas em veículos elétricos são as de hidreto metálico de níquel (NiHM), de chumbo-ácido (PbA), a bateria de zinco, as baterias de íon-lítio e as baterias de fosfato de lítio ferro, também conhecidas pela sigla LIFEP04.

3.3.1. Bateria de Chumbo-Ácido

As baterias de chumbo ácido são compostas por eletrodos de chumbo mergulhados em uma solução de ácido sulfúrico. As baterias de chumbo-ácido têm capacidade de fornecer correntes elevadas em curtos períodos de tempo, são baratas e não têm efeito memória (FREITAS, 2012). São usadas em veículos para alimentar os sistemas de partida, de iluminação e de ignição e para tracionar motores de veículos elétricos em máquinas industriais. Apesar de seu baixo custo, elas são extremamente agressivas ao meio ambiente, exigem cuidados demasiados em seu descarte e têm ciclos de duração muito limitados em relação a outros tipos de baterias, como as de íon-lítio, por exemplo (AZEVEDO, 2018). Por isso, apesar de serem as mais utilizadas em veículos a combustão, não são indicadas para veículos elétricos.

3.3.2. Bateria de Hidreto Metálico de Níquel

As baterias de hidreto metálico de níquel possuem uma liga metálica com alta capacidade de armazenamento de hidrogênio, o que lhes proporciona alta densidade de energia e capacidade de armazenamento (AZEVEDO, 2018). Possuem alta resistência à oxidação e um número grande de ciclos de carga e descarga. A maior Vantagem desse tipo de bateria é a ausência de metais tóxicos e seu efeito memória é baixo. Por tudo isso, acabou por substituir, na maior parte, as baterias de níquel-cadmio (NiCd), quando se trata de aplicações em veículos elétricos. Entretanto, as baterias de hidreto metálico de níquel também possuem desvantagens, como, por exemplo, vida útil limitada, falta de tolerância a sobrecarga, mau desempenho a altas temperaturas, geração de calor durante recarga e menor densidade energética em relação às baterias de lítio (FREITAS, 2012

3.3.3. Bateria de Zinco

As baterias de zinco são baterias em que o zinco é utilizado como eletrodo. Entre esse tipo de bateria podemos citar as baterias de zinco-prata (ZnAg) e as de zinco-ar (Zn-ar). As baterias de zinco-prata são seguras, não contêm metais tóxicos e podem ser recicladas. Esse tipo de bateria tem tido um papel importante em aplicações militares, espaciais e câmeras de televisão. Mas, seu alto custo por conta da prata e a vida útil muito curta praticamente baniram esse tipo de bateria do mercado comercial (FREITAS, 2012).

As baterias de zinco-ar estão em fase de aperfeiçoamento para uso em veículos elétricos, prometem baixar o custo do quilowatt-hora de energia para metade do custo das baterias de lítio. Essas baterias têm como princípio de funcionamento a oxidação de zinco. O oxigênio oriundo da atmosfera faz o papel do cátodo, liberando mais espaço no interior da bateria para o ânodo. Assim, com menores dimensões, a bateria consegue adquirir mais capacidade de armazenamento energético em relação a outros tipos de baterias (FREITAS, 2012). Muito utilizada em aparelhos eletrônicos de uso pessoal, como relógios, aparelhos de audição, calculadoras, entre outros, no entanto, ainda não alcançou o tamanho e a capacidade de desempenho ideais para o uso em grandes máquinas elétricas, e por isso as pesquisas continuam em andamento, no sentido de tentar transformar esse tipo de bateria em uma bateria apropriada para uso em veículos elétricos.

3.3.4. Bateria de Íon-Lítio

As baterias de íon de lítio foram um grande avanço na área de baterias a serem aplicadas a veículos elétricos. Essas baterias possuem vida útil prolongada, baixa toxicidade, alta densidade energética, bom desempenho e segurança quando empregadas em veículos elétricos (AZEVEDO, 2018).

As baterias de íons de lítio, segundo Freitas (2012), são compostas pelos seguintes tipos: Lítio óxido de cobalto (LiCoO_2), Lítio óxido de manganês (LiMn_2O_4), Lítio ferro fosfato (LiFePO_4), Lítio níquel manganês óxido de cobalto (LiNiMnCoO_2), Lítio níquel cobalto óxido de alumínio (LiNiCoAlO_2), lítio titanado ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$). Todas as variantes citadas possuem características parecidas quanto à densidade energética, vida útil, toxicidade e desempenho. Mas, é preciso destacar que todos os tipos precisam de monitoramento durante seu período de uso, para evitar risco de incêndio e explosão. Por isso, suas aplicações são realizadas em associação com sistemas de controle e monitoramento conhecidos como BMS (*Battery Management System*).

3.3.5. Bateria de Lítio-Ferro-Fostafo

As baterias de lítio-ferro-fostafo (LiFePO_4) são baterias que possuem alta energia específica e, por isso, possuem capacidade energética alta. Essas baterias não apresentam efeito memória, quase não apresentam auto descarga, sua tensão nominal permanece constante durante quase todo o tempo de descarga, têm vida útil e estabilidade elevadas e, além disso, não incendeiam nem explodem em caso de sobrecarga - embora

isso possa acontecer em caso de aquecimento por exigência de energia quando a bateria está descarregada, o que pode ser evitado por um bom monitoramento da carga energética da bateria através de um sistema BMS (FREITAS, 2012). Por conta de todas essas características, a bateria de lítio-ferro-fosfato tornou-se a preferida para aplicações em veículos elétricos.

3.4. Inversor de Frequência

Os inversores são dispositivos que convertem a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA). Assim, esse tipo de dispositivo é capaz de fornecer energia elétrica em corrente alternada para um motor elétrico de corrente alternada (CA) a partir de uma fonte de energia elétrica de corrente contínua (CC), como baterias ou células de combustível, por exemplo (SILVA, 2019). Nesse caso, a diferença de potencial elétrico em CA deve ter amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequados às cargas a serem alimentadas (SILVA, 2019).

Composto por quatro blocos funcionais básicos, a saber: um retificador, um link CC, um inversor e um módulo controlador, o inversor de frequência permite transformar a tensão da rede ou de uma fonte de energia CC, de amplitude e frequência fixas, em uma tensão de amplitude e frequência variáveis e controláveis (OLIVEIRA, 2013). Essa característica é muito interessante do ponto de vista do controle do motor AC, pois permite variar a velocidade da máquina por meio de várias estratégias diferentes.

Sendo um veículo elétrico configurado com um motor elétrico CA e um conjunto de baterias CC, é indispensável a utilização de um inversor de frequência para que energia vinda da bateria seja fornecida ao motor na configuração de frequência e amplitude adequadas ao seu funcionamento. A Figura 9 mostra exemplos de inversores de frequência.

Figura 9 - Inversores de frequência



Fonte: ARAÚJO (2013)

3.5. Controlador

O controlador do motor é o dispositivo responsável pelo controle de parâmetros como velocidade, aceleração e, em alguns casos, a travagem regenerativa dos veículos elétricos (FREITAS, 2012). Os veículos elétricos antigos com motor CC usavam potenciômetros como controladores de velocidade. A resistência do potenciômetro aumentava ou diminuía conforme a posição do pedal do acelerador. A variação da resistência do potenciômetro, por sua vez, regulava o fluxo de corrente das baterias para o motor, permitindo controlar a velocidade do veículo (FREITAS, 2012). Entretanto, esse tipo de controlador tinha pouco rendimento por causa do efeito de joule nas resistências.

Atualmente, o sistema de controle pode ser feito por meio de um sistema denominado PWM (*Pulse-Width Modulation*), cujas funções incluem conversão de tensão contínua em alternada, regulação do fluxo de corrente entre a bateria e o motor, inversão da rotação do motor e conversão do motor em gerador em caso de existência da função de travagem regenerativa no motor elétrico (FREITAS, 2012).

A alimentação controlada por PWM pode trazer alguns aspectos desfavoráveis ao motor elétrico, tais como diminuição do rendimento, aumento da temperatura e de ruído (FREITAS, 2012). Entretanto, os problemas do PWM são diminuídos quando ele é incorporado a outros tipos de controladores, como o FOC (*Field Oriented Control*), por exemplo (SILVA, 2019), ou a inversores de frequência, por meio de diferentes estratégias, dando origem a controladores de motores elétricos mais eficientes e compactos. Por conta disso não é raro o próprio inversor de frequência já trazer consigo um sistema de controle integrado que dispensa a aquisição de um dispositivo controlador à parte para o controle do motor.

A presença do controlador, seja ele integrado ou não a um inversor de frequência, é importante porque ele é o responsável pelo controle de velocidade, potência e torque do motor elétrico, o que reflete diretamente na condução e no desempenho do veículo elétrico (SILVA, 2019).

3.6. Sistema de Gerenciamento de Bateria (BMS)

O Sistema de Gerenciamento de Bateria ou *Battery Management System* (BMS) é um sistema eletrônico que tem por objetivo monitorar e controlar as recargas e descargas do conjunto de baterias, com o intuito de evitar que as baterias trabalhem fora de sua faixa

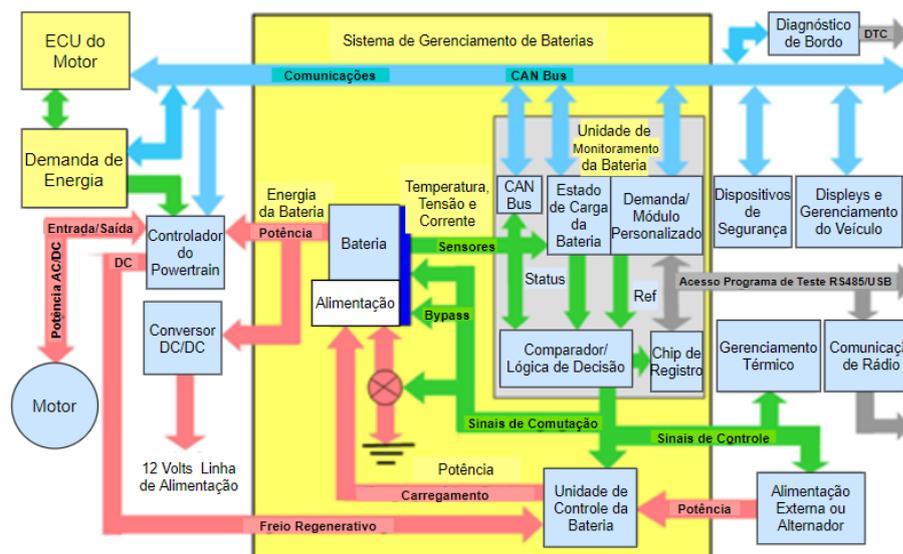
de operação segura (ELECTROPEDIA, acesso em: 15/06/2021). As baterias veiculares possuem um nível de carga mínimo e máximo que precisam ser respeitados, a fim de evitar que exigências de energia acima dos limites estabelecidos para as baterias levem-nas a um estado de superaquecimento e as danifiquem completamente, causando, ainda, risco de incêndios ou explosões.

Os parâmetros utilizados pelos sistemas de BMS atualmente são: corrente, tensão e temperatura (ELECTROPEDIA, acesso em: 15/06/2021). No caso de recarga, por meio desses parâmetros, o BMS evita super carga e sub carga de energia nas baterias, direcionando a energia que entra no conjunto de baterias por meio do recarregador para as baterias sem carga, evitando super carregamento das baterias já carregadas. No caso de descarga, o BMS é responsável por evitar que as baterias descarreguem além do limite de segurança. Nesse caso, o BMS monitora a quantidade de energia em cada bateria e indica que a bateria está descarregada e precisa de nova carga quando a carga da bateria atinge o limite de segurança mínimo de energia que precisa permanecer na bateria para evitar superaquecimento e possíveis danos ao produto. Nos dois casos, o BMS pode, caso tenha essa função, desconectar as baterias assim que identificar que sua recarga ou descarga está prestes a ultrapassar os limites de segurança, reduzindo ao mínimo possível a probabilidade de ocorrência de danos potenciais.

Por meio monitoramento dos parâmetros de corrente elétrica e tensão, o BMS evita excesso para cima ou para baixo dos valores tensão e corrente elétrica (ELECTROPEDIA, acesso em: 15/06/2021). Por meio do monitoramento da temperatura, o BMS monitora os instantes de aquecimento e resfriamento das baterias, a fim de informar quando qualquer um desses dois estágios atingir os valores limites de segurança, evitando, assim, perda de capacidade da bateria por super resfriamento e incêndio ou explosão por causa de super aquecimento (ELECTROPEDIA, acesso em: 15/06/2021).

O BMS, por conseguinte, é um dos principais componentes do sistema de armazenamento de energia de um veículo elétrico. A dimensão de sua importância pode ser vista na Figura 10 abaixo.

Figura 10 - Sistema de gerenciamento de energia em um veículo elétrico



Fonte: ELECTROPEDIA (acesso em: 15/06/2021)

A imagem da Figura 10 mostra a unidade de monitoramento das baterias (*Battery Monitoring Unit* ou *BMU*) de um *BMS*, a unidade de controle das baterias (*Battery Control Unit* ou *BCU*), a rede de comunicação interna *CAN BUS* do veículo e as interfaces desses subsistemas com os demais subsistemas de monitoramento e controle do sistema de armazenamento de energia do veículo elétrico (ELECTROPEDIA, acesso em: 15/06/2021). Assim, é possível identificar como o *BMS* se relaciona com o sistema de carregamento do conjunto de baterias, o sistema de descarga de energia e a demanda de energia vinda do motor elétrico, os dispositivos de segurança do veículo e do conjunto de baterias e a temperatura interna e externa ao conjunto de baterias.

A arquitetura do *BMS* e o modo como ele será conectado aos subsistemas veiculares pode variar de projeto para projeto e de fabricante para fabricante, entretanto, as funções acima são as mais importantes e devem ser respeitadas por meio do emprego do *BMS* mais adequado ao sistema de armazenamento de energia utilizado.

3.7. Sistema de Carregamento

O sistema de carregamento tem por função recarregar as baterias com energia elétrica a partir de postos de carregamento especializados, conhecidos como eletropostos, ou de tomadas elétricas caseiras ou industriais, dependendo do caso.

3.7.1. Carregadores Portáteis

As baterias de um veículo elétrico precisam ser carregadas com corrente contínua (CC) (FREITAS, 2012). Assim, a fonte de energia a ser utilizada no carregamento do conjunto de baterias precisa fornecer corrente contínua ou, em caso contrário, o carregador precisa ter integrado a ele um módulo com conversor de tensão CA/CC, capaz de receber energia elétrica de uma fonte de corrente alternada (CA) e convertê-la em corrente contínua (CC) (AMARAL, 2018). Como as tomadas residenciais de energia elétrica fornecem corrente alternada, o mais comum são os carregadores de energia com conversores de tensão CA/CC.

O carregador das baterias de um veículo elétrico não deve apenas converter a corrente alternada em contínua, mas, também, trazer consigo módulos de controle da taxa de carregamento e a função liga desliga automatizada, para que ele possa desligar-se automaticamente ao receber o sinal do BMS, informando que as baterias atingiram o limite de carregamento (ARAÚJO, 2013).

Existem diversos tipos de carregadores no mercado, como o *Switch Mode Regulator*, o Carregador Paralelo, o Carregador em Série, o *Pulsed Charger* ou *SCR Charger*, o Carregador em Ponte, o *Inductive Charger*, entre outros, que possuem diferentes funções e estratégias de funcionamento e cuja escolha vai depender do tipo de aplicação que se dará a ele, do tipo de bateria a ser recarregada e do tempo de carregamento que se deseja, seja mais lento seja mais rápido (ARAÚJO, 2013).

3.7.2. Eletropostos

Os eletropostos são postos de carregamento de energia para veículos elétricos que já vêm com todas as funções necessárias à operação de carregamento embutidas, permitindo um recarregamento mais rápido e mais seguro do veículo mediante o pagamento de uma taxa pela compra da energia transferida para o veículo (FREITAS, 2012). A Figura 11 apresenta dois tipos de eletropostos desenvolvidos pela empresa Tesla, referência no mercado de veículos elétricos.

Figura 11 - Carregadores de veículos elétricos da Tesla: a) carregador residencial, b) eletroposto: carregador comercial



Fonte: TESLA (acesso em 18/06/2021)

3.8. Sistema de Arrefecimento

O sistema de arrefecimento em veículos elétricos tem por função a retirada de calor do conjunto de baterias e do motor elétrico do veículo com o objetivo de evitar superaquecimento desses componentes. Esse sistema, portanto, divide-se em dois subsistemas: 1) subsistema de arrefecimento do conjunto de baterias; 2) subsistema de arrefecimento do motor.

3.8.1. Arrefecimento das Baterias

O subsistema de arrefecimento do conjunto de baterias pode ser desenhado com o emprego de ventiladores, arrefecimento a ar, ou uso de serpentinas, arrefecimento a água. No caso do arrefecimento a ar, o conjunto das baterias é instalado em uma área do veículo com boa circulação de ar e distante de fontes de calor, e um sistema auxiliar de ventiladores é instalado dentro do conjunto de baterias, para expulsar o ar para fora por meio de convecção (AMARAL, 2018). No sistema de arrefecimento a água, um circuito fechado de circulação de água é instalado dentro do conjunto de baterias e passa por radiadores internos e externos ao conjunto, permitindo a retirada de calor de dentro do conjunto, em caso de alta temperatura, ou levando calor para dentro dele, em regiões onde a temperatura ambiente fica abaixo da temperatura ideal de funcionamento das baterias,

promovendo, assim, o funcionamento do conjunto de baterias dentro da faixa de temperatura especificada por seu fabricante (ARAÚJO, 2013).

Outra estratégia que é utilizada por algumas montadoras é a de uso do sistema de ar condicionado do veículo para refrigerar o conjunto de baterias (FREITAS, 2012). A escolha do tipo de sistema de arrefecimento vai depender do local onde as baterias foram instaladas, da quantidade de baterias e dos custos de instalação do sistema de arrefecimento.

3.8.2. Arrefecimento do Motor

O arrefecimento do motor elétrico, por outro lado, atualmente já vem acoplado ao motor por meio de diferentes estratégias. Os motores elétricos classificados como máquinas abertas são refrigerados a ar. Nesses motores, o ar circula pelo interior do motor a partir do movimento do rotor e é retirado de dentro do motor por meio de aberturas estrategicamente definidas, de modo que o arrefecimento desse tipo de motor é feito por meio de convecção (FREITAS, 2012). Nem sempre esse tipo de arrefecimento é eficiente. Nesse caso, é preciso criar uma estratégia adicional de retirada de calor do motor antes de instalá-lo no veículo (TANAKA, 2013).

Os motores arrefecidos por fluidos (água ou óleo) são mais eficientes em termos de controle de temperatura do que os motores arrefecidos a ar (COSTA, 2015). Esses motores possuem canais de movimentação do fluido instalados entre a bobina e a carcaça do motor por meio dos quais o fluido circula e retira o calor do motor e o leva para o exterior do motor (FREITAS, 2012). Na Figura 12, segue imagem de motor elétrico do tipo *Water Cooled*, ou seja, refrigerado a água.

Figura 12 - Motor elétrico da WEG refrigerado a água



Fonte: FREITAS (2012)

3.9. Componentes Auxiliares

Alguns componentes auxiliares, que apesar de não terem seu uso restrito aos veículos elétricos, são de grande importância para um funcionamento seguro do veículo elétrico. Entre esses componentes, podemos citar: o voltímetro, o amperímetro, o interruptor de inércia, o botão de emergência, potenciômetro ou acelerador eletrônico, o sensor de velocidade e sensor de temperatura.

3.9.1. Voltímetro e Amperímetro

O voltímetro e o amperímetro monitoram o estado de tensão e a corrente elétrica do conjunto de baterias. Esses componentes devem ser conectados a mostradores instalados no painel do veículo com fácil visualização por parte do condutor do veículo. Por meio dessas informações, o motorista pode observar a quantidade de energia ainda resta armazenada nas baterias (AMARAL, 2018).

3.9.2. Interruptor de Inércia

O interruptor de inércia tem por função desligar o banco de baterias em caso de colisão veicular. O interruptor de inércia deve ser instalado na parte frontal do veículo, em posição estratégica, de modo que, em caso de colisão, ele possa ser automaticamente acionado. Em seu interior, esse aparelho possui uma esfera eletromagnética que, quando o interruptor é acionado pelo impacto da colisão, sai do lugar, abrindo o interruptor (CONSTANTINO, 2015). Uma vez aberto, o interruptor desliga o sistema de propulsão

do veículo e desconecta o sistema de baterias, impedindo uma possível descarga de energia de alta tensão vinda do banco de baterias.

3.9.3. Botão de Emergência

O botão de emergência funciona da mesma forma que o interruptor de inércia, promovendo a desconexão do sistema de energia quando acionado. Entretanto, seu funcionamento é manual, de modo que o motorista pode ligá-lo e desligá-lo sempre que achar necessário para sua segurança, para a segurança dos demais ocupantes do veículo ou de eletromecânicos que venham a dar manutenção no veículo (CONSTANTINO, 2015).

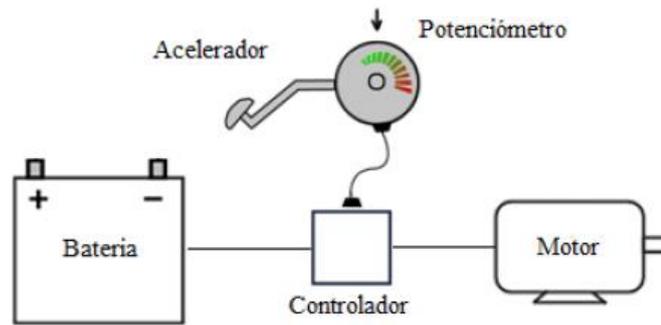
3.9.4. Acelerador

3.9.4.1. Potenciômetro

A função de aceleração do veículo elétrico pode ser realizada por meio de um potenciômetro ou de um acelerador eletrônico. O potenciômetro vem embutido em um acelerador mecânico que, quando tem sua alavanca pressionada, modifica a posição do potenciômetro. A modificação da posição do potenciômetro emite sinal para o controlador, que determina a quantidade de energia a ser enviada para o motor elétrico, aumentando ou diminuindo sua velocidade em função da quantidade de energia enviada ao motor (AMARAL, 2018). Esse dispositivo geralmente é utilizado em veículos que não possuem acelerador eletrônico de fábrica.

A Figura 13 mostra o esquema de controle de velocidade e aceleração de um veículo elétrico intermediado por um potenciômetro. Quando o pedal do acelerador é impulsionado para baixo, a posição do potenciômetro gira, enviando sinal para que o controlador envie uma maior quantidade de energia das baterias para o motor elétrico, fazendo com que este aumente sua velocidade.

Figura 13 - Esquema simplificado do controle de velocidade/aceleração de um veículo elétrico



Fonte: FREITAS (2012)

3.9.4.2. Acelerador Eletrônico

No caso de veículos que já vêm com acelerador eletrônico de fábrica, é preciso apenas adicionar um dispositivo ao sistema do acelerador que seja capaz de enviar uma tensão variável em função da pressão do motorista no acelerador ao controlador, indicando ao controlador o momento de aumentar ou diminuir a quantidade de energia a ser enviada ao motor elétrico, levando este a aumentar ou diminuir a velocidade (AMARAL, 2018).

3.9.5. Sensores

3.9.5.1. Sensor de Velocidade

O sensor de velocidade deve ser instalado junto ao motor elétrico para monitorar sua rotação e indicar ao motorista a velocidade do veículo em movimento. O sensor hall é o mais utilizado para esse tipo de função (AMARAL, 2018).

3.9.5.2. Sensor de Temperatura

Já o sensor de temperatura tem por função monitorar a temperatura do motor durante seu funcionamento. O motor elétrico pode atingir temperaturas próximas das temperaturas dos motores a combustão quando em funcionamento. Fora da faixa de temperatura de operação determinada pelo fabricante, o motor pode perder funcionalidade e ter sua vida útil reduzida. Por isso, é importante monitorar sua temperatura, para ter certeza de que a temperatura de trabalho do motor está sendo mantida dentro de sua faixa de operação pelo sistema de arrefecimento. Ambos os

sensores devem ser conectados a um painel instalado na cabine do veículo para mostrar os dados ao motorista em tempo real (AMARAL, 2018).

3.9.6. Cabos e Fusíveis

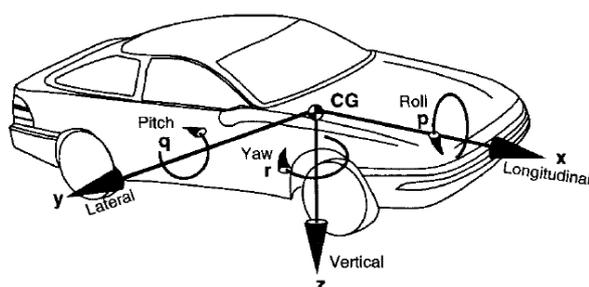
Além dos componentes auxiliares acima, não se pode esquecer dos cabos, fusíveis, contactores e conectores que deverão ser dimensionados e adquiridos em função do tipo de veículo e das especificações dos componentes elétricos nele instalados (AMARAL, 2018). Esses componentes têm por função a construção do circuito elétrico do veículo, promover conexões fáceis de serem removidas e reinseridas, proteger os componentes elétricos e eletrônicos e estabelecer o circuito elétrico de alta corrente (AMARAL, 2018).

4. Fundamentos de Dinâmica Veicular

4.1. Dinâmica de Veículos

A dinâmica veicular, assumindo o veículo como um corpo rígido, segue as convenções da Figura 14 ao tratar das direções dos movimentos dos eixos do veículo na vertical, longitudinal e lateral.

Figura 14 - Convenção dos sistemas de eixos veiculares



Fonte: GILLESPIE (2018)

Em que:

x – movimentos longitudinais com sentido positivo para a frente;

y – movimentos laterais com sentido positivo para o lado direito do veículo;

z – movimentos verticais com sentido positivo para baixo;

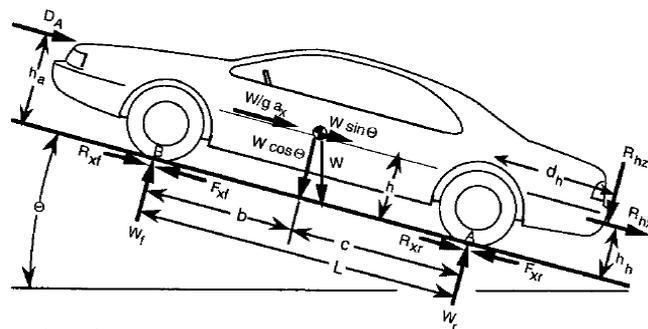
p – (roll) velocidade de rolagem em torno do eixo x;

q – (pitch) velocidade de arfagem em torno do eixo y ;
 r – (yaw) velocidade de guinada em torno do eixo z ;
 CG – Centro de Gravidade.

As funções de aceleração e frenagem estão conectadas aos movimentos longitudinais do veículo ao longo do eixo x . A dinâmica lateral relaciona-se ao movimento de esterçamento das rodas no eixo y . E a dinâmica vertical estuda o movimento vertical do veículo ao longo do eixo z em função de aceleração, frenagem e irregularidades da pista (RODRIGUES, 2017).

Mesmo com as convenções acima, determinar os carregamentos sobre um veículo em condições arbitrárias pode ser difícil, se não se tiver um padrão de análise. Nesse sentido, a Figura 15 traz as convenções usuais, utilizadas pela SAE (*Society of Automotive Engineers*) na aplicação da Segunda Lei de Newton no estudo da dinâmica veicular e na análise das forças que se opõem à sua movimentação (GILLESPIE, 1992).

Figura 15 - Forças arbitrárias agindo sobre o veículo



Fonte: GILLESPIE (2018)

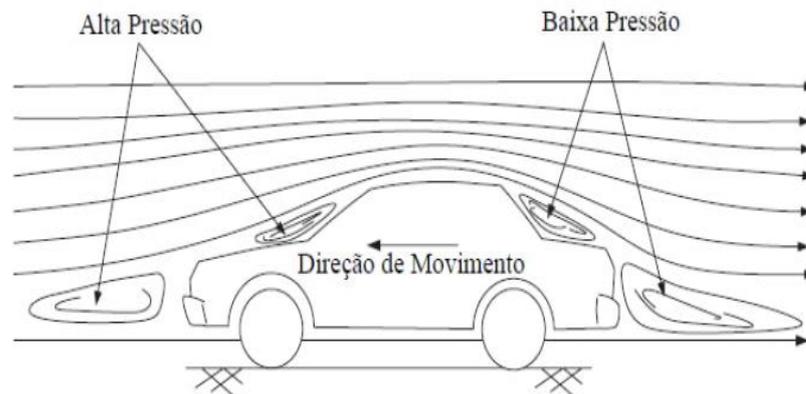
Na convenção, W representa o peso do veículo agindo em seu CG (Centro de Gravidade). A partir dessas novas convenções, pode-se, então, analisar o comportamento do veículo em situação operacional em função das forças que se opõem ao seu movimento.

4.1.1. Força de Resistência Aerodinâmica

A força de resistência aerodinâmica, exemplificada na Figura 16, tem origem em forças aerodinâmicas emergentes do meio durante a movimentação do veículo e oferece resistência aos movimentos longitudinais, laterais e verticais do automóvel (GILLESPIE,

1992). Originária da resistência do ar agindo em direção contrária à movimentação do veículo, a força de resistência aerodinâmica depende da velocidade do vento, da velocidade do veículo e da área do veículo exposta à resistência do ar, de modo que a forma do veículo está diretamente relacionada a esse tipo de resistência (RODRIGUES, 2017).

Figura 16 - Arrasto de forma na resistência aerodinâmica



Fonte: RODRIGUES (2017)

A força de resistência aerodinâmica é comumente expressa pela equação:

$$F_a = \frac{1}{2} * \rho * A * C_d * (V \pm V_v)^2$$

Em que:

F_a = força de resistência aerodinâmica;

ρ = densidade do ar em (kg / m^3) ;

A = área frontal do veículo (m^2) ;

C_d = coeficiente de arrasto aerodinâmico;

V = velocidade do veículo (m / s) ;

V_v = velocidade do vento (m / s) ;

Na parcela $(V \pm V_v)^2$, a velocidade do vento V_v é subtraída, se estiver a favor do veículo, e somada à velocidade do automóvel, se estiver em direção contrária à velocidade do automóvel. O coeficiente de densidade do ar, por sua vez, tem componente correspondente a $\rho = 1,22557 kg / m^3$.

O coeficiente de arrasto aerodinâmico, no entanto, é determinado experimentalmente e varia em função do design do veículo. Abaixo, o Quadro 4 apresenta valores experimentais de alguns tipos de veículos atualmente em circulação.

Quadro 4 - Coeficientes de arrasto em função da forma do veículo

| TIPO DE VEÍCULO | COEFICIENTE DE RESISTÊNCIA AERODINÂMICA |
|--------------------------------|---|
| Conversível aberto | 0,5 – 0,7 |
| Van | 0,5 – 0,7 |
| Sedan | 0,4 – 0,55 |
| Formato de cunha | 0,3 – 0,4 |
| Formato de cunha com carenagem | 0,2 – 0,25 |
| Hatchback | 0,23 |
| Design simplificado otimizado | 0,15 – 0,20 |
| Caminhões | 0,8 – 1,5 |
| Ônibus | 0,6 – 0,7 |
| Ônibus simplificado | 0,3 – 0,4 |
| Motocicletas | 0,6 – 0,7 |

Fonte: RODRIGUES (2017)

4.1.2. Força de Resistência ao Rolamento

Outra força que opõe resistência ao movimento do veículo é a força de resistência ao rolamento. Essa força tem origem na relação pneu-pista e depende de inúmeros fatores, como temperatura dos pneus, calibragem, velocidade do veículo e o tipo de material, design e coeficiente de deslizamento dos pneus (GILLESPIE, 1992). Apesar da importância de todos esses fatores, a força de resistência ao rolamento pode ser resumida na seguinte equação (GILLESPIE, 1992):

$$F_r = f_r * w * \cos\theta$$

Em que:

F_r = força de resistência ao rolamento;

f_r = coeficiente de resistência ao rolamento;

w = peso do veículo;

θ = ângulo de inclinação da pista;

Segundo Gillespie (1992), o coeficiente de resistência ao rolamento, f_r , pode ser calculado pela expressão:

$$f_r = 0,01 * \left(1 + \frac{V}{100}\right)$$

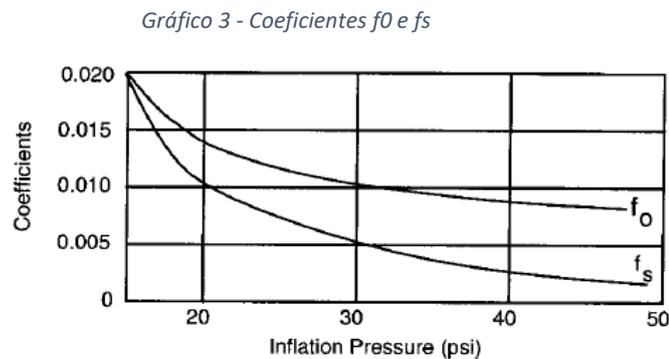
Em que:

V = velocidade do veículo em m / s .

Ou, ainda, pode-se calcular o coeficiente acima em função da pressão de interna dos pneus, conforme a equação:

$$F_r = f_0 + 3,24 * f_s * \left(\frac{V}{100}\right)^{2,5}$$

Em que f_0 , chamado de coeficiente básico, e f_s , chamado de coeficiente de efeito da velocidade, são determinados a partir do Gráfico 3:



Fonte: GILLESPIE (2018)

Apesar de dar a impressão de não ser uma força de resistência tão importante como a força de resistência aerodinâmica, a baixas velocidades, a resistência ao rolamento é a força de resistência primária ao movimento do veículo (GILLESPIE, 1992).

4.1.3. Força de Resistência Devido ao Plano Inclinado

A resistência devido ao plano inclinado é a resistência imposta ao veículo por causa da inclinação do terreno. Quando o veículo se movimenta no sentido de subir o aclive, essa força se opõe ao seu movimento. Quando o veículo desce o aclive, a força ajuda o movimento (RODRIGUES, 2017). Porém, para análise de tração ou potência necessária ao veículo para subir o plano inclinado, basta estudar o movimento de subida.

Assim, a força de resistência devido ao plano inclinado pode ser calculada a partir da equação:

$$F_{hx} = M * g * \sin\theta$$

Em que:

M = peso do veículo (kg);

g = aceleração da gravidade (m / s^2);

θ = ângulo de inclinação da pista.

4.1.4. Força de Resistência à Aceleração

O movimento de translação do veículo inicia-se com o movimento de rotação dos componentes do motor e do sistema de transmissão (OLIVEIRA, 2005). O conjunto de inércias envolvidas no movimento de translação e rotação do veículo é responsável por grande parcela de perda de força e, portanto, pela perda de potência do veículo durante seu movimento (RODRIGUES, 2017). Isso faz com que a capacidade de aceleração do veículo diminua com o aumento de sua velocidade linear (GILLESPIE, 1992). Nesse sentido, para se estimar com maior exatidão a performance de aceleração do veículo, deve-se levar em consideração as inércias do motor e do trem de força veicular (GILLESPIE, 1992).

Em todo caso, a força necessária para manter o veículo em aceleração constante, segundo Freitas (2012) e Larminie (20003), pode ser expressa pela equação:

$$F_{ca} = M * a_x$$

Em que:

F_{ca} = força de resistência à aceleração;

M = massa total do veículo;
 a_x = aceleração linear do veículo.

Não obstante, é preciso considerar ainda a aceleração angular da massa do motor, do mecanismo de transmissão e das rodas do veículo. Esses componentes possuem momentos de inércia associados ao seu movimento que interferem no seu funcionamento e na transmissão do torque e da aceleração às rodas do veículo (FREITAS, 2012). Porém, muitas vezes existem dificuldades em se obter os dados de momentos de inércia, aceleração e velocidade angular relacionados a esses componentes. Nesse sentido, pode-se contornar essa situação acrescentando 5% à massa do veículo na equação da força de resistência à aceleração F_{ca} , compensando, assim, o esforço exigido pelo motor devido à massa do rotor e à inércia do mecanismo de transmissão (LARMINE, 2003).

4.1.5. Força de Resistência à Curva

A força de resistência à curva corresponde à força F_s que surge em função do ângulo α de escorregamento lateral do pneu, exigindo maior esforço de tração do veículo para vencer a resistência dessa força, cuja equação é dada por:

$$F_s = \frac{M * V^2}{r_c} * \sin\alpha$$

Em que:

α = ângulo de inclinação da pista;

M = massa do veículo;

V = velocidade do veículo;

r_c = raio da curva realizada pelo veículo.

A dificuldade de se calcular essa força, contudo, reside no fato de se precisar de conhecimento preciso a respeito dos pontos de curva e seus ângulos de inclinação, o que nem sempre é possível obter a partir de dados obtidos em situação de operação real do veículo, haja vista a aleatoriedade das curvas do trajeto. Seu cálculo é mais efetivo, nesse sentido, apenas em situação com condições previamente estabelecidas.

4.2. Força Total

A força total necessária para fazer com que o veículo saia da inércia e vença as forças de resistência à sua movimentação pode ser calculada a partir da soma das equações de forças resistivas anteriores, com o que se chega à equação:

$$F_t = F_a + F_r + F_{hx} + F_{ca} + F_s$$

Expandindo essa equação com a integração dos termos interiores, temos:

$$F_t = \frac{1}{2} * \rho * A * C_d * (V + V_v)^2 + 0,01 * \left(1 + \frac{V}{100}\right) * w * \cos\theta + M * g * \sin\theta + 1,05 * M * a_x + \frac{M * V^2}{r_c} * \sin\alpha$$

Não foi encontrado um valor máximo para o ângulo de elevação, ou superelevação, como costuma ser designado pela engenharia civil, de trechos curvilíneos em estradas ou rodovias locais nos autores citados. Entretanto, na União Europeia, o ângulo máximo de superelevação em trechos curvilíneos de estradas não pode ultrapassar 7°, segundo o Instituto de Infraestruturas Rodoviárias IP, de Portugal (NORMA DE TRAÇADO – REVISÃO, 2010). Isso ocorre por conta do excesso de gelo que se forma nas rodovias em algumas regiões da Europa, o que torna as pistas muito escorregadias.

No Brasil, o valor máximo que se pode usar como ângulo durante a construção de superelevações curvilíneas é 12°. Em dinâmica veicular, o normal é o uso do valor de 8° para o ângulo α , por conta de possíveis derramamentos de óleo ou água na pista e para evitar que motoristas mais lentos tenham a sensação de atrito negativo entre os pneus e a pista (BORGES, S/D). Além disso, por causa da existência de raríssimas exceções em que a pista pode ter uma inclinação de 14°, 15° ou até 16°, pode-se trabalhar com esses valores para cálculo da força de resistência do plano inclinado, ou, ainda, considerar um fator de segurança, utilizando valores de inclinação entre 20° e 25°.

Assim, pode-se reescrever a equação da força total como:

$$F_t = \frac{1}{2} * \rho * A * (V + V_v)^2 + 0,00906 * M * g * \left(1 + \frac{V}{100}\right) + 0,4226 * M * g + 1,05 * M * a_x + \frac{0,208 * M * V^2}{r_c}$$

Em que:

$$g = 9,81066 \text{ m/s}^2;$$

$$\rho = 1,22557 \text{ kg / m}^3.$$

4.3. Potência Mecânica

Segundo Rodrigues (2017), para calcular a potência mecânica necessária ao veículo é possível utilizar duas técnicas. A primeira considera a potência máxima, ou potência de pico, necessária para o veículo realizar um ciclo de condução. A segunda, por sua vez, considera a determinação da potência mecânica média, considerando a velocidade inicial, o tempo de aceleração e a velocidade máxima. No segundo caso, contudo, é preciso estimar a potência nominal de acionamento do motor, o tempo e a distância de aceleração e projetar a relação de transmissão de modo que o veículo atinja a máxima velocidade na máxima rotação do motor.

Porém, como esse projeto não se estenderá ao desenvolvimento de uma nova transmissão para o veículo, preferimos escolher a primeira. Nesse caso, essa técnica consiste no cálculo da potência a partir da equação:

$$P_t = F_t * V$$

Em que o termo P_t corresponde à potência mecânica total exigida pelo veículo. Adicionando o termo F_t à equação acima, temos, então:

$$P_t = \left[\frac{1}{2} * \rho * A * (V + V_v)^2 + 0,00906 * M * g * \left(1 + \frac{V}{100} \right) + 0,4226 * M * g + 1,05 * M * a_x + \frac{0,208 * M * V^2}{r_c} \right] * V$$

Essa equação, por sua vez, pode se tornar ainda mais precisa caso se acrescente o rendimento da transmissão η_t , do motor η_m e do sistema de potência η_{cc} (RODRIGUES, 2017). De modo que a equação da potência total é:

$$P_t = \frac{V}{(\eta_t \eta_m \eta_{cc})} * \left[\frac{1}{2} * \rho * A * (V + V_v)^2 + 0,00906 * M * g * \left(1 + \frac{V}{100} \right) + 0,4226 * M * g + 1,05 * M * a_x + \frac{0,208 * M * V^2}{r_c} \right]$$

No caso de se preferir adicionar o ângulo de inclinação real da pista na equação da potência, pode-se retomar a equação da força total (F_t) com as respectivas variáveis destinadas às entradas dos valores dos ângulos de inclinação da pista na equação final.

4.4. Eficiência energética

A eficiência energética do veículo é tão importante quanto sua capacidade de vencer as forças resistivas que se opõem ao seu movimento. No caso dos veículos elétricos, um método que procura melhorar essa questão é o da regeneração de potência por meio da frenagem regenerativa. Nesse caso, a potência regenerada pode ser estimada por meio da equação da potência total acrescida do fator de frenagem regenerativa do sistema de recuperação de potência (RODRIGUES, 2017). Desse modo, temos que:

$$P_{reg} = \frac{\xi * V}{(\eta_t \eta_m \eta_{cc})} * \left[\frac{1}{2} * \rho * A * (V + V_v)^2 + 0,00906 * M * g * \left(1 + \frac{V}{100} \right) + 0,4226 * M * g + 1,05 * M * a_x + \frac{0,208 * M * V^2}{r_c} \right]$$

Em que ξ simboliza o fator de frenagem regenerativa, que representa o percentual da energia total que pode ser regenerada. Nesse caso, $\xi < 1$. Assim, balanço energético final é obtido por meio da expressão:

$$E_{out} = \int_{tração} P_t dt + \int_{frenagem} P_{reg} dt$$

A energia consumida pelo veículo elétrico, portanto, corresponde à soma da integral da potência exigida ao veículo pelas pistas do percurso a cada instante de tempo

com a potência recuperada pelo veículo por meio do sistema de frenagem regenerativa, em que a potência oriunda da frenagem regenerativa entra na equação com valor negativo.

5. Pesquisa de Mercado

Esse capítulo tem por objetivo analisar o mercado de veículos elétricos e híbridos brasileiro. A ênfase da análise deve ser dada aos veículos elétricos puros. Entretanto, por conta do alto volume de vendas dos veículos híbridos, devido ao seu custo menor que o dos veículos elétricos puros, concluiu-se que não se pode deixar esse tipo de veículo de fora da análise do mercado de veículos elétricos no país.

5.1. Marcas e Modelos de Veículos Elétricos Comercializados no País

O mercado de veículos híbridos e elétricos no Brasil, apesar de não contar com muitos modelos montados nacionalmente, mostra-se diversificado e, ao mesmo tempo, concentrado. Esse mercado se mostra diversificado por conta das inúmeras marcas e modelos de veículos híbridos e elétricos avaliados para venda ao consumidor pessoa física ou jurídica. Entretanto, esse mesmo mercado se mostra concentrado quando se olha a faixa de preços desses veículos, que indica a concentração de suas vendas nas camadas mais abastadas da sociedade brasileira, excluindo as classes baixas e boa parte da classe média do acesso a veículos híbridos e elétricos.

A Tabela 1, cujos dados foram obtidos das mais diversas fontes, traz as marcas e modelos de veículos elétricos e híbridos atualmente comercializados no Brasil, com a categoria de cada modelo e seu preço ao consumidor final. Foram deixadas de fora marcas e modelos de veículos elétricos que são importados sob encomenda, haja vista que se trata de importação particular, e não disponibilização do veículo pela marca para o mercado em geral.

Tabela 1 - Veículos híbridos e elétricos vendidos no Brasil

| MARCA | MODELO | TIPO | CATEGORIA | PREÇO (R\$) |
|---------------|-----------|----------|---------------|-------------------------|
| Audi (*) | E-tron | elétrico | SUV/Sportback | 531.999,00 a 599.000,00 |
| BMW (*) | i-3 | elétrico | Hatch | 279.950,00 |
| CAO Chery (*) | Arrizo 5E | elétrico | Sedan | 159.900,00 |

| | | | | |
|-------------------|--------------------|-----------|-----------|---------------------------|
| Chevrolet (*) | Bolt | eléctrico | Hatch | 274.000,00 |
| JAC (*) | iEV20 | eléctrico | Hatch | 159.900,00 |
| JAC (*) | iEV40 | eléctrico | Hatch | 225.900,00 |
| JAC (*) | iEV60 | eléctrico | SUV | 259.900,00 |
| Jaguar (*) | I-Pace | eléctrico | SUV | 639.950,00 |
| Mini Cooper (*) | SE | eléctrico | mini | 239.990,00 a 264.990,00 |
| Mercedes-Benz (*) | EQC | eléctrico | SUV | 629.900,00 |
| Nissan (*) | Leaf | eléctrico | Hatch | 259.900,00 |
| Porsche (*) | Taycan | eléctrico | Sport | 589.000,00 a 1.079.000,00 |
| Renault (*) | ZOE | eléctrico | Hatch | 203.978,00 a 205.978,00 |
| JAC (**) | iEV330P | eléctrico | Pickup | 279.990,00 |
| Toyota (***) | Corolla | Híbrido | Sedan | 151.090,00 |
| Toyota (***) | Corolla Cross | Híbrido | Sedan | 172.990,00 |
| Toyota (***) | RAV4 | Híbrido | SUV | 241.990,00 |
| Toyota (***) | Prius | Híbrido | Sedan | 184.990,00 |
| Lexus (***) | UX, NX, RX, ES, LS | Híbrido | Sedan/SUV | 233.990,00 a 938.990,00 |
| Range Rover (***) | Range Rover | Híbrido | SUV | 772.950,00 |
| Range Rover (***) | Range Rover Sport | Híbrido | Sport | 589.950,00 |
| Volvo (***) | XC40 | Híbrido | SUV | 259.950,00 |
| Volvo (***) | XC60 | Híbrido | SUV | 345.950,00 |
| Volvo (***) | S60 | Híbrido | Sedan | 334.950,00 |

| | | | | |
|--------------------|--------------------------------|----------|----------|-------------------------|
| Volvo (***) | S90 | Híbrido | Sedan | 384.950,00 |
| Volvo (***) | XC90 | Híbrido | SUV | 426.950,00 |
| BMW (***) | Série 3 | Híbrido | Sedan | 330.950,00 |
| BMW (***) | Série 5 | Híbrido | Sedan | 397.950,00 |
| BMW (***) | Série 7 | Híbrido | Sedan | 613.950,00 |
| BMW (***) | X3 | Híbrido | SUV | 364.950,00 |
| BMW (***) | X5 | Híbrido | SUV | 557.950,00 |
| Porsche (***) | Cayenne | Híbrido | Sport | 549.000,00 |
| Porsche (***) | Cayenne Coupé | Híbrido | Sport | 579.000,00 |
| Porsche (***) | Cayenne Panamera | Híbrido | Sport | 719.000,00 |
| Porsche (***) | Cayenne Panamera Sport Turismo | Híbrido | Sport | 629.000,00 |
| JAC (****) | IEV750V | elétrico | VAN | 386.900,00 |
| BYD (****) | eT3 | elétrico | VAN | 229.000,00 |
| Volkswagen (*****) | e-Delivery | elétrico | caminhão | 780.000,00 a 980.000,00 |

Fonte: (*) MATSUBARA (2021); (**) BRIGATO (2020); (***) DELIBERATO (2021); (****) GIORDAN (2021); (*****) ESTRADÃO ESTADÃO (2021); (*****) CABRAL (2021))

Como é possível notar na coluna “Preço (R\$)”, não há modelos de veículos híbridos ou elétricos de categoria popular disponibilizados no mercado brasileiro. Apesar de tudo, a variedade da oferta de marcas e modelos de veículos híbridos e elétricos, com possível aumento futuro, indica a aceitação e o desejo do mercado consumidor de adquirir esses tipos de veículos, o que indica que, em um futuro próximo, com o barateamento da tecnologia, poderá abrir caminho para a oferta de veículos híbridos e elétricos de categoria popular para as classes sociais menos abastadas.

É possível notar na tabela acima, entre inúmeros veículos de passeio, veículos do tipo Van. As Vans são classificadas como micro ônibus (de 8 a 20 lugares) do tipo

M2, com peso total inferior ou igual a 5 toneladas (AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES, 2021). Entretanto, optamos por colocá-las na mesma tabela que os veículos de passeio para simplificar a amostragem de dados.

A Tabela 2, por sua vez, traz as marcas de ônibus elétricos comercializados no país, os estados em que estão circulando e a quantidade, além do tipo de veículo, se híbrido ou elétrico. O objetivo desses dados é mostrar o avanço da eletrificação veicular para além do mercado de transporte individual.

Tabela 2 - Distribuição de ônibus elétricos por marca e cidade no Brasil

| ÔNIBUS DE TRANSPORTE PÚBLICO ELETRIFICADO | | | |
|---|-------------------------------------|--|------------|
| FABRICANTE | CIDADE (UF) | TIPO DE ÔNIBUS | QUANTIDADE |
| BYD | Bauru (SP) | Elétrico a bateria | 2 |
| BYD | Brasília (DF) | Elétrico a bateria | 6 |
| BYD | Campinas (SP) | Elétrico a bateria | 15 |
| BYD | Maringá (SP) | Elétrico a bateria | 2 |
| BYD | Maringá (SP) | Midi Elétrico a bateria | 1 |
| BYD | Santos (SP) | Elétrico a bateria | 1 |
| Outras marcas | Santos (SP) | Trólebus elétrico | 6 |
| BYD | São Paulo (SP) | Elétrico a bateria | 17 |
| Outras marcas | São Paulo (SP) | Trólebus elétrico | 201 |
| Eletra | São Paulo Região Metropolitana (SP) | Elétrico a bateria e Trólebus elétrico | 73 |
| Outras marcas | São Paulo Região Metropolitana (SP) | Trólebus elétrico | 23 |
| BYD | Volta Redonda (RJ) | Elétrico a bateria | 3 |

Fonte: E-BUS RADAR (data de acesso: 02/07/2021)

O avanço da eletrificação veicular no mercado de transporte público pode indicar o desejo de parte da sociedade em ter os veículos a combustão substituídos por veículos eletrificados, apesar de os ônibus acima terem sido adquiridos em grande parte por meio de influência política.

A despeito de todas as divergências e, apesar de ainda termos apenas uma fabricante de veículos elétricos no país, a Eletra (FERREIRA, 2021), a tendência é o aumento da oferta de veículos elétricos e híbridos no mercado brasileiro a longo prazo.

5.2. Mercado de Veículos Elétricos no Brasil

O mercado de veículos híbridos e elétricos no país não se faz só de marcas e modelos, mas de consumidores e vendas, e essas só parecem aumentar ao longo do tempo. A Tabela 3 abaixo mostra uma série de dados de emplacamentos de veículos híbridos e elétricos leves no país no período de Janeiro de 2012 a Abril de 2021 coletados pela Associação Brasileira de Veículos Elétricos, computando um total de 49.559 veículos vendidos e emplacados no país ao longo desse período. A tabela exclui ônibus, caminhões e veículos levíssimos como motos, bicicletas e patinetes elétricos.

Tabela 3 - Quantidade de veículos elétricos emplacados no Brasil entre 2012 e 2021

| MÊS\ANO | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|
| JAN | 9 | 45 | 93 | 72 | 58 | 178 | 272 | 370 | 1568 | 1321 |
| FEV | 16 | 22 | 61 | 56 | 64 | 157 | 254 | 287 | 2053 | 1389 |
| MAR | 7 | 53 | 65 | 61 | 60 | 227 | 367 | 336 | 1570 | 1872 |
| ABR | 3 | 50 | 53 | 73 | 137 | 176 | 367 | 290 | 442 | 2708 |
| MAIO | 13 | 12 | 94 | 72 | 41 | 208 | 302 | 357 | 601 | |
| JUN | 23 | 29 | 52 | 74 | 91 | 238 | 382 | 716 | 1334 | |
| JUL | 5 | 65 | 61 | 74 | 48 | 268 | 262 | 960 | 1668 | |
| AGO | 3 | 45 | 79 | 100 | 59 | 627 | 262 | 867 | 1943 | |
| SET | 2 | 23 | 71 | 82 | 79 | 384 | 286 | 1264 | 2113 | |
| OUT | 2 | 39 | 53 | 55 | 93 | 243 | 405 | 1989 | 2273 | |
| NOV | 18 | 52 | 87 | 65 | 159 | 240 | 374 | 2013 | 2231 | |
| DEZ | 16 | 56 | 86 | 62 | 202 | 350 | 437 | 2409 | 1949 | |
| TOTAL | 117 | 491 | 855 | 846 | 1091 | 3296 | 3970 | 11858 | 19745 | 7290 |

Fonte: ABVE (2021)

Essa série de dados está representada no Gráfico 4, para melhor visualização do avanço do mercado de elétricos no país.

Gráfico 4 - Quantidade de veículos elétricos emplacados no Brasil entre 2012 e 2021



Fonte: ABVE (2021) - Adaptado

Como se pode notar no Gráfico 4, as vendas de veículos híbridos e elétricos começam a decolar no país entre os anos de 2016 e 2017. Uma explicação possível para esse aumento pode ser o fato de, em 2015, o imposto de importação para esses veículos ter sido zerado (fato que será melhor explicado abaixo). Mas, é a partir de 2019 que as vendas realmente dão um salto, e a tendência de aumento nas vendas desses veículos se concretiza de vez.

Por conta desse salto no número de veículos híbridos e elétricos emplacados no país a partir de 2019, resolveu-se fazer uma previsão para os próximos anos, a fim de se observar o crescimento desse mercado ao longo do tempo. Foram utilizados dois modelos de previsão: o Var Model e o Arima (este o mais utilizado para previsão de séries temporais). A ferramenta utilizada nas previsões foi o Orange Data Mining, do Anaconda, cujo código é baseado em Python. A Tabela 4 mostra os valores de erro e de ajuste de cada modelo à série de dados analisada.

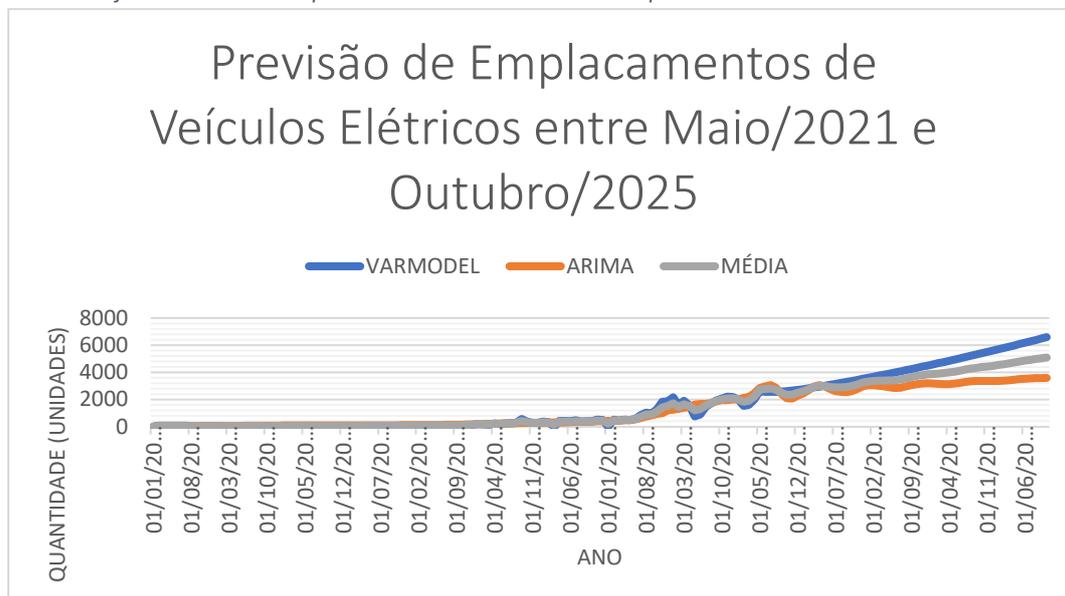
Tabela 4 - Valores de erro dos modelos utilizados na previsão

| MODELO DE PREVISÃO | RMSE | R2 |
|--------------------|-------|-------|
| VAR MODEL | 215,6 | 0,896 |
| ARIMA | 203,5 | 0,908 |

Fonte: o AUTOR (2021)

Os dois modelos apresentaram valores de erro, RMSE, e de ajuste, R2, muito próximos. Por conta disso, decidiu-se, ainda, obter a média dos valores previstos pelos dois modelos de previsão e plotar todas as séries no Gráfico 5 abaixo.

Gráfico 5 - Previsão da quantidade de veículos a serem emplacados no Brasil entre 2021 e 2025



Fonte: o AUTOR (2021)

As previsões obtidas mantêm a tendência de crescimento das vendas de veículos híbridos e elétricos no país durante os próximos anos. As diferenças entre os modelos, no entanto, fazem com que os valores finais das previsões diverjam entre si em percentuais que superam os 50%. A média entre os valores previstos ajuda a diminuir essa divergência. É possível notar duas quedas na quantidade de veículos híbridos e elétricos vendidos no primeiro semestre de 2020 e no primeiro semestre de 2021. Em outras situações, poder-se-ia analisar a existência de sazonalidade na série de dados. Não é, no entanto, o caso aqui, porque essas quedas estão relacionadas diretamente com os efeitos da pandemia provocada pelo avanço do vírus Covid-19. Por causa disso, analisamos a série de dados sem considerar sazonalidade nesses períodos de queda.

Abaixo, a Tabela 5 traz as previsões para vendas e emplacamentos de veículos elétricos e híbridos no país até Outubro de 2025.

Tabela 5 - Vendas previstas de veículos híbridos e elétricos até 2025

| SOMA DE VENDAS PREVISTAS | | |
|--------------------------|---------|---------|
| VAR MODEL | ARIMA | MÉDIA |
| 229.374 | 164.094 | 196.734 |

Fonte: o AUTOR (2021)

No período analisado, a tendência de manutenção do crescimento das vendas de veículos híbridos e elétricos promete pelo menos quadruplicar a quantidade desses veículos no país.

Os emplacamentos de veículos híbridos e elétricos, contudo, não ocorrem de maneira uniforme no país. As regiões Sudeste e Sul do Brasil lideram os emplacamentos, seguidas de Centro-Oeste e Nordeste. Essa situação pode ser resultado da diferença de renda entre as regiões brasileiras. O número de emplacamentos de veículos híbridos e elétricos no estado de São Paulo, por exemplo, o estado com a maior economia do país, é mais de quatro vezes o número de emplacamentos desses veículos no país com o segundo maior número de emplacamentos de veículos híbridos e elétricos, o que coaduna o argumento de que a renda é um diferencial na distribuição desse tipo de veículo pelo mercado consumidor brasileiro. A Tabela 6 mostra a distribuição de emplacamentos de veículos híbridos e elétricos por estado brasileiro.

Tabela 6 - Emplacamentos de veículos híbridos e elétricos por estado

| ESTADO | NÚMERO VEÍCULOS EMPLACADOS | NÚMERO VEÍCULOS EMPLACADOS (%) |
|---------------------|----------------------------|--------------------------------|
| São Paulo | 18402 | 33,86% |
| Minas Gerais | 4010 | 7,38% |
| Santa Catarina | 3678 | 6,77% |
| Paraná | 3614 | 6,65% |
| Rio de Janeiro | 3599 | 6,62% |
| Rio Grande do Sul | 3104 | 5,71% |
| Distrito Federal | 2487 | 4,58% |
| Bahia | 2152 | 3,96% |
| Goiás | 1530 | 2,82% |
| Espírito Santo | 1481 | 2,73% |
| Não Informado | 1381 | 2,54% |
| Pernambuco | 1347 | 2,48% |
| Mato Grosso | 1097 | 2,02% |
| Ceará | 1076 | 1,98% |
| Mato Grosso do Sul | 813 | 1,50% |
| Pará | 709 | 1,30% |
| Maranhão | 604 | 1,11% |
| Paraíba | 536 | 0,99% |
| Piauí | 463 | 0,85% |
| Amazonas | 456 | 0,84% |
| Rio Grande do Norte | 432 | 0,79% |
| Alagoas | 338 | 0,62% |

| | | |
|-----------|-------|---------|
| Sergipe | 334 | 0,61% |
| Rondônia | 244 | 0,45% |
| Tocantins | 195 | 0,36% |
| Acre | 115 | 0,21% |
| Amapá | 90 | 0,17% |
| Roraima | 53 | 0,10% |
| TOTAL | 54340 | 100,00% |

Fonte: NEOCHARGE (2021)

Os números da Tabela 6 foram atualizados, o que explica a divergência entre o valor TOTAL apresentado nessa tabela e o valor TOTAL apresentado na Tabela 3, que traz o número de veículos emplacados entre 2012 e 2021.

De qualquer forma, pode-se dizer que o mercado de veículos híbridos e elétricos no país está avançando, com tendência de crescimento, mas seu acesso ainda é concentrado nas camadas mais abastadas da população.

5.3. Incentivos Fiscais e Financeiros

5.3.1. Incentivos Fiscais

Não são muitos, nem muito menos vultosos, os incentivos fiscais e financeiros oferecidos no Brasil como apoio à adoção de veículos elétricos por cidadãos ou empresas em substituição aos veículos à combustão. Entretanto, é possível identificar algumas iniciativas positivas oferecidas como incentivo à eletrificação da frota veicular.

A primeira iniciativa vem de alguns estados que passaram a oferecer desconto parcial ou total no valor do IPVA (Imposto sobre Propriedade de Veículo Automotor) a proprietários de veículos híbridos ou elétricos. Entre os estados com isenção total de IPVA para veículos híbridos e elétricos, podemos citar: Maranhão, Pernambuco, Piauí, Sergipe, Rio Grande do Norte, Paraná, Rio Grande do Sul e Distrito Federal (ABVE, 2021). Já os estados do Mato Grosso do Sul e do Rio de Janeiro possuem alíquotas diferenciadas para pagamento de IPVA de veículos híbridos e elétricos.

A Figura 17 mostra mapa do país com estados onde há alíquota de IPVA diferenciada para veículos híbridos e elétricos.

Figura 17 - Mapa de estados brasileiros com descontos ou isenções de IPVA para veículos híbridos e elétricos



Fonte: o AUTOR (2021)

Importante notar nesse mapa a falta do estado de São Paulo. Até início de 2020, o estado de São Paulo possuía alíquota com isenção parcial de IPVA para veículos híbridos e elétricos. Entretanto, ainda no primeiro semestre daquele ano, foi aprovado o projeto de lei 529/2020, que eliminou a isenção.

Em compensação, no primeiro semestre de 2021, a câmara da cidade de São Paulo aprovou o projeto de lei 17.563/2021, devolvendo a parte do valor do IPVA devido ao município aos donos de veículos híbridos e elétricos por meio de descontos no IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano) (ABVE, 2021).

A exemplo de São Paulo, outras cidades, como Ribeirão Preto, por exemplo, já caminham em direção à aprovação de projetos semelhantes, visando à devolução de parte do valor do IPVA a donos de veículos híbridos e elétricos por meio de desconto no IPTU (MOREIRA, 2021).

Na esfera federal, uma iniciativa importante foi a aprovação da alíquota zero para o Imposto de Importação de veículos híbridos e elétricos pela Camex (Câmara de Comércio Exterior) (MOREIRA, 2021), como forma de facilitar a entrada desses veículos na sociedade brasileira, o que parece ter dado muito certo quando se olha os dados de vendas e emplacamentos de veículos entre 2012 e 2021 e se percebe que foi por volta de 2016 que as vendas desse tipo de veículo realmente começaram a decolar no país.

Atualmente, o projeto de lei 5.308/2020 corre no Congresso Nacional cuja finalidade consiste em zerar o IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados) de veículos

híbridos e elétricos no país, além de promover alíquota de apenas 50% para veículos híbridos também produzidos nacionalmente (UOL CARROS, 2020).

5.3.2. Incentivos Financeiros

Em termos de benefícios financeiros, o principal instrumento de incentivo à adoção de veículos elétricos no país são as linhas de financiamento do BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento). Essas linhas, no entanto, são esporádicas e com destinações de recursos específicas.

Para requisitar o financiamento, a empresa, antes de mais nada, deve entrar com o processo de qualificação junto ao BNDES. Após essa fase, ainda haverá processo de análise de projeto e de garantias de crédito. Esse tipo de linha de crédito não aparece nas páginas da web do banco. Entretanto, há exemplos desse tipo de concessão no passado.

Entre os exemplos encontrados, podemos citar: financiamento para instalação de estações de recargas para veículos elétricos (BNDES, 2018), financiamento para inovação em motor elétrico (BNDES, 2011), financiamento para desenvolvimento de caminhão elétrico (BNDES, 2019), linha de crédito e financiamento com juros menores para aquisição de ônibus híbridos ou elétricos por empresas de transportes ou governos estaduais ou municipais (BNDES, 2005).

Nada obstante, apesar de esporádico, esse tipo de financiamento pode ser repetido, desde que direcionado a pessoa jurídica que tenha passado por processo de qualificação junto à instituição. Infelizmente, o banco não possui esse tipo de financiamento para pessoa física.

5.3.3. Rota 2030

Apesar de as linhas de crédito do BNDES poderem ser utilizadas para financiamento tanto de aquisição de veículos híbridos ou elétricos por parte de pessoas jurídicas quanto de projetos de desenvolvimento de componentes ou veículos híbridos ou elétricos, a principal ferramenta de financiamento de pesquisas de desenvolvimento de veículos elétricos ou híbridos, atualmente, é a Lei 13.755/2018, mais conhecida pelo nome do programa que ela integra: Rota 2030.

O foco do programa Rota 2030 é incentivar projetos de P&D em toda a cadeia do setor automotivo voltado para o desenvolvimento de veículos híbridos ou elétricos, incluindo, assim, os setores de autopeças, de sistemas estratégicos para a produção dos

veículos, não limitado unicamente às montadoras, e até carregadores e postos de recarga para veículos híbridos e elétricos (ROTA 2030, data de acesso: 16/07/2021).

As diretrizes do programa são:

- 1) Estabelecer requisitos obrigatórios para a comercialização de veículos no Brasil;
- 2) Incrementar a eficiência energética, o desempenho estrutural e a disponibilidade de tecnologias assistivas;
- 3) Aumentar os investimentos em P&D no País;
- 4) Estimular a produção de novas tecnologias e inovações;
- 5) Automatizar o processo manufatura e o incremento da produtividade;
- 6) Promover o uso de biocombustíveis e de formas alternativas de propulsão e valorizar a matriz energética brasileira;
- 7) Garantia da capacitação técnica e da qualificação profissional no setor de mobilidade e logística;
- 8) Garantia da expansão ou manutenção do emprego no setor de mobilidade e logística.

A definição de P&D é subdividida em três grupos:

- A) pesquisa básica ou fundamental - que consiste em trabalhos experimentais ou teóricos realizados com o objetivo de adquirir novos conhecimentos;
- B) pesquisa aplicada - voltada para a realização de trabalhos originais com finalidade de aquisição de novos conhecimentos com propósito prático, e;
- C) desenvolvimento experimental - que consiste na realização de trabalhos sistemáticos, baseados em conhecimentos pré-existentes, visando a fabricação de novos materiais, componentes, processos, sistemas e serviços, ou melhorar consideravelmente os já existentes, voltados para veículos híbridos ou elétricos.

Os recursos utilizados no financiamento de P&D obtidos por meio do Rota 2030 são oriundos de benefícios fiscais oferecidos pelo programa a empresas que decidam investir no setor de veículos híbridos ou elétricos. Esses incentivos fiscais vão de redução de alíquota de IPI, abatimento de parte do valor investido em P&D do IRPJ ou da CSLL até isenção de imposto de importação (ROTA 2030, data de acesso: 16/07/2021).

O Rota 2030, por conseguinte, é um programa que une incentivos fiscais a incentivos financeiros com vistas ao desenvolvimento de componentes, sistemas, veículos e acessórios voltados para o mercado de veículos híbridos e elétricos.

5.4. Legislação de Apoio ao Mercado de Veículos Elétricos

5.4.1. Esfera Federal

Apesar de tímida, a legislação de apoio e incentivo ao avanço dos veículos elétricos e híbridos começa a despontar em várias frentes pelo país.

A Resolução Normativa nº 819/2018, da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), aprovada em 2018, foi a primeira legislação de regulamentação de eletropostos, ou seja, postos de recarga para veículos elétricos, do país. Essa resolução regulamentou a instalação particular e comercial de postos de recarga de veículos elétricos e híbridos plug-in, permitindo a possibilidade de o proprietário de um eletroposto comercial cobrar pela energia vendida através do posto de recarga (ANEEL, 2018), o que permitirá a criação de um mercado de serviços de postos de recarga pelo país nos próximos anos.

Em termos de projetos de lei federal, inúmeros projetos tramitam nas duas casas do Congresso Nacional, na Câmara dos Deputados e no Senado, com foco voltado para produzir um ambiente favorável à adoção de veículos híbridos e elétricos por parte dos consumidores.

O Quadro 5 traz os principais projetos em tramitação nas duas casas legislativas. A inserção dos projetos nesse quadro foi definida pela importância do projeto e por sua exposição na mídia.

Quadro 5 - Principais projetos de lei voltados para veículos híbridos e elétricos atualmente em tramitação no Congresso Nacional

| PROJETO DE LEI | CASA LEGISLATIVA | OBJETO |
|----------------|----------------------|---|
| 5308/2020 (*) | Câmara dos Deputados | Isenção de IPI para veículos elétricos |
| 3174/2020 (*) | Câmara dos Deputados | Até 2025, 10% dos veículos de todas as polícias federais deverão ser elétricos e, em 2035, esse percentual deverá ser de 90% |
| 3197/2019 (**) | Câmara dos Deputados | Institui a obrigatoriedade de instalação de pontos de recarga para veículos elétricos em vias públicas e em ambientes residenciais e comerciais |
| 874/2019 (**) | Câmara dos Deputados | Institui a obrigatoriedade de instalação de pontos de recarga para veículos elétricos em |

| | | |
|----------------|--------|---|
| | | vias públicas e em ambientes residenciais e comerciais |
| 454/2017 (***) | Senado | Prevê o fim da fabricação e comercialização de veículos a combustão dentro do país até 2060 |

Fonte: (*) NERY (2020); (**) CÂMARA DOS DEPUTADOS (data de acesso: 16/07/2021); (***) SENADO (data de acesso: 16/07/2021)

Como é sabido, nem todos os projetos de lei são aprovados nas casas legislativas e, muitas vezes, os que são aprovados sofrem alterações entre o início de sua tramitação e a sanção final. A despeito disso, os projetos acima trazem pontos importantes de apoio à adoção de veículos elétricos pela sociedade e provavelmente deverão ser debatidos e, ainda que não sejam aprovados, poderão levar a novos projetos que tragam melhorias nas condições de uso, aquisição e posse de veículos híbridos e elétricos por pessoas físicas e jurídicas.

5.4.2. Esferas Estadual e Municipal

Nas esferas estaduais e municipais, diversos projetos de lei de apoio ao uso de veículos elétricos vêm sendo debatidos atualmente. Poucos foram aprovados até o presente momento, mas os debates pouco a pouco vão abrindo caminho para a adoção de medidas cada vez mais favoráveis à utilização de veículos híbridos e elétricos pela sociedade.

Em 2014, por exemplo, a cidade de São Paulo aprovou a lei municipal 15.997/2014, isentando veículos elétricos e híbridos do rodízio municipal (CPFL ENERGIA, data de acesso: 01/07/2021). Ainda na mesma cidade, em 2021, foi aprovada a lei municipal 17.336/2021, que determina a instalação de estações de recarga de veículos elétricos em construções prediais cujos projetos de construção tenham início a partir da publicação da lei, e o custo da recarga deverá ter cobrança individualizada para cada carro (VANSCONCELLOS, 2021).

Da mesma forma que a cidade de São Paulo, outras cidades e estados possuem projetos de leis voltados para apoiar o uso de veículos elétricos. O Quadro 6 traz os principais projetos de lei voltados para veículos híbridos e elétricos em tramitação em alguns estados brasileiros. Foram incluídos apenas projetos de leis de conhecimento

público e que pudessem ser identificados nos sites das respectivas casas legislativas onde estavam em tramitação à época da pesquisa.

Quadro 6 - Projetos de leis voltados para veículos híbridos e elétricos por estado

| PROJETO DE LEI | ESTADO | OBJETO |
|----------------|------------------|--|
| 832/2020 (1) | Mato Grosso | Isenção total de IPVA para veículos híbridos e elétricos. Até 2025, 10% dos veículos das polícias estaduais e 5% dos ônibus municipais deverão ser elétricos |
| 1523/2019 (2) | Goiás | Isenção total de IPVA para veículos elétricos |
| 24126/2021 (3) | Bahia | Isenção de 50% de IPVA para veículos elétricos |
| 454/2019 (4) | Distrito Federal | Incentivos fiscais para aquisição de veículos elétricos e instalação de infraestruturas voltadas para esse tipo de veículo |
| 150/2021 (5) | Espírito Santo | Isenção total de IPVA para veículos elétricos. Isenção de 50% de IPVA para veículos híbridos. Até 2035, 50% da frota do estado deverá ser de veículos elétricos. |
| 2605/2021 (6) | Minas Gerais | Isenção total de IPVA e ICMS para veículos elétricos. Financiamento de pesquisas para desenvolvimento de veículos elétricos e seus componentes. |
| 306/2019 (7) | Pernambuco | Proíbe entrada e circulação de veículos a combustão em Fernando de Noronha |
| 304/2019 (8) | Rio de Janeiro | Isenção de ICMS para veículos elétricos |

Fonte: (1) MATO GROSSO ECONÔMICO INFORMAÇÃO E DESENVOLVIMENTO (2020); (2) ALEGO (2020); (3) ALBA (2021); (4) CÂMARA LEGISLATIVA DO DISTRITO FEDERAL (2020); (5) ALDESCO (2021); (6) PORTAL DA CIDADE GUAXUPÉ (2021); (7) ALEPE (2020); (8) ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO RIO DE JANEIRO (data de acesso: 17/07/2021)

Da mesma forma que os estados, algumas cidades ao redor do país possuem projetos de leis voltados para o incentivo ao uso de veículos elétricos. O Quadro 7 abaixo traz alguns exemplos desse tipo de projeto de lei. Esses exemplos correspondem a projetos de leis de fácil identificação nos sites das respectivas cidades. A pesquisa, contudo, não foi exaustiva por conta do alto número de municípios brasileiros e,

principalmente, porque muitos projetos se repetem de uma cidade para outra, sem muita diversidade no objeto do projeto de lei.

Quadro 7 - Projetos de leis voltados para veículos híbridos e elétricos por cidade

| PROJETO DE LEI | CIDADE (UF) | OBJETO |
|----------------|---------------------|--|
| 156/2021 (*) | Ribeirão Preto (SP) | Devolução de parte do IPVA em forma de desconto no IPTU para donos de veículos elétricos |
| 55/2020 (*) | Ribeirão Preto (SP) | Obriga instalação de eletropostos em prédios residenciais |
| 1177/2020 (*) | Vila Velha (ES) | Obriga instalação de eletropostos em prédios residenciais |
| 176/2020 (*) | Curitiba (PR) | Obriga instalação de eletropostos em prédios residenciais, |

Fonte: (*) MOREIRA (2021)

Em suma, projetos de lei para apoiar a aquisição e uso de veículos elétricos vão, pouco a pouco, espalhando-se pelo país, ora de maneira tímida, ora de maneira rápida de mais, porém, fato é que aos poucos a ideia de substituição de veículos a combustão por elétricos vai se estabelecendo e tomando conta de todos os setores da sociedade.

5.5. Particularidades do Mercado de Veículos Elétricos no Brasil

O mercado de veículos híbridos e elétricos no Brasil enfrenta algumas particularidades pouco vistas em outros mercados. Uma delas, por exemplo, consiste na produção já tradicional de etanol para propulsão veicular, que carrega consigo um mercado de produtores forte o suficiente para influenciar a manutenção da produção de veículos híbridos a etanol ou mesmo a combustão por ainda muito tempo.

Outros problemas consistem, por exemplo, no IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados) brasileiro, que está entre os mais altos do mundo, e pode dificultar o desenvolvimento de um parque produtivo nacional de veículos híbridos e elétricos capaz de competir com os veículos importados, na falta de incentivos fiscais e financeiros federais, estaduais e municipais capazes de influenciar de forma positiva e disruptiva a produção e aquisição desse tipo de veículo no país, na falta de iniciativa de estados e municípios em direção à substituição das frotas públicas a combustão por frotas tracionadas por motores elétricos e nos altos custos das baterias, que ainda são

importadas, e não se vê movimentação do poder público na tentativa de nacionalizar a produção desse item que chega a corresponder a quase 50% do valor do veículo elétrico (DELGADO; GAUTO, 2020).

O poder aquisitivo da população em geral ainda está longe de levar a um comércio de vendas em massa de veículos elétricos pelos preços pelos quais são vendidos atualmente. Entretanto, com o aumento da produção desses veículos e a diminuição de seus custos de produção e, conseqüentemente, de seus preços ao consumidor, é esperado, com base na série histórica de vendas de veículos híbridos e elétricos entre 2012 e 2021, um aumento nas vendas e aquisições desses veículos, o que, no entanto, não significa que irão chegar às classes mais baixas da população.

De outro lado, a maior parte da infraestrutura voltada para veículos elétricos ainda se concentra nas regiões Sul e Sudeste do país, o que dificulta a vida de usuários de veículos elétricos que desejem viajar para as demais regiões bem como o avanço da venda desses veículos nas áreas onde não há infraestrutura para acolhê-los. A Figura 18 mostra os locais de postos de recargas de veículos elétricos pelo Brasil. Nela, é possível notar a concentração desses postos no país.

Figura 18 - Postos de recarga de veículos elétricos espalhados pelo Brasil



Fonte: PLUGSHARE (data de acesso: 17/07/2021)

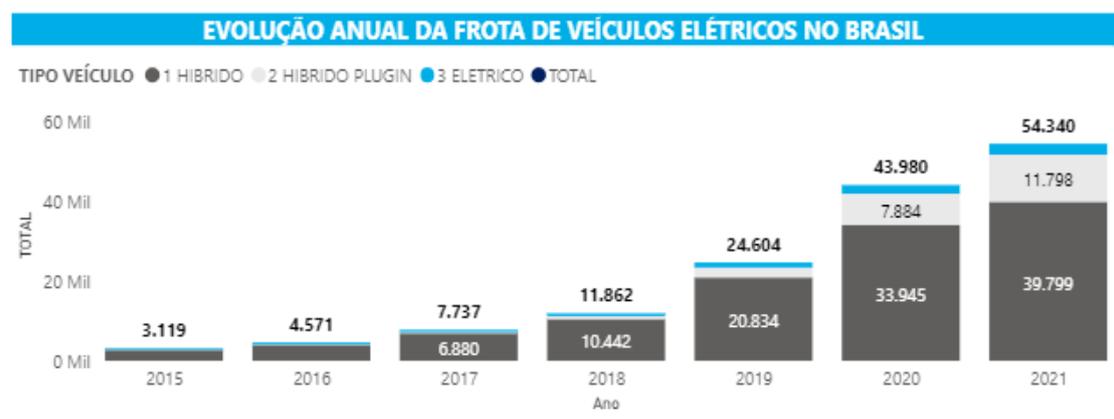
A despeito dos problemas enfrentados pelo país na adoção de veículos híbridos e elétricos, os pontos citados não podem ser vistos como impeditivos da adoção desses veículos, mas como oportunidades para governos e iniciativa privada abrirem novas frentes de negócios e de renovação com vistas à adoção desses tipos de veículos por toda a sociedade.

5.6. Mercado de Conversão de Veículos a Combustão em Elétricos

Uma alternativa aos ainda caros veículos elétricos é a conversão de um veículo a combustão em elétrico. O desejo da população de adquirir um veículo elétrico fica claro nos números apresentados no Gráfico 6. Fica clara também a falta de possibilidade de boa parte da sociedade em adquirir um veículo elétrico puro. O Gráfico 6 apresenta a evolução das vendas de veículos híbridos, híbridos plug-in e elétricos no Brasil entre 2015 e 2021. Nesse quadro, é possível perceber a evolução das vendas de veículos elétricos no país, demarcadas na cor azul, e de veículo híbridos e híbridos plug-in, demarcadas nas cores cinza claro e cinza escuro. Enquanto as vendas de veículos híbridos e híbridos plug-in aumentaram em quase de oito vezes, as vendas de veículos elétricos aumentaram apenas três vezes. Essa diferença representa a busca de alternativas por consumidores desejosos de ter um veículo elétrico puro, mas cujo poder aquisitivo ainda não é suficiente para adquiri-lo.

Nesse sentido, conclui-se que há muito espaço no mercado para veículos parcialmente elétricos ou totalmente elétricos cujos preços caibam no bolso dos consumidores.

Gráfico 6 - Vendas de veículos elétricos no Brasil por ano



Fonte: NEOCHARGE (2021)

Uma alternativa aos veículos elétricos de fábrica são, além dos veículos híbridos, os veículos elétricos convertidos a partir de um veículo a combustão interna. Não apenas particulares vêm recorrendo a essa alternativa, mas, principalmente, empresas de transporte parecem ter descoberto que esse pode ser o caminho mais rápido e menos custoso de substituir seus veículos a combustão por veículos elétricos. Dois exemplos atualmente na mídia são o da AMBEV, empresa produtora de bebidas, e da PROTEGE,

transportadora de valores. Ambas as empresas decidiram converter suas frotas de caminhões e carros forte para elétricos, buscando menor emissão de poluentes, menor consumo de combustível e menor custo de manutenção de seus veículos (SILVA, 2021). Não à toa, esse ano o Brasil ganhou o primeiro carro forte elétrico do mundo (TORRES, 2021).

Ao que parece, a conversão de veículos a combustão em elétrico será o caminho mais fácil e menos custoso a ser percorrido na luta pela eletrificação veicular. Por conta disso, resumimos no Quadro 8 abaixo as iniciativas privadas voltadas para a conversão de veículos a combustão em elétricos no Brasil.

Quadro 8 - Empresas de conversão de veículos a combustão em elétricos

| EMPRESA/STARTUP | UF | OBJETIVO |
|-----------------|----|--|
| MeuVeb (1) | ES | Converte Fusca, Karmanguia, Puma e Brasília para elétricos |
| FuelTech (2) | RS | Desenvolve Kit para conversão de veículo a combustão em elétrico |
| Electro (3) | MG | Desenvolve Kit para conversão de veículo a combustão em elétrico e converte Fiat Palio para elétrico |
| KF3 (4) | PE | Conversão de veículo a combustão em elétrico |
| Eletra (5) | SP | Converte ônibus e caminhões a combustão para elétricos |
| IFSC (6) | SC | Instituto de pesquisa voltado para o desenvolvimento de empresas de conversão de veículo a combustão em elétrico |

Fonte: (1) PIETRO (2019); (2) AUTOESPORTE (2020); (3) OLIVEIRA (data de acesso: 18/07/2021); (4) DEMENTSHUK (data de acesso: 18/07/2021); (5) SILVA (2021); (6) BENETTI (2020)

Diante desse cenário, é possível concluir que um mercado de conversão de veículos a combustão em elétrico está se abrindo e que, com o foco adequado, é possível fornecer esse tipo de serviço a proprietários de Vans de transporte de passageiros e de transporte escolar.

Infelizmente, não foi possível obter dados precisos e relevantes sobre esse mercado por conta dos seguintes motivos:

1) o mercado de transporte de passageiros por meio de Vans ocorre, na maior parte das vezes, de forma clandestina, o que dificulta acesso a dados sobre ele;

2) O mercado de transporte de estudantes, ou de transporte escolar, é muito pulverizado, e os poucos dados que se têm sobre ele são locais, e não representam todas as regiões do país;

3) Em alguns municípios, uma parte do transporte escolar é realizado por governos municipais e, a outra parte, por transportadores privados, mas os dados não distinguem os dois tipos de transportadores;

4) A última coleta de dados realizada pelo governo federal sobre o transporte escolar em todo o país foi realizada entre 2003 e 2004, de forma que não há dados nacionais atualizados sobre a situação do transporte escolar no Brasil.

Por tudo isso, focou-se apenas no mercado de transporte escolar do Distrito Federal, onde, em 2020, foram contabilizados 2.046 motoristas de transporte escolar privado (NETO, 2020). Não há dados sobre transporte de passageiros comum realizado por motoristas de Vans. Apesar de tudo, apenas no Distrito Federal é possível contar com um mercado potencial de 2000 veículos utilizados para transporte de estudantes diariamente que pode se beneficiar da conversão de seus veículos para elétricos.

Em todo o país, em 2020, foram vendidas 20.454 Vans para transporte de passageiros (AUTOO, data de acesso: 17/07/2021). Isso que significa que, se esse número tiver se repetido ao longo dos últimos dez anos, há pelo menos 200 mil Vans de transporte de passageiros espalhadas pelo país que podem compor um mercado potencial para empresas de transformação de Vans a combustão em elétricas.

6. Processo de Levantamento de Dados e Dimensionamento

Esse capítulo tem por objetivo apresentar o veículo a ser convertido em elétrico, o processo de dimensionamento dos componentes elétricos, o levantamento, realizado junto ao usuário final, das necessidades do transporte de passageiros por meio do registro de trajetos em campo com utilização de GPS e o processo de conversão da Van a combustão para elétrica.

6.1. O Veículo

O veículo escolhido para a conversão de motorização a combustão para elétrica foi a Van Peugeot Boxer Longa 2.8 HDI ano 2008 diesel. Esse veículo, apresentado na Figura 19, possui um total de 16 lugares e comumente costuma ser utilizado para transporte de passageiros, com destaque para seu uso como transporte escolar ou rodoviário.

Figura 19 - Van Peugeot Boxer Longa 2.8 HDI ano 2008 Diesel



Fonte: Acervo do projeto TECNOMOBILE (2021)

Esse veículo foi disponibilizado pela Faculdade do Gama da Universidade de Brasília para o projeto TECNOMOBILE com o objetivo de ser convertido para tração elétrica por uma equipe multidisciplinar, constituída por técnicos, alunos de engenharia, engenheiros e professores da FGA-Gama.

Fora de fabricação há muitos anos, o veículo já não possuía mais manual do proprietário, e a obtenção de dados relacionados a suas características e funcionamento ficaram dificultados pelo fato de a montadora já tê-lo tirado de linha e substituído por outras duas versões que vieram depois dele.

No entanto, foram coletados, na medida do possível, alguns dados do veículo a partir de páginas da web especializadas em carros. Abaixo, a Tabela 7 traz as características do motor a combustão.

Tabela 7 - Dados do Motor da Van Peugeot Boxer Longa 2.8 HDI 2008

| | |
|--------------------------|--|
| MOTOR | Diesel - 4 cilindros em linha, 8 válvulas |
| Cilindrada | 2.800 cm ³ |
| Potência máxima (cv/rpm) | 127/3600 |
| Torque máximo (kgfm/rpm) | 30,6/1800 |
| Sistema de alimentação | Eletrônica, injeção direta, turbo compressor e intercooler |
| Transmissão | Manual de 5 marchas |
| Taxa de compressão | 18,5 |
| Embreagem | Hidráulica |

Fonte: VRUM (2020)

Na Tabela 8, seguem as características estruturais do veículo:

Tabela 8 - Dados Gerais do Van

| | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| FREIOS | Disco |
| RODAS/PNEUS | 205/75 R 16 |
| SUSPENSÃO (DIANTEIRA/TRASEIRA) | Pseudo Mcpherson/tubular com mola |
| TANQUE DE COMBUSTÍVEL | 80 litros |
| CAPACIDADE DE CARGA | 1520 kg |
| PESO (EM ORDEM DE MARCHA) | 1980 kg |
| PESO BRUTO TOTAL | 3500 kg |
| VELOCIDADE MÁXIMA | 150 km/h |

Fonte: VRUM (2020)

Na Tabela 9, são explicitadas as dimensões externas do veículo:

Tabela 9 - Dimensões da Van Peugeot Boxer Longa 2.8 HDI 2008

| COMPARTIMENTO DE CARGA | |
|------------------------|-------------------|
| Capacidade | 12 m ³ |
| Comprimento | 3.360 mm |
| Altura | 1.808 mm |
| Largura | 1.881 mm |
| DIMENSÕES EXTERNAS | |
| Comprimento | 5.599 mm |
| Altura | 1.998 mm |
| Largura | 2.450 mm |
| Distância entre Eixos | 3.700 mm |

Fonte: VRUM (2020)

As dimensões acima serão utilizadas na simulação de cálculo de necessidades de potência e energia por parte do veículo, de modo a se obter parâmetros confiáveis para a especificação do motor e do conjunto de baterias.

6.2. Algoritmo em MATLAB

A eletrônica embarcada em veículos automotores abriu as portas para a integração de sistemas de inteligência artificial e conexão do veículo à rede mundial de computadores gerando a possibilidade de se desenvolver ferramentas capazes de fazer o veículo “aprender” e contribuir com sua inserção em um cenário de IoT (*Internet of Things*) (PAIVA, 2019). Veículos autônomos produzidos por empresas como Google, Tesla, Volkswagen e GM já são uma realidade (PAIVA, 2019). O emprego da IoT, da conexão do veículo com a internet e do uso de sistema de GPS baseado na WEB dentro do veículo permitiram a coleta de informações importantes sobre o comportamento do veículo e das necessidades do condutor, facilitando o gerenciamento de grandes frotas e a criação de valor para o motorista, para empresas e para o trânsito a partir dos dados coletados durante operação real do veículo.

Nesse contexto, o levantamento das necessidades do veículo consiste em registrar, por meio de GPS, a trajetória diária percorrida pelo veículo a ser convertido em elétrico e o tempo de espera em marcha lenta ao longo de sua trajetória. Assim, com esses dados, será possível calcular a potência e a energia necessárias para o veículo percorrer o

percurso determinado pelo usuário, o que permitirá a seleção do motor e do módulo de bateria a ser instalado no veículo de acordo com as necessidades levantadas.

6.2.1. Módulo de Simulação das Necessidades de Potência e Energia

A metodologia proposta nesse trabalho tem como diferencial o uso de dados de desempenho do veículo obtidos em testes de campo durante operação real para o dimensionamento das necessidades de potência, energia e otimização da quantidade de baterias a serem instaladas no veículo.

Nesse sentido, foi desenvolvido um algoritmo em MATLAB que capta os dados do trajeto percorrido pelo veículo gravados por GPS e os transforma em informações utilizáveis nos cálculos de consumo e potência. Esse algoritmo capta os dados de Horário, Latitude, Longitude e Altitude de um arquivo gpx importado de dispositivo GPS e os converte em variáveis de Tempo, Elevação, Distância e Velocidade, a partir das quais é possível calcular as demais variáveis utilizadas nos cálculos de dinâmica veicular necessários à obtenção do consumo e da potência do veículo.

O GPS (*Global Positioning System*) é um sistema de navegação de alta exatidão que coloca à disposição dos cidadãos quatro satélites para a observação do posicionamento do usuário em qualquer ponto entre a superfície terrestre e o sistema de satélites em tempo real (ABREU, 2007). Devido à sua alta precisão e seus serviços cada vez mais acessíveis, o sistema GPS passou a ser utilizado por diversos setores da sociedade, incluindo o militar, o setor de transportes terrestres civis, a navegação, a aviação civil, a agricultura de precisão, entre outros (ABREU, 2007). No entanto, a despeito da tecnologia cada vez mais avançada utilizada pelo sistema GPS, erros aleatórios (*outliers*) e erros sistemáticos ainda produzem distorções nos dados que colocam em xeque sua precisão (ALVES, 2004).

O sistema de GPS possui diversas técnicas para tratamento de erros sistemáticos, incluindo algumas variações dos Métodos dos Mínimos Múltiplos Quadrados (ALVES, 2004). Os erros aleatórios, no entanto, são mais difíceis de serem tratados, pois dependem, principalmente, do ambiente onde o receptor está localizado (ABREU, 2007). Nesse sentido, erros aleatórios são inevitáveis em dados obtidos por meio de medições de GPS e precisam ser tratados com a retirada de outliers oriundos de erros aleatórios.

Por conta disso, para diminuir os efeitos de erros aleatórios nos cálculos de potência e energia, foram utilizadas algumas técnicas para a retirada e minimização de outliers incorporados aos dados do trajeto do veículo obtidos em testes de campo por meio

de GPS. Abaixo, segue a Tabela 10 com as técnicas utilizadas e os dados em que elas foram aplicadas:

Tabela 10 - Métodos empregados na correção de erros aleatórios dos dados do GPS

| TÉCNICA DE MINIMIZAÇÃO DE ERROS | DADOS CORRIGIDOS |
|--|---|
| Função “filloutliers” (ferramenta do Matlab para retirada de outliers) | Ângulo de inclinação das pistas |
| Média móvel de 4 pontos | Suavização dos ângulos de inclinação das pistas |
| Função “filloutliers” (ferramenta do Matlab para retirada de outliers) | Velocidade calculada |
| Média móvel de 4 pontos | Suavização da aceleração calculada |
| Média + 4 Sigmas (retira outliers com valores de 4 vezes o desvio padrão acima da média calculada para a série de dados) | Potência calculada |

Fonte: o AUTOR (2021)

Após a correção dos dados, o algoritmo desenvolvido em Matlab calcula as forças de resistência atuantes sobre o veículo durante seu movimento, a potência média e a potência máxima, a energia média e a energia máxima exigidas pelo veículo para a realização de sua trajetória.

Para tal, são necessários alguns dados do veículo, que devem ser obtidos a partir de informações inseridas pelo usuário.

A primeira informação inserida pelo usuário consiste na escolha do tipo de veículo a ser simulado, a partir do quadro interativo da Figura 22.

Figura 20 - Caixa de escolha do tipo de veículo

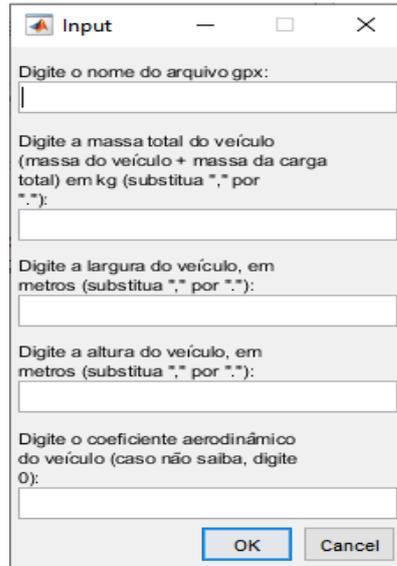


Fonte: o AUTOR (2021)

Com essa informação, caso o usuário desconheça o coeficiente aerodinâmico do veículo, o algoritmo pode usar um valor de coeficiente de arrasto (C_x) disponibilizado em seu banco de dados para cálculo da Força de Resistência Aerodinâmica atuante sobre o veículo em movimento.

Em seguida, é emitido o formulário apresentado na Figura 23, no qual o usuário deverá inserir algumas informações, como o nome do arquivo gpx onde estão os dados da trajetória do veículo gravados por meio de GPS, a carga total do veículo, a altura e a largura do veículo e o coeficiente aerodinâmico (C_x) caso esse seja de conhecimento do proprietário do automóvel.

Figura 21 - Caixa de entrada de dados

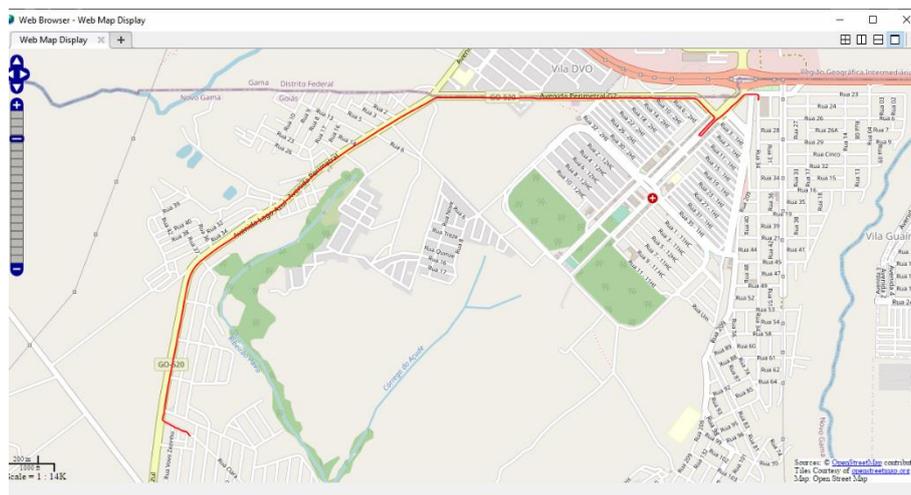


The image shows a standard Windows-style dialog box titled "Input". It contains five text input fields, each with a label and instructions. The labels and instructions are: "Digite o nome do arquivo gpx:", "Digite a massa total do veículo (massa do veículo + massa da carga total) em kg (substitua ',' por '.'): ", "Digite a largura do veículo, em metros (substitua ',' por '.'): ", "Digite a altura do veículo, em metros (substitua ',' por '.'): ", and "Digite o coeficiente aerodinâmico do veículo (caso não saiba, digite 0): ". At the bottom of the dialog are "OK" and "Cancel" buttons.

Fonte: o AUTOR (2021)

Realizados os cálculos, o primeiro resultado é a impressão da trajetória realizada pelo veículo em formato de gráfico. A Figura 24 abaixo traz a rota impressa em página Web do aplicativo *Street Google*, na qual se pode visualizar a rota percorrida sobre o mapa da região onde foi realizado o percurso, podendo o usuário, inclusive, interagir com o mapa, a fim de obter uma melhor visualização da trajetória.

Figura 22 - Rota impressa no Street Google

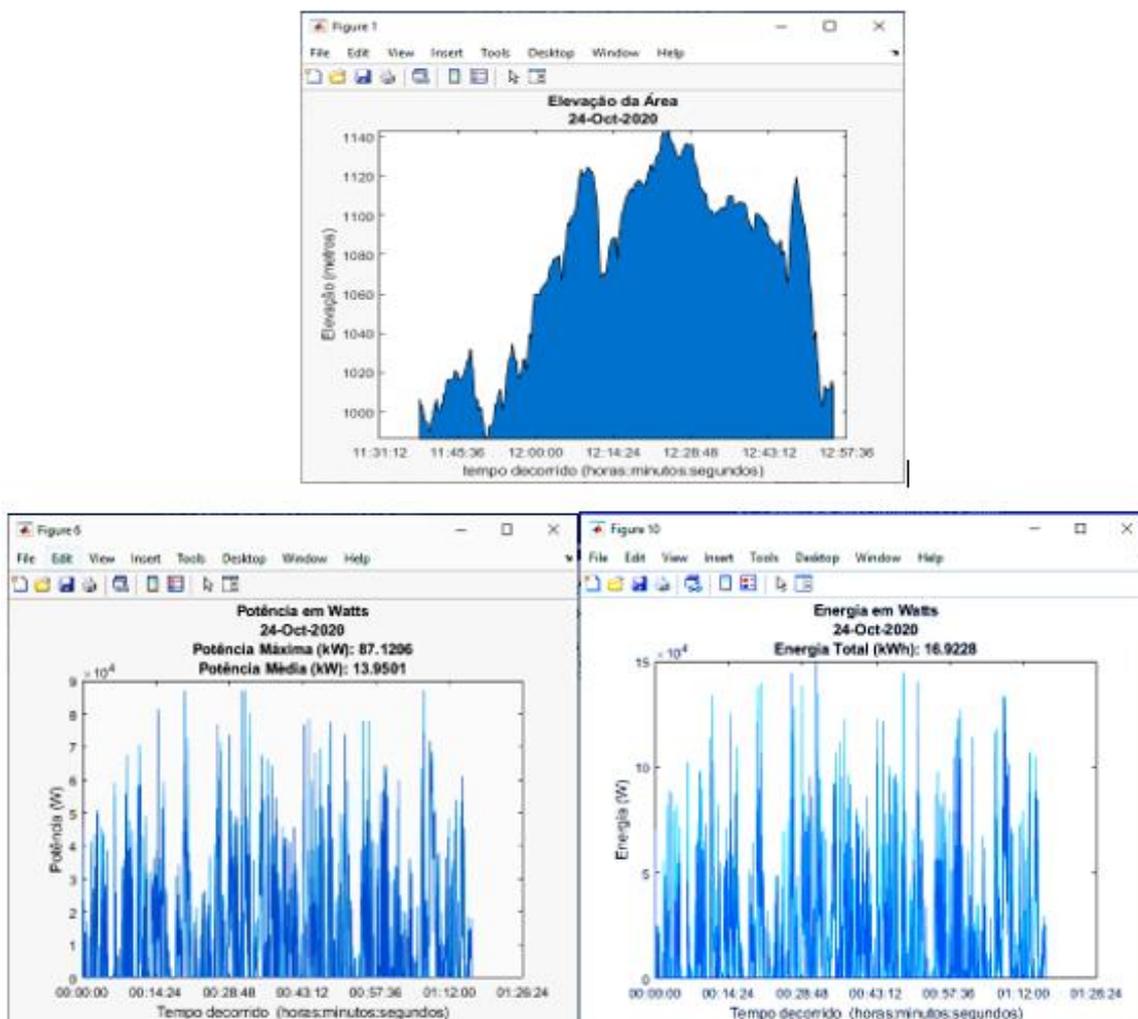


Fonte: o AUTOR (2021)

Na sequência, o algoritmo emite os gráficos da elevação do terreno, da distância percorrida pelo veículo, do ângulo de inclinação da pista, da velocidade empregada pelo veículo em intervalos de tempos regulares, da aceleração do veículo em cada instante, da

potência, tanto em Watts quando em Cavalos-Vapor, e da energia consumida no percurso (Figura 25).

Figura 23 - Gráficos de elevação, potência e energia emitidos pelo algoritmo



Fonte: o AUTOR (2021)

Há ainda a possibilidade de emissão de gráficos das forças atuantes sobre o veículo caso se deseje realizar uma análise mais aprofundada dos cálculos. Com isso, o analista obtém a potência necessária para o veículo percorrer o trajeto determinado e a quantidade de energia para a realização do percurso como um todo.

Em uma segunda fase, o algoritmo faz o cálculo de otimização da quantidade de baterias a serem adquiridas para o veículo elétrico em função de seu custo e de postos de recarga disponibilizados ao longo do trajeto.

6.2.2. Módulo de Dimensionamento e Otimização do Conjunto de Baterias

O módulo de dimensionamento e otimização do conjunto de baterias constitui a segunda parte do algoritmo.

Após emitidos os resultados da primeira parte, o algoritmo dá a opção para o usuário inserir a quantidade de paradas existentes para recarregamento do veículo elétrico ao longo da trajetória, incluindo a saída como parada inicial, ou seja, a residência ou empresa onde esse veículo ficou parado por toda a noite recarregando, as paradas intermediárias, essas efetivamente existentes ao longo do percurso, e a parada final, que corresponde ao ponto de chegada final do veículo, ponto esse cujo recarregamento não é computado.

Nesse momento, o usuário tem duas opções: ele pode digitar o número de paradas e dar prosseguimento à simulação ou pode clicar em “Cancel” e interromper o funcionamento do código.

Uma vez que o usuário digite um número representativo da quantidade de paradas e o algoritmo continue a rodar, ele emitirá uma caixa de entrada, como mostrada na Figura 26, para os dados de tempo de parada para recarregamento das baterias em cada parada indicada pelo usuário, com exceção da última parada, em que o tempo de recarregamento deve ser igual a zero.

Figura 24 - Quadro exemplificativo para inserção de dados de tempo de recarregamento para cada parada

A caixa de diálogo apresenta um título com ícone de fogo e botões de minimizar, maximizar e fechar. O conteúdo é composto por quatro seções de texto idênticas, cada uma solicitando o tempo de parada em minutos para uma parada específica (1, 2, 3 e 4). Cada seção contém um campo de entrada de texto. O texto de instrução para cada seção é: "Digite, em minutos, o tempo de parada na parada X (considere a saída como parada 1). Na última parada, considerada ponto de chegada, digite zero. Use apenas valores inteiros, sem casas decimais:". No canto inferior direito, há dois botões: "OK" e "Cancel".

Fonte: o AUTOR (2021)

Em seguida, serão emitidos novos quadros de mensagens com opção de entrada das distâncias percorridas entre as paradas informadas, exemplificados pela Figura 27.

Figura 25 - Entradas de dados das distâncias percorridas entre as paradas indicadas

The figure displays three sequential dialog boxes, each with a title bar containing a small icon and standard window controls (minimize, maximize, close). Each dialog box contains the following text: "Digite, em km, a distância entre a Parada: 1 e a Parada: 2." (or 2 and 3, or 3 and 4), followed by "(Considere a saída como parada 1 e, a última parada, como ponto de chegada). Use ponto no lugar de vírgula:". Below the text is a text input field with a vertical cursor. At the bottom right of each dialog box are two buttons: "OK" and "Cancel".

Fonte: o AUTOR (2021)

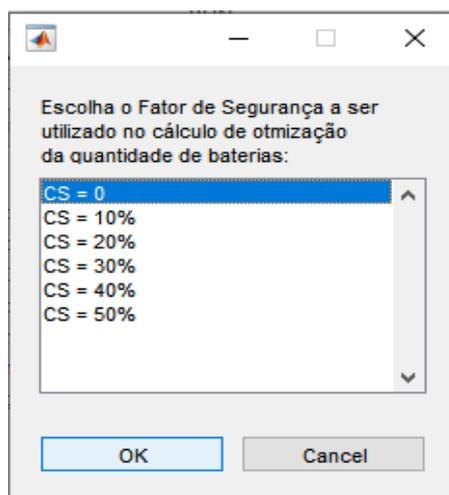
As distâncias inseridas devem corresponder à distância percorrida pelo veículo entre a parada antecedente e a parada subsequente. Por exemplo, o primeiro quadro deve ser preenchido com a distância percorrida entre o ponto de saída do veículo, considerado como parada 1, onde houve um primeiro recarregamento das baterias, e a parada 2, que corresponde à primeira parada para recarregamento ao longo do percurso. A segunda entrada corresponde à distância percorrida no trecho do percurso que vai da parada 2 à parada 3, e assim sucessivamente. Com esses dados, o algoritmo será capaz de calcular a energia consumida em cada trecho percorrido, para, em seguida, usá-la na otimização da quantidade de baterias.

Uma vez informados os parâmetros acima, o algoritmo emite quadro para preenchimento de demais informações necessárias ao funcionamento do módulo de dimensionamento e otimização. Essas informações correspondem aos seguintes itens: tensão e capacidade nominal da bateria, altura, largura e volume de cada bateria, preço de uma unidade da bateria informada, capacidade nominal do carregador a ser utilizado para

recarregar o conjunto de baterias, além do comprimento, largura e altura/profundidade do espaço destinado ao conjunto de baterias dentro do veículo.

Por fim, por meio da lista mostrada na Figura 28, ainda é possível ao usuário definir o fator de segurança CS que deseja utilizar nos cálculos, podendo escolher valores entre 0 e 50%. O fator CS será utilizado para descontar o percentual indicado do valor da densidade energética calculada para a bateria indicada e minimizar a propagações de erros.

Figura 26 - Caixa com opção de fatores de segurança CS



Fonte: o AUTOR (2021)

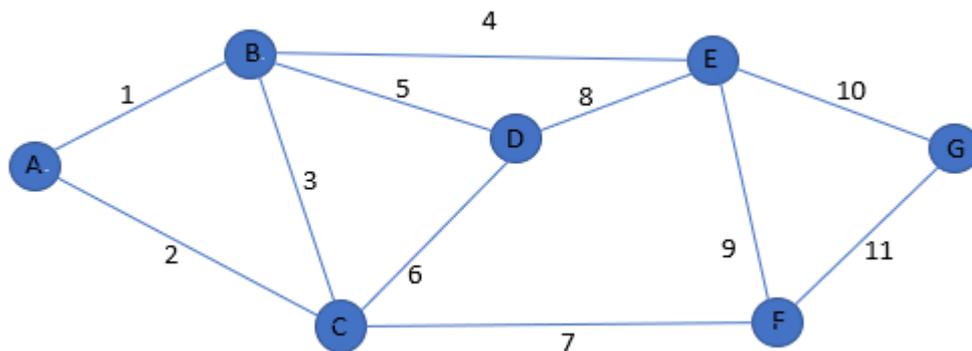
Como todos os parâmetros definidos, o algoritmo roda o módulo de otimização. A seguir, segue esclarecimento sobre a construção e funcionamento do módulo de dimensionamento e otimização do conjunto de baterias.

6.2.2.1. Modelos de Otimização de Redes

Os sistemas em rede estão entre os mais comuns na sociedade. Redes de transportes, de transmissão de energia elétrica, de comunicação, de distribuição de gás e óleo, são exemplos de redes que requerem métodos matemáticos específicos para soluções de otimização de custos e de quantidade distribuída. Os modelos de solução baseados nesses tipos de sistemas foram adaptados para outros tipos de questões semelhantes, como planejamento de produção, posicionamento de instalações, fluxo máximo, planejamento financeiro, caminho mínimo, entre outros (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Os problemas em rede são formados por dois conjuntos de símbolos básicos: nós e arcos (WINSTON, 2004). Os vértices da rede são chamados nós e são considerados pontos de partida, chegada ou de passagem e distribuição do fluxo, como mostrado na Figura 29. Os arcos, por sua vez, são as conexões entre os vértices, ou nós, e representantes da direção do fluxo, que pode ser positivo, negativo, ou ambos, um em cada momento.

Figura 27 - Rede de Fluxo



Fonte: O AUTOR (2021)

A Figura 29 exemplifica um sistema de rede que pode representar uma rede de transporte público, de distribuição de gás ou de uma gama de caminhos que um viajante pode percorrer diariamente, e o problema a ser solucionado seria o de encontrar o menor caminho ou o meio mais econômico de passar por todos os nós, sem repetir nenhum deles, ao ir do ponto A ao ponto G. No diagrama acima, as letras representam os nós e, os números, os arcos que conectam os nós entre si.

6.2.2.2. O Problema do Fluxo de Custo Mínimo

O Problema do Fluxo de Custo Mínimo (PFCM) é um tipo de problema de rede que consiste em fazer circular um fluxo em uma rede s-t pagando o mínimo possível pelo tráfego (GOLDBARG, 2005). Da mesma forma que no caso do problema de fluxo máximo, o PFCM considera o tráfego sujeito a arcos com capacidades limitadas. Da mesma forma que o problema do menor caminho, ele considera o custo como parte do arco (HILLIER; LIEBERMAN, 2006), e permite a problematização com vários nós, pontos de saída, pontos de chegada e arcos diversos.

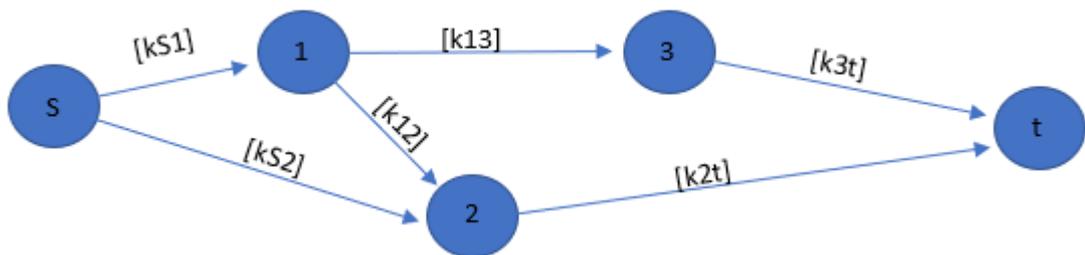
Segundo Hillier e Lieberman (2006), o problema de fluxo de custo mínimo pode ser descrito pelas 8 proposições a seguir, que são:

- 1) A rede é direcionada e conectada.
- 2) Pelo menos um dos nós é nó de suprimento.
- 3) Pelo menos um dos nós é nó de demanda.
- 4) Todos os demais nós são nós de passagem.
- 5) O fluxo se propaga apenas em uma direção no arco e a capacidade do arco é conhecida. Caso o arco permita a propagação do fluxo em mais de uma direção, é preciso criar dois arcos, um para cada direção de propagação do fluxo.
- 6) A rede tem arcos e nós suficientes para que todo o fluxo oriundo do nó de suprimento possa chegar ao nó de demanda.
- 7) O custo do fluxo em cada arco é proporcional ao fluxo nesse arco.
- 8) O objetivo é minimizar o custo total de envio do fluxo do nó de suprimento ao nó de demanda.

Assim, um algoritmo de PFCM poderia ser representado pela forma gráfica da

Figura 30:

Figura 28 - Problema de Fluxo de Custo Mínimo



Fonte: O AUTOR (2021)

Nesse caso, o fluxo que sai do nó de suprimento S, percorre os arcos ao custo [kij], passando pelos nós i, até a chegada ao nó de demanda t.

O modelo do PFCM pode ser simplificado pelo algoritmo de programação linear:

$$\text{Função Objetivo: } \text{minimizar } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

Sujeita à restrição:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} - \sum_{j=1}^n x_{ji} = b_i, \text{ para cada nó } i$$

O primeiro somatório da restrição corresponde ao fluxo que sai do nó i , enquanto o segundo representa o fluxo que chega ao nó i (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

E:

$$0 \leq x_{ij} \leq u_{ij}, \text{ para cada arco } i \rightarrow j$$

Em que:

$$x_{ij} = \text{fluxo através do arco } i \rightarrow j$$

$$c_{ij} = \text{custo por fluxo através do arco } i \rightarrow j$$

$$u_{ij} = \text{capacidade do arco para o arco } i \rightarrow j$$

$$b_i = \text{fluxo gerado no nó } i$$

Normalmente, a condição para que o modelo de PFCM gere solução viável é que $b_i = 0$, de modo que tudo que entra no nó é igual a tudo o que sai. Essa condição já integra o estoque que possa sobrar na saída do nó ou chegar a ele.

6.2.2.3. Metodologia Aplicada ao Desenvolvimento do Algoritmo de Otimização

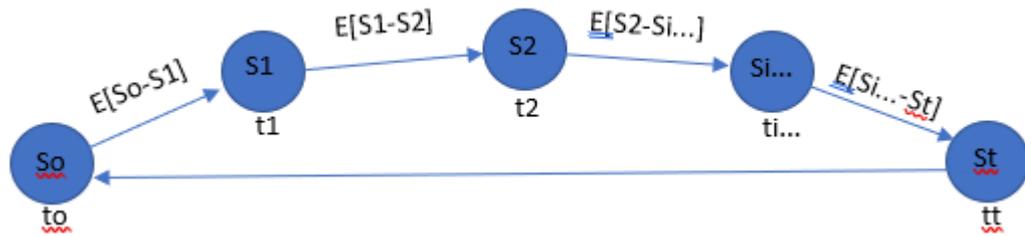
O problema de otimização da quantidade de energia que o veículo necessitará para percorrer seu trajeto a um custo mínimo, havendo a possibilidade de recarregamento das baterias ao longo do trajeto, exige a ponderação da quantidade de baterias em função dos postos existentes ao longo do percurso, do tempo de parada para recarregamento e da quantidade de energia que as baterias são capazes de armazenar. Nesse contexto, é possível reduzir significativamente a quantidade de energia armazenada no veículo para a realização de seu trajeto e, por consequência, a quantidade de baterias instaladas no carro.

O desenho do caminho do fluxo foi o primeiro passo tomado para o desenvolvimento do algoritmo de fluxo de custo mínimo.

O fluxo é composto pelo ponto de saída do veículo (So), o ponto de chegada (St), as paradas intermediárias ou nós (Si) e arcos com direção única entre os nós. O nó de

chegada (S_t) foi considerado como sendo o mesmo nó de saída (S_o), haja vista que o objetivo consiste em otimizar a quantidade de energia utilizada pelo veículo durante toda sua trajetória, desde o ponto de partida, passando pelas paradas intermediárias e voltando ao ponto de saída, que, em uma situação real, poderia corresponder à casa ou empresa do proprietário do veículo. A rede construída a partir desses elementos foi desenhada na Figura 31.

Figura 29 - Fluxo representativo do fluxo de energia dentro do trajeto veicular



Fonte: O AUTOR (2021)

Em que:

S_o = saída;

S_t = chegada;

$S_1 = S_2 = S_i$ = nós de paradas intermediárias;

$E[S_i - S(i+1)]$ = Energia consumida entre o nó S_i e o nó seguinte $S(i+1)$;

t_i = tempo i de recarregamento do veículo na parada S_i ;

$t_t = 0$;

No fluxo da Figura 3, o veículo sai do ponto S_o , passa pelos pontos S_1 , S_2 , e demais pontos de parada representados por S_i , nos quais para pelo tempo t_o , t_1 , t_2 , t_i ..., e chega ao ponto final S_t , que corresponde ao ponto de partida S_o , e que, por isso, seu tempo de parada para recarregamento t_t é igual a t_o . Entretanto, para o tempo t_o não ser computado duas vezes, fazemos $t_t = 0$, e o tempo de recarregamento no local de chegada fica restrito ao tempo de carregamento do ponto de partida.

A energia elétrica consumida em cada trecho da trajetória é $E[S_i - S(i+1)]$, em que S_i representa o nó anterior e, $S(i+1)$, o nó seguinte. No primeiro trajeto, entre S_o e S_1 , o veículo precisará de energia suficiente para percorrer esse trajeto e ainda manter um estoque para o percurso do trecho S_1-S_2 , haja vista que se considera que o tempo t_1 de recarregamento das baterias no nó S_1 não será suficiente para se obter toda a energia necessária para o veículo percorrer o trajeto S_1-S_2 . Assim, para cada trecho do trajeto, o

veículo precisará de energia para percorrer aquele trecho e mais uma quantidade de energia em estoque, para complementar a energia adquirida no nó seguinte, e poder percorrer o trajeto do nó seguinte ao nó subsequente e, assim, sucessivamente. Sendo $S_t = S_o$, não há energia consumida entre o nó de chegada e o de saída, e $E[S_t - S_o] = 0$.

Assim, a soma dos fluxos que entram e saem de cada nó pode ser descrita pela equação de restrição:

$$\text{Carreg}(i) * X + \text{Estoque}(i) - \text{Estoque}(i+1) - \text{ConsE}(i) \geq 0$$

Em que:

X = quantidade de baterias instalada no veículo;

$\text{Carreg}(i)$ = quantidade de energia carregada nas baterias na parada i ;

$\text{ConsE}(i)$ = consumo de energia pelo veículo ao percorrer o trajeto $S_i - S_{i+1}$ computado na parada i subsequente ao trecho percorrido;

$\text{Estoque}(i)$ = estoque de energia que chega ao nó i ;

$\text{Estoque}(i+1)$ = estoque de energia que sai do nó i e chega ao nó $i+1$;

$\text{Estoque}(S_o) = 0$;

$\text{Estoque}(S_t) = 0$;

No Problema de Fluxo de Custo Mínimo (PFCM), todo o fluxo que chega ao nó i deve ser igual a todo o fluxo que sai. Assim, a energia que chega ao nó i através das variáveis $\text{Carreg}(i)$ e $\text{Estoque}(i)$, deve ser igual à energia que irá sair desse nó através das variáveis $\text{Carreg}(i+1)$ e $\text{Estoque}(i+1)$. Parte dessa energia será ser utilizada no trajeto $S_i - S_{i+1}$, de modo que, no nó S_{i+1} , um novo balanço energético deverá ser realizado, resultando na quantificação da energia que sairá de S_{i+1} e chegará ao nó S_{i+2} e, assim, sucessivamente.

Considerando que, no nó de saída, a energia armazenada nas baterias é representada pela variável $\text{Carreg}(i)$ (ou, mais especificadamente, $\text{Carreg}(1)$), e que o veículo não vinha de lugar algum até então, o $\text{Estoque}(1)$ pode ser considerado nulo. Levando em conta que, no nó de chegada (S_t), o veículo deverá ficar parado esperando um novo recomeço do ciclo em um período posterior, o $\text{Estoque}(n)$, sendo n o número de paradas, deverá ser igual a zero, pois ele não precisa manter estoque de energia após a realização da trajetória.

Com isso, fechamos o ciclo do fluxo de energia dentro da trajetória do veículo, e toda a energia que o veículo possui estocada no ponto de saída somada à energia que

ele obterá nas paradas de recarregamento ao longo de sua trajetória deve ser igual, ou maior, à energia que ele precisará para cumprir o trajeto do início ao fim, sem deixar estoque de energia armazenado nas baterias.

A quantidade de energia que o conjunto de baterias instalado no veículo poderá armazenar é igual ao número de baterias multiplicado pela Densidade Energética de cada bateria.

A densidade energética de uma bateria corresponde à quantidade de energia que ela pode armazenar por unidade de massa ou de volume. No caso em questão, optamos pela Densidade Energética por unidade de volume, de modo a podermos associar o volume do conjunto total de baterias ao volume destinado às baterias dentro veículo.

Assim, a Densidade Energética de cada bateria pode ser calculada pela equação:

$$DE = \frac{CN * T}{V}$$

Em que:

CN = capacidade nominal da bateria obtida junto ao fornecedor (Ah);

T = tensão nominal da bateria (Volts);

V = volume da bateria (litros).

A quantidade de energia que será armazenada em cada bateria por unidade de volume (em litros), representada pela variável $Carreg(i)$, durante seu tempo de recarregamento, deve levar em consideração o tempo destinado ao recarregamento, a taxa de carregamento e a Densidade Energética das baterias, além da capacidade nominal do carregador. A equação abaixo resume o cálculo da quantidade de energia armazenada em cada bateria por unidade de volume em função de seu tempo de carregamento:

$$Carreg(i) = TaxadeCarregamento * T(i)$$

Em que:

T(i) = tempo de recarregamento;

$$TaxadeCarregamento = \frac{DE}{TempodeCarregamento * 60}$$

E:

$$\text{TempodeCarregamento} = \frac{CN}{CC}$$

Em que:

CC = capacidade nominal do carregador obtida junto ao fabricante (Ah).

O tempo de carregamento usado nas duas equações acima é diferente do tempo T(i) em que o veículo fica parado para recarregamento, pois ele depende da capacidade nominal das baterias (CN) e da capacidade nominal do carregador (CC), ambos em Amper-hora. Quanto menor o Tempo de Carregamento do conjunto de baterias, maior sua Taxa de Carregamento e, portanto, maior a quantidade de energia que o conjunto receberá por unidade de tempo.

Enfim, a quantidade de energia que o conjunto de baterias poderá armazenar durante o período de recarregamento é igual a Carreg(i)*X.

É preciso acrescentar um coeficiente de segurança (CS) à quantidade de energia armazenada, a fim de que sempre fique um pequeno estoque de energia nas baterias não só para a manutenção dos sistemas eletrônicos veiculares bem como para diminuir o percentual de erro propagado pelos cálculos.

Outras restrições devem ser consideradas no problema de otimização da quantidade de baterias. São elas: o custo de cada bateria e o espaço destinado às baterias dentro do veículo.

Cada tipo de veículo possui um dimensionamento espacial interior próprio. A instalação de um conjunto de baterias dentro de um veículo deve ser feita sem prejuízo à quantidade de passageiros que o veículo é capaz de comportar e, muito menos, sem causar desconforto aos ocupantes do veículo. Nesse sentido, é preciso levar em consideração que o espaço destinado à instalação do conjunto de baterias deverá se restringir ao bagageiro ou porta-malas do veículo.

Isso cria uma nova restrição para o modelo que pode ser resumida na equação:

$$X * V \leq VE$$

Em que:

X = quantidade de baterias;

V = volume de cada bateria (litros);

VE = volume reservado à instalação das baterias dentro do veículo (litros).

Com isso, podemos fechar o modelo e estabelecer a função objetivo, que terá como meta minimizar o custo de aquisição de baterias por meio da otimização do número de baterias a serem instaladas no veículo. Assim, a função objetivo a ser minimizada é:

$$FOMin = Custo * X$$

E as restrições do modelo são resumidas pelas equações:

$$Carreg(i) \leq TaxadeCarregamento * T(i)$$

$$Carreg(i) \leq (1 - CS) * DE$$

$$X * V \leq VE$$

$$Carreg(i)*X + Estoque(i) - Estoque(i+1) - ConsE(i) \geq 0$$

$$Estoque(1) = 0$$

$$Estoque(St) = 0$$

$$X \geq 0$$

$$X = \text{inteiro}$$

E os parâmetros de entrada do modelo são:

CN = capacidade nominal da bateria (Ah);

T = tensão nominal da bateria (Volts);

V = volume da bateria (litros);

CC = capacidade nominal do carregador (Ah);

V = volume de cada bateria (litros);

VE = volume total do veículo destinado à instalação do conjunto de baterias (litros);

CS = coeficiente de segurança (%).

Custo = custo de cada bateria em unidade monetária;

n = número de paradas, considerando a saída e a chegada;

T(i) = vetor com o tempo de parada, em minutos, para recarregamento em cada parada i, sendo T(St) = 0;

ConsE(i) = vetor com a quantidade de energia, em Wh, consumida em cada trajeto entre o nó Si e o nó Si+1 computada em cada parada i, sendo ConsE(1) = 0.

Por fim, o módulo de otimização finaliza a simulação com o cálculo da quantidade de baterias que deveria ser utilizada em caso de não existência de paradas para recarregamento do veículo ao longo de seu percurso. Com isso, o usuário poderá comparar a quantidade de baterias e o custo de sua aquisição em duas situações, quais sejam:

- 1) não há postos de carregamento de baterias ao longo do trajeto;
- 2) há eletropostos para recarregamento do veículo ao longo do percurso.

6.2.3. Levantamentos dos Dados da Trajetória de Operação Real do Veículo

A gravação do trajeto realizado pela Van Peugeot Boxer Longa 2.8 HDI ano 2008 diesel é impossível por conta de seu motor já fora de operação e, ainda mais, por conta de sua desmontagem para a realização de sua conversão para elétrica. Por conta de disso, foi procurada uma Van de mesma categoria, com a mesma quantidade de lugares e peso e dimensões internas e externas semelhantes ao veículo a ser convertido para elétrico. Foi encontrada uma Van de características semelhantes utilizada em transporte escolar de crianças e adolescentes (Figura 32). Em seguida, foi realizado um trajeto semelhante ao utilizado pelo motorista da Van em dia de trabalho, que é feito de segunda a sexta-feira, três vezes por dia – uma de manhã, duas à tarde e uma à noite -, passando por nove residências, onde seriam embarcados os alunos, e por nove colégios, onde esses alunos desembarcariam. É claro que, no trajeto realizado, não foram embarcadas crianças para serem levadas aos colégios. Mas, todo o percurso foi realizado como se tudo estivesse ocorrendo como em um dia normal de trabalho, inclusive com as paradas em frente às residências dos estudantes e em frente aos colégios onde os estudantes desembarcariam em um dia de aula normal.

Figura 30 - Veículo utilizado no trajeto



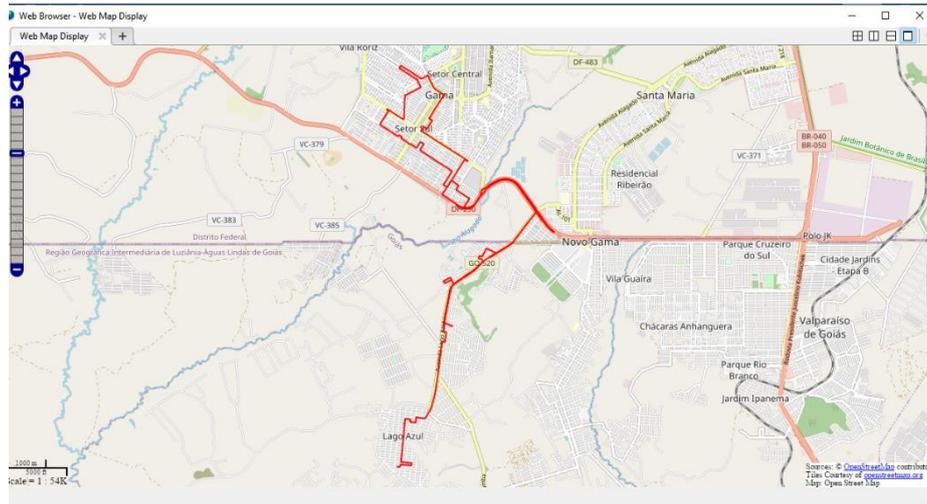
Fonte: o AUTOR (2020)

A trajetória do veículo foi gravada com uso de um aparelho de GPS *Garmin* modelo 550t e um aplicativo de GPS de celular denominado *Strava*, para comparação da qualidade dos dados obtidos pelos dois tipos de dispositivos. O GPS *Garmin* mostrou maior variação nos valores dos graus de inclinação das ruas do que o *Strava* e, por conta disso, foi abandonado. Assim, passamos a analisar apenas os dados obtidos por meio do aplicativo de GPS para celular *Strava*, aplicativo esse, diga-se de passagem, muito utilizado por ciclistas por conta de sua facilidade de uso, baixo custo e ótima precisão.

Os dados obtidos pelo aplicativo foram convertidos para arquivo gpx e inseridos no algoritmo desenvolvido. Após a inserção dos dados de entrada iniciais, o algoritmo plotou a rota percorrida pelo veículo e dados de elevação do percurso e, logo após o tratamento dos dados, plotou os gráficos da distância percorrida, a velocidade calculada para cada instante e da aceleração empregada em cada instante da rota em função do tempo.

Abaixo, a Figura 33 mostra a rota percorrida no teste de campo impressa no *Street Google*.

Figura 31 - Trajetória realizada impressa no Street Google

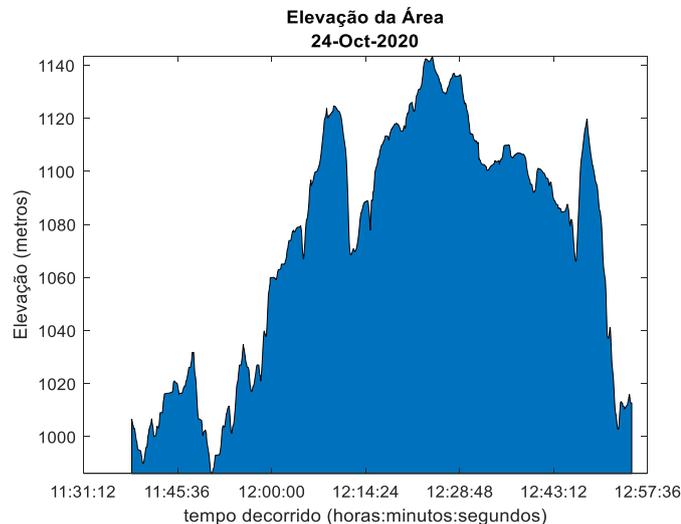


Fonte: o AUTOR (2020)

O gráfico da rota na plataforma do *Street Google* exige acesso à web para ser impresso, o que permite ao usuário, uma vez plotada a rota, navegar pelo mapa e visualizar com maior nível de detalhes pela região onde o trajeto fora realizado.

Abaixo, observamos os demais gráficos plotados pelo algoritmo em um primeiro momento, antes da realização da simulação da necessidade de potência e energia.

Gráfico 7 - Elevação da área percorrida em teste de campo



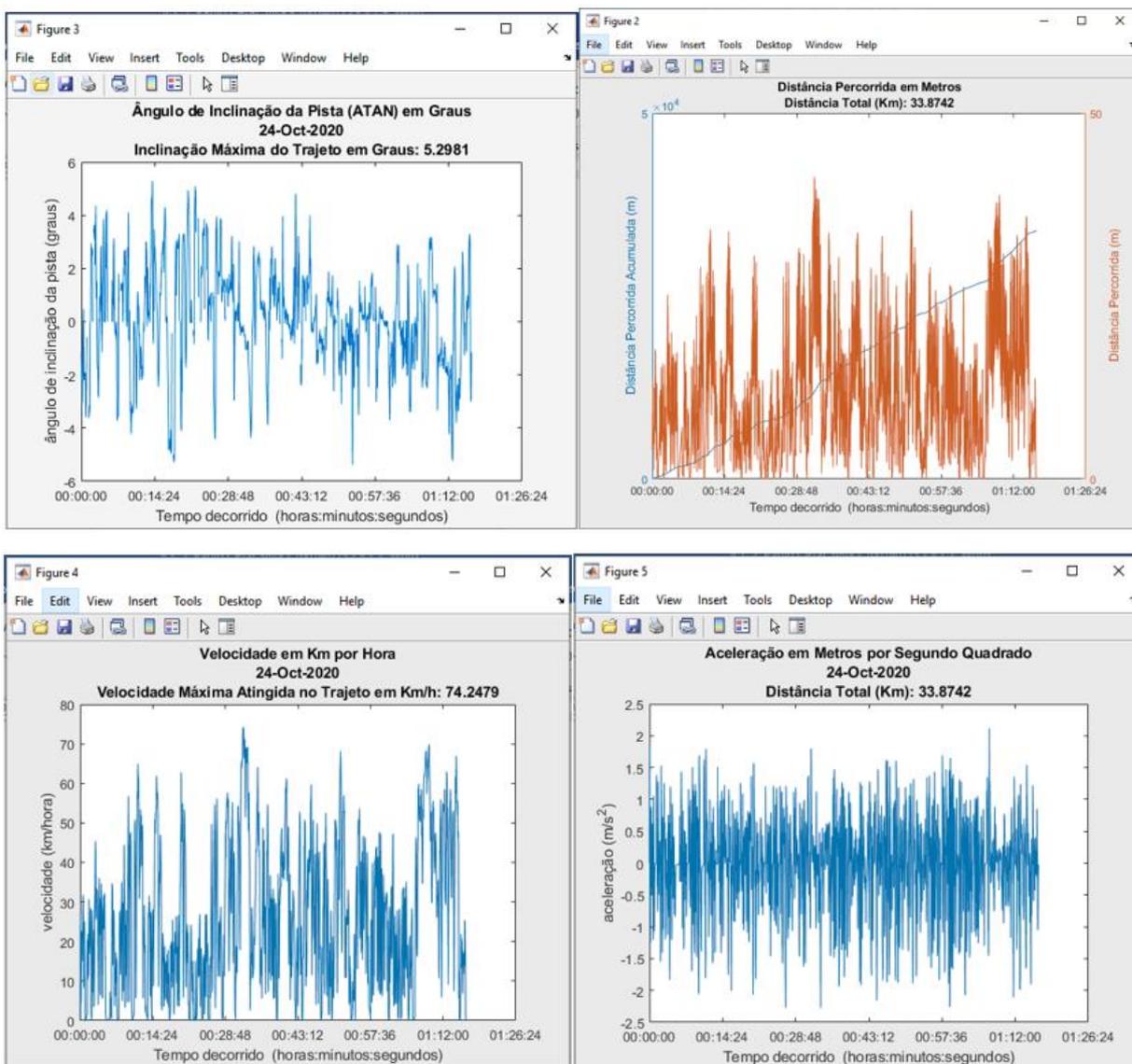
Fonte: o AUTOR (2021)

O gráfico da elevação da área, Gráfico 7, dá uma ideia das variações da geografia local onde o veículo costuma operar diariamente.

Abaixo, a Figura 34 traz um conjunto de gráficos emitidos pelo algoritmo, entre eles, destacamos o gráfico da inclinação da pista, em graus, os gráficos da distância

percorrida, da velocidade e da aceleração desempenhadas a cada instante do trajeto, explicitando o comportamento do veículo na trajetória realizada diariamente pelo usuário.

Figura 32 - Parâmetros obtidos a partir dos dados do arquivo gpx



Fonte: o AUTOR (2021)

Os gráficos de velocidade e aceleração calculados com uso de dados obtidos diretamente de testes de campo, diferentemente do que ocorre com os ciclos de condução padronizados, incorporam em si todos os esforços impostos atuantes sobre o veículo em sua região geográfica de operação, o que permite maior precisão no dimensionamento do sistema de tração do veículo.

6.2.4. Simulação e Resultados

6.2.4.1. Necessidades de Potência e Energia

Os cálculos da simulação foram realizados com o peso total do veículo, massa do veículo + massa total da carga que ele pode carregar segundo o fabricante. Essa definição foi determinada com base na hipótese de que, caso o veículo seja convertido para elétrico para ser utilizado no transporte de passageiros, como é de sua função original, ele exigirá um motor com potência suficiente para impulsionar o veículo com a carga máxima. Nesse sentido, usar uma carga inferior para fazer a simulação e escolher um motor com base nos valores de potência calculados para esse valor de carga significa condenar o veículo à subutilização de seu potencial de carga.

Os demais dados do veículo foram obtidos a partir de sua ficha técnica e resumidos na Tabela 11 abaixo.

Tabela 11 - Dados de entrada do módulo de dimensionamento de potência e energia

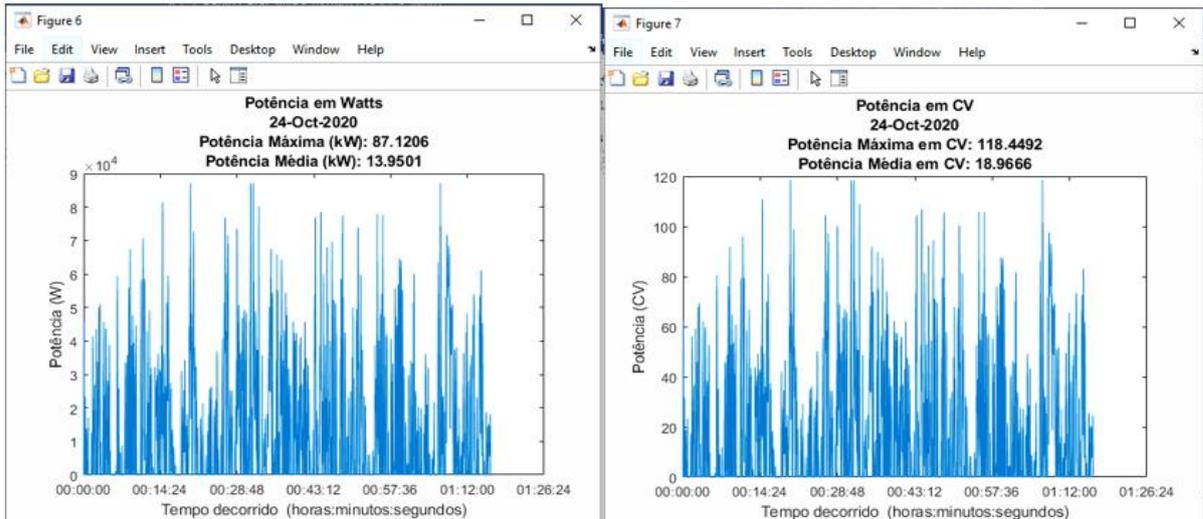
| ENTRADAS | VALORES |
|--------------------|---|
| Cx | 0,7 |
| Massa do Veículo | 3500 (kg) |
| Largura do Veículo | 1,998 (m) |
| Altura do Veículo | 2,450 (m) |
| Arquivo gpx | Dados da trajetória obtidos por meio de GPS |

Fonte: o AUTOR (2021)

Os resultados do módulo de simulação das necessidades de potência e energia do veículo foram computados nos gráficos abaixo.

A potência exigida pelo veículo instante a instante do percurso foi plotada nos gráficos apresentados no Gráfico 8. O primeiro gráfico mostra a potência em kilowatts e, o segundo, em cavalo-vapor. O valor da potência máxima e da potência média foram impressos na parte superior de cada gráfico. O valor da potência em kilowatts será o valor utilizado para a especificação do motor do veículo.

Gráfico 8 - Gráficos da Potência em CV e em Watts

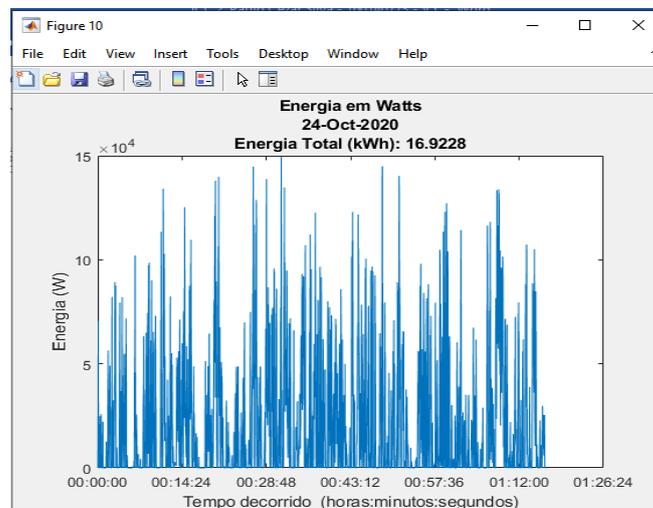


Fonte: o AUTOR (2021)

Como se pode notar, o valor da potência máxima em cavalos-vapor foi de 118,587 cv, o que é um valor razoável para uma simulação em que a carga total do veículo. Nesse caso, para um veículo com 127 cv de potência de fábrica, o desempenho do veículo com sua carga total chegaria perto de atingir o seu valor máximo de potência, o que de fato aconteceria se o veículo tivesse sido exigido um pouco mais em termos de potência e velocidade durante o percurso realizado.

Foram emitidos também os gráficos da energia que seria consumida pelo veículo elétrico para percorrer toda a trajetória analisada. O gráfico 9 traz a energia consumida acumulada ao longo do trajeto e a energia exigida a cada instante do percurso em Watts. Acima da área de plotagem, foi definida a energia total consumida em kWh pelo veículo.

Gráfico 9 - Gráficos da Energia consumida ao longo do percurso



Fonte: o AUTOR (2021)

No caso da energia consumida, seus valores serão fundamentais para o dimensionamento da quantidade de baterias a serem adquiridas para dar ao veículo elétrico a autonomia necessária para a realização de toda a trajetória considerada.

6.2.4.2. Otimização da Quantidade de Baterias

Os dados utilizados como parâmetros das baterias e do carregador foram retirados de Datasheets de fabricantes. Além da função objetivo, dos parâmetros calculados e das restrições, foi acrescentada ao algoritmo uma variável para calcular a quantidade de baterias que o veículo precisaria para armazenar toda a energia necessária para a realização do trajeto sem considerar as paradas para recarregamento. Com isso, teremos um parâmetro de comparação entre o cálculo da quantidade de baterias não otimizado e o cálculo otimizado pelo algoritmo.

Os parâmetros de entrada utilizados na simulação foram resumidos na Tabela 12:

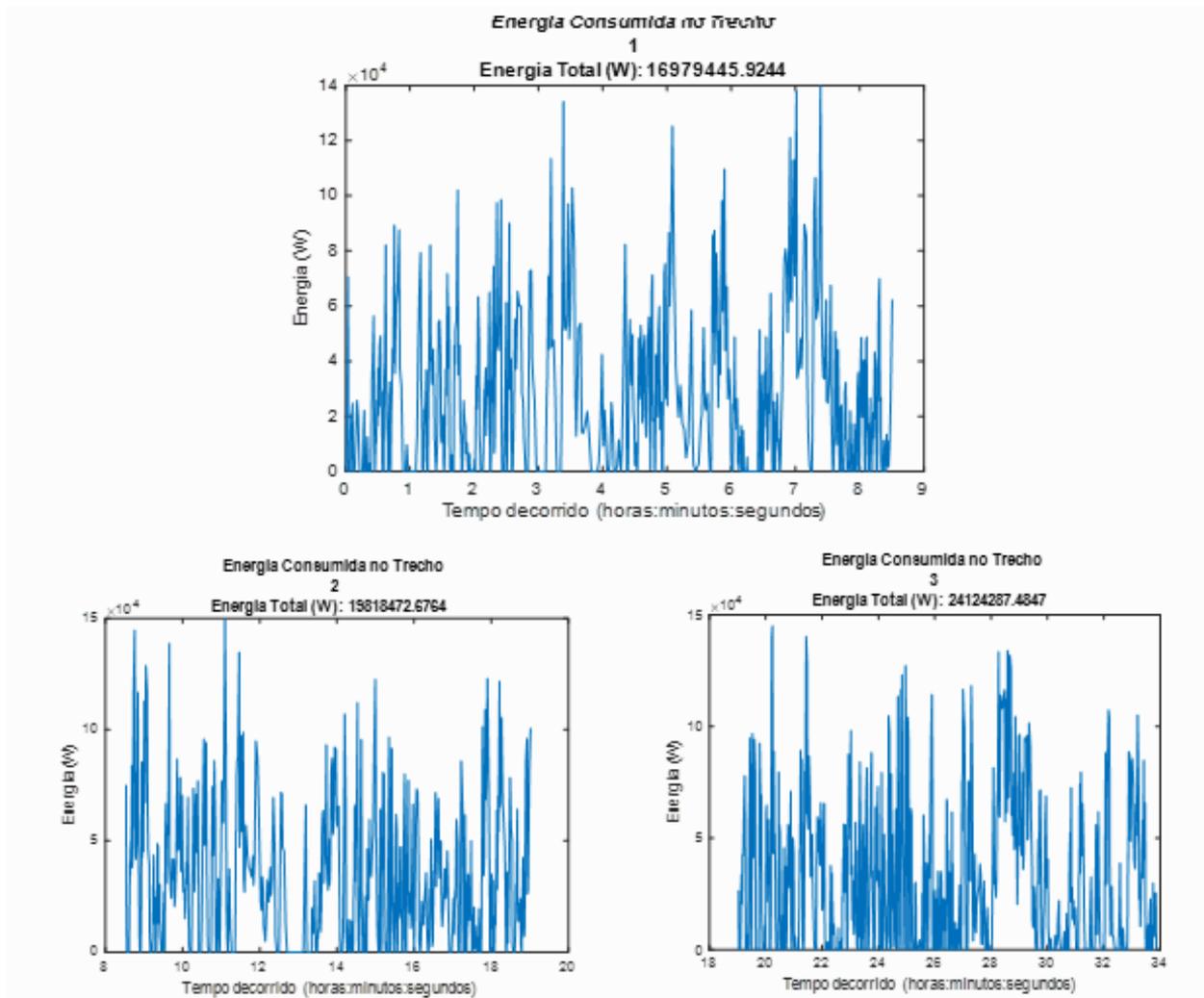
Tabela 12 - Dados de entrada no módulo de otimização de baterias

| ENTRADAS | VALORES |
|--|-----------------|
| Número de Paradas | 4 |
| Tempo de Recarregamento em Cada Parada (Minutos) | [600 100 80 0] |
| Distância entre as Paradas (km) | [8,5 10,5 16] |
| Tensão da Bateria (Volts) | 3,2 |
| Capacidade Nominal da Bateria (Ah) | 50 |
| Dimensão da Bateria (mm) | 152 x 50 x 190 |
| Custo Unitário da Bateria (U\$\$) | 100,00 |
| Capacidade Nominal do Carregador (Ah) | 10 |
| Espaço do Veículo Destinado às Baterias (mm) | 500 x 800 x 500 |
| CS (Coeficiente de Segurança) | 10% |

Fonte: o AUTOR (2021)

Realizada a simulação, o algoritmo plotou os gráficos da energia consumida em cada trecho do percurso a cada instante de movimentação do veículo, apresentando, na Figura 35, os valores totais da energia calculada por trecho.

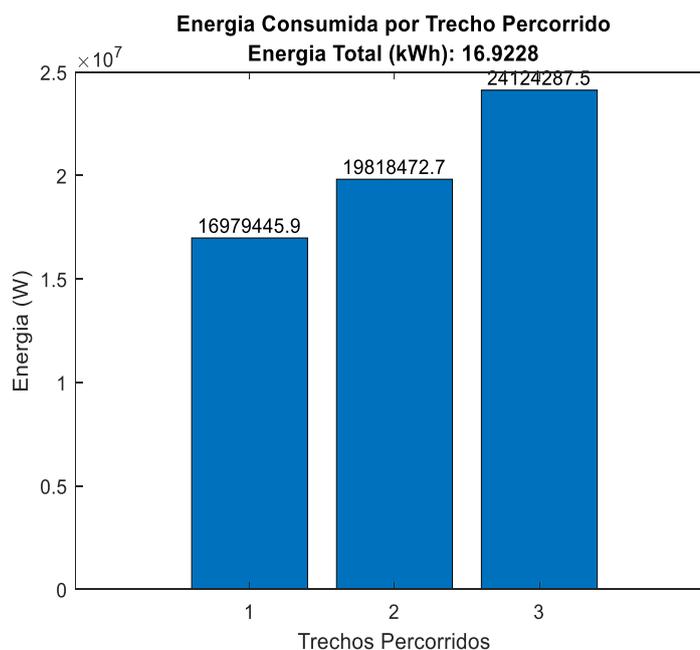
Figura 33 – Energia consumida a cada instante por trecho percorrido



Fonte: o AUTOR (2021)

No Gráfico 10, abaixo, os valores de energia total, em Watts, consumida por trecho percorrido foram plotados em um gráfico de barras, para melhor visualização e comparação dos valores.

Gráfico 10 - Energia total consumida em cada trecho do percurso



Fonte: o AUTOR (2021)

Por fim, o modelo retornou um valor ótimo para a função objetivo de U\$\$ 10.000,00 unidades monetárias, para uma quantidade de 100 baterias a serem adquiridas para o veículo.

Abaixo, a Tabela 13 traz os resultados do módulo de dimensionamento e otimização da quantidade de baterias.

Tabela 13 - Resultados emitidos pelo módulo de dimensionamento da quantidade de baterias

| VALORES CALCULADOS SEM O USO DO ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO | |
|---|-----------|
| Número de Baterias (unidades) | 167 |
| Custo Total (U\$\$) | 16.700,00 |
| VALORES CALCULADOS PELO ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO | |
| Número de Baterias (unidades) | 100 |
| Custo Total (U\$\$) | 10.000,00 |

Fonte: o AUTOR (2021)

O total de baterias calculado para o percurso com a quantidade de energia acima exigida sem considerar paradas para recarregamento foi de 167 baterias, que daria um custo total de U\$\$ 16.700,00 unidades monetárias de dólar, o que corresponde a um valor 67% acima do valor calculado com o módulo de otimização para um trajeto que contenha postos de parada para recarregamento ao longo da estrada.

Por conseguinte, o algoritmo de otimização baseado no Problema de Fluxo de Custo Mínimo reduziu em aproximadamente 40% o número de baterias a serem instaladas no veículo elétrico, considerando possíveis paradas para recarga de energia ao longo da trajetória. Assim, se, sem otimização, o veículo precisaria carregar 16.9228 kWh de energia embarcada, com o modelo de otimização, ele só precisaria carregar 9,97 kWh de capacidade potencial de armazenamento de energia em sua bateria, considerando que, ao longo de sua trajetória, ele poderá obter parte da energia necessária para completar toda a jornada. Por fim, a simulação resultou em uma economia de aproximadamente 40% no custo de aquisição das baterias do veículo.

7. Processo de Conversão da Van

O processo de conversão ocorreu paralelamente ao desenvolvimento da metodologia de dimensionamento de veículos elétricos.

O processo foi realizado a partir do conceito de engenharia simultânea dentro do projeto TECNOMOBILE desenvolvido dentro do campus FGA-Gama da Universidade de Brasília. O desenvolvimento da metodologia de dimensionamento de veículos elétricos, o design e dimensionamento dos sistemas eletroeletrônicos, a desmontagem do veículo e a instalação dos equipamentos elétricos foram realizados por diferentes grupos formados por engenheiros, técnicos e estudantes das mais diversas engenharias, entre elas, a Engenharia Automotiva, a Engenharia de Energia, a Engenharia Eletrônica e a Engenharia de Software. Esses grupos foram divididos em quatro: grupo de Engenharia Automotiva, grupo de Engenharia de Energia, grupo de Engenharia Eletrônica e grupo de Dimensionamento de Baterias.

Cada grupo recebeu uma responsabilidade dentro do projeto. Enquanto o grupo de Engenharia Automotiva ficou responsável pela desmontagem do sistema de tração a combustão da Van e montagem do sistema de tração elétrica, o grupo de Engenharia Eletrônica ficou responsável pelo desenvolvimento da rede CAN e do sistema eletrônico. O grupo de Engenharia de Energia ficou responsável pelo dimensionamento e teste do sistema elétrico, e o grupo de Dimensionamento de Baterias ficou responsável pelo desenvolvimento da metodologia de dimensionamento do conjunto de baterias e das necessidades de potência e energia do veículo elétrico, aquisição das baterias, documentação dos trabalhos e busca de parcerias e fornecedores de componentes auxiliares. Todas as atividades dos diferentes grupos ocorreram ao mesmo tempo. Com

isso, pretendeu-se ganhar rapidez e flexibilidade no dimensionamento, instalação e teste dos componentes elétricos e dos sistemas de controle.

A seguir, descrevemos o processo de escolha dos componentes elétricos, de desenvolvimento de componentes e sistemas auxiliares e de desmontagem do sistema de tração a combustão do veículo e montagem do sistema de tração elétrica. Todas as ações de dimensionamento de componentes, aquisições e processos de trabalho foram realizados por todos os integrantes dos grupos do projeto. Todas as imagens e processos de trabalho abaixo descritos foram obtidos junto ao acervo do projeto TECNOMOBELE construído ao longo do desenvolvimento do projeto.

7.1. Definição dos Componentes do Sistema de Tração Elétrica

7.1.1. Motor

O dimensionamento das necessidades de potência e energia para a Van convertida para elétrica, segundo o trajeto da Van Escolar realizado e sumarizado em dados obtidos em testes de campo, retornou os resultados da Tabela 14:

Tabela 14 - Resultados obtidos no dimensionamento da potência da Van

| PARÂMETRO | VALOR (kW) | VALOR (cv) |
|-----------------|------------|------------|
| Potência Média | 13,9674 | 18,5670 |
| Potência Máxima | 87,2072 | 118,9901 |

Fonte: o AUTOR (2021)

Esses resultados, entretanto, não podem ser utilizados de forma crua para a escolha do motor elétrico. No mínimo, a escolha do motor elétrico deve levar em consideração um fator de eficiência do sistema mecânico do veículo e do motor elétrico (TANAKA, 2013), o que pode ser resumido pela equação:

$$P_m = \frac{P_t}{\eta_t}$$

Em que:

P_m = Potência do motor elétrico;

P_t = Potência de tração;

η_t = Eficiência do sistema de tração do veículo.

É possível, ainda, precisar ainda mais esse dimensionamento por meio da introdução do torque e da potência exigidos pelo veículo em ordem de marcha, dos valores de inércia dos componentes do sistema de tração e da rotação dos pneus em função da relação de marchas do veículo (TANAKA, 2013). Entretanto, a metodologia de dimensionamento desenvolvida foi criada para ser utilizada quando não se tem acesso a informações do veículo com o detalhamento que muitas vezes apenas os fabricantes possuem e hesitam em divulgar para os consumidores. Assim, para contornar essa situação, foi utilizado um fator de 95% como valor para o parâmetro de eficiência do sistema de tração e do motor elétrico. Um fator de 5% já havia sido considerado durante o cálculo da potência de tração exigida pelo veículo em seu trajeto. Esse fator fora inserido no cálculo da Força de Resistência à Aceleração. Nesse sentido, não é preciso um fator maior que 95% para o cálculo da potência final a considerar na escolha do motor.

Assim, a Tabela 15 abaixo resume os dados atualizados para a determinação do motor elétrico a ser escolhido para a Van:

Tabela 15 - Resultados obtidos no dimensionamento da potência da Van

| PARÂMETRO | VALOR (kW) | VALOR (cv) |
|-----------------|------------|------------|
| Potência Média | 14,70 | 19,54 |
| Potência Máxima | 91,80 | 125,25 |

Fonte: o AUTOR (2021)

Assim, o motor elétrico ideal definido para a Van realizar o trajeto simulado deverá ter uma potência média mínima de 15 kW e uma potência de pico de aproximadamente 92 kW. Esses dados, lembrando, foram calculados considerando a carga total do veículo: massa da Van + massa da carga.

A escolha do motor da Van em processo de conversão, entretanto, por questões financeiras, foi realizada considerando a potência média, mas não a potência de pico, que ficou abaixo da potência de pico dimensionada para o motor.

As principais características do motor adotado são resumidas na Tabela 16 apresentada abaixo:

Tabela 16 - Características do motor elétrico CA do tipo Gaiola de Esquilo da WEG

| PARÂMETRO | VALOR | UNIDADE |
|---------------------------|-------|---------|
| Saída | 30 | kW |
| Potência de Pico | 60 | kW |
| Tensão Nominal da Bateria | 230 | V |
| Tensão Mínima da Bateria | 0 | V |
| Tensão Máxima da Bateria | 0 | V |
| Corrente Padrão | 154 | A |
| Corrente Mínima | 60 | A |
| Corrente Máxima | 430 | A |
| Velocidade Padrão | 4560 | rpm |
| Velocidade Máxima | 9000 | rpm |
| Torque Padrão | 62,9 | Nm |
| Torque de Pico | 125 | Nm |

Fonte: Acervo do projeto TECNOMOBILE (2021)

Embora a potência média do motor elétrico adquirido fique acima da potência média calculada para a Van, sua potência de pico fica bem abaixo do valor dimensionado para o mesmo parâmetro. Ademais, segundo o fabricante, o motor escolhido tem uma eficiência de 90,5%. Portanto, não é o motor ideal para a Van realizar o transporte da carga para a qual foi projetada dentro do trajeto simulado, mas pode ser suficiente para permiti-lhe deslocar-se sem grandes dificuldades carregando o motorista e mais um passageiro. Abaixo, na Figura 36, segue imagem com foto do motor escolhido.

Figura 34 - Motor CA M01 WEG Gaiola de Esquilo: a) Vista lateral; b) Vista superior



Fonte: Acervo do projeto TECNOMOBILE (2021)

7.1.2. Inversor

A determinação do tipo de inversor a se adquirir depende do tipo de motor elétrico utilizado. A potência do inversor ou conversor de potência pode ser calculada pela equação (TANAKA, 2013):

$$P_{cc} = \frac{P_m}{\eta_m}$$

Em que:

P_{cc} = Potência do conversor/inversor;

P_m = Potência do motor elétrico;

η_m = Eficiência do motor elétrico.

Entretanto, esse cálculo não precisa ser realizado pelo adquirente do motor elétrico. Via de regra, as empresas fabricantes de motores elétricos também fabricam inversores e conversores de potência e indicam o inversor/conversor ideal para ser utilizado com o motor escolhido pelo cliente. Mesmo quando o fabricante do motor não fabricar também o conversor/inversor, em geral, ele indica qual tipo de conversor ou de inversor deve ser utilizado com o motor por ele fabricado, para que o equipamento possa ser adquirido de um terceiro fornecedor.

Por conta disso, em vez de dimensionar o inversor, foi escolhido um inversor de frequência indicado pela fabricante do motor adquirido como o inversor ideal para o motor. Assim, obteve-se o inversor WEG de modelo CVW500 apresentado na Figura 37.

Figura 35 - Inversor de frequência WE CVW500



Fonte: Manual do Usuário - Inversor CVW500 WEG

Abaixo, a Tabela 17 traz as principais características do inversor escolhido:

Tabela 17 - Características principais do Inversor WEG CVW500

| CARACTERÍSTICA | VALOR NOMINAL | UNIDADE |
|----------------------------|---------------|---------|
| Faixa de Tensão | 130 a 400 | Vcc |
| Corrente de Saída | 275 | A |
| Corrente de Sobrecarga | 500 | A |
| Frequência Máxima de Saída | 500 | Hz |
| Proteção | IP66 | |
| Peso | 15 | kg |

Fonte: Acervo do projeto TECNOMOBELE (2021)

O Manual do Inversor CVW500 já traz consigo indicações para a escolha de contactores, resistores e fusíveis de proteção para o sistema inversor/motor e para o cabeamento elétrico.

A parametrização do inversor deve ser realizada por meio do software WPS, da própria fabricante, e do protocolo CAN desenvolvido dentro do próprio projeto TECNOMOBELE. A parametrização do inversor tem por função o controle e monitoramento do sistema motor-inversor. Ela é realizada por meio da inserção dos dados do motor, como sentido de giro, tempo de aceleração e desaceleração, velocidade, torque máximo, fluxo do motor, tensão do motor e tensão da bateria, de modo a indicar ao controlador do inversor como o motor elétrico deverá funcionar.

Se antigamente o controlador do motor era adquirido à parte, atualmente, as fabricantes de conversores e inversores já integram ao seu equipamento o módulo de controle do motor elétrico (TANAKA, 2013).

O inversor CVW500 WEG já traz consigo um controlador que funciona tanto por meio de controle vetorial quanto escalar. O controle vetorial com *encoder* separa a corrente em dois componentes, quais sejam: a) Corrente direta I_d (orientada com o vetor de fluxo eletromagnético do motor); b) Corrente de quadratura I_q (perpendicular ao vetor de fluxo do motor). Esse método permite o controle do motor tanto por meio da velocidade quanto por meio do torque (Manual do Usuário - Inversor CVW500 WEG). Já o controle escalar é um controle simples baseado em uma curva que relaciona a frequência e a tensão no motor para cada ponto de operação. O inversor funciona como uma fonte de tensão gerando valores de frequência e tensão de acordo com esta curva.

Entretanto, esse modo de controle só deve ser utilizado para testes simples, não para tração (Manual do Usuário - Inversor CVW500 WEG).

O inversor CVW500 WEG também traz consigo parâmetros que permitem a conexão do sistema controlador/inversor com o protocolo CAN. Por conta disso, foi desenvolvido um protocolo CAN que será interligado ao controlador/inversor, de modo a integrar esses componentes ao sistema geral de monitoramento e controle dos subsistemas da Van.

7.1.3. Baterias

O conjunto de baterias simulado pelo algoritmo desenvolvido em Matlab dimensionou, por meio do módulo de otimização de baterias, um valor de 100 baterias como a quantidade necessária para a Van no caso de haver dois pontos de parada para recarregamento da Van ao longo de seu trajeto, reduzindo os custos de aquisição de baterias. No entanto, no caso de utilização da Van no trajeto analisado sem postos de recarga, ou seja, para que ela possa percorrer todo o percurso de 34 km com uma única recarga, a Van precisaria de 167 baterias de 3,2 V e 50 Ah.

Entretanto, como a Van convertida experimentalmente não tem por objetivo percorrer essa distância, mas servir de laboratório para conversão de outras Van's futuramente, optou-se por utilizar apenas 64 baterias de 3,2 V e 50 Ah que já estavam à disposição do projeto. A Figura 38 mostra a bateria utilizada.

Figura 36 - Bateria de Lítio-Ferro-Fosfato (LIFEPO4) HIPOWER



Fonte: Acervo do projeto TECNOMOBELE (2021)

Essa bateria tem como característica principais os dados apresentados na Tabela 18:

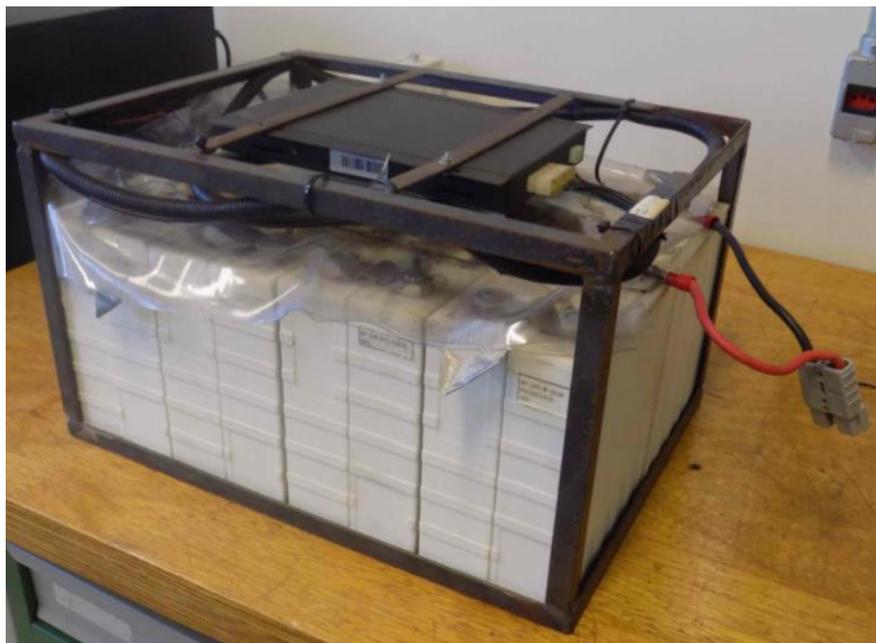
Tabela 18 - Características da bateria LIFEPO4 adquirida

| CARACTERÍSTICA (un.) | VALOR |
|---------------------------------|----------------|
| Dimensões Externas LxWxH (mm) | 152 x 50 x 190 |
| Peso (kg) | 1,89 |
| Tensão de Carga (V) | 3,65 |
| Corte de Tensão de Carga (V) | 3,65 |
| Corrente Padrão (A) | 50 |
| Corrente Máxima (A) | 100 |
| Tensão de Descarga (V) | 3,2 |
| Corte de Tensão de Descarga (V) | 2,5 |
| Corrente Padrão (A) | 16,7 |
| Corrente de Pico Máxima (A) | 150 |

Fonte: Acervo do projeto TECNOMOBELE (2021)

As células de baterias foram alocadas em 4 módulos contendo 16 células/baterias cada um. Cada módulo tem seu próprio sistema de monitoramento, baseado no uso de BMS (*Battery Management System*) e do Concentrador BMS-HUB, e foi construído com utilização de uma grade de ferro para servir de proteção física para as baterias. A Figura 39 apresenta um dos módulos de baterias.

Figura 37 - Módulo de baterias dentro da grade de proteção; acima das células, o BMS do módulo



Fonte: Acervo do projeto TECNOMOBILE (2021)

As características de cada módulo são apresentadas na Tabela 19:

Tabela 19 - Dados do módulo de baterias

| CARACTERÍSTICA (un.) | VALOR |
|----------------------|-----------------|
| Tensão Total (V) | 50 |
| Energia (kWh) | 2,5 |
| Peso (kg) | 34,7 |
| Tamanho LxWxH (mm) | 310 x 410 x 200 |

Fonte: Acervo do projeto TECNOMOBILE (2021)

Um sistema de gerenciamento do banco de baterias foi desenhado para promover um controle uniforme de todo o conjunto. Abaixo, passamos à descrição desse sistema.

7.1.4. Sistema de Gerenciamento de Bateria (BMS)

O Sistema de Gerenciamento de Bateria ou BMS (*Battery Management System*) escolhido para o monitoramento do conjunto de baterias é do tipo passivo. Sem muita tecnologia embarcada, ele monitora a tensão e a temperatura do conjunto de baterias e realiza o balanceamento da carga por meio de um resistor, mas não bloqueia a passagem

da corrente de carga ou descarga. A Figura 40 mostra imagem do BMS utilizado em cada módulo de bateria.

Figura 38 – Sistema de Gerenciamento de Bateria (BMS)



Fonte: Acervo do projeto TECNOMOBELE (2021)

Para conectar todos os BMS's, um de cada módulo de bateria, foi utilizado um concentrador BMS-HUB (Figura 41), com o objetivo de fazer a conexão entre o conjunto de baterias e o protocolo CAN e promover um gerenciamento geral do conjunto de baterias, de modo que possa haver um trabalho mais harmonioso entre os quatro BMS's.

Figura 39 - BMS HUB



Fonte: Acervo do projeto TECNOMOBELE (2021)

Para visualizar os parâmetros do conjunto de baterias foi utilizado um display HMI. O display HMI conectado ao aparelho de BMS mostra dados de cada célula de bateria durante o momento de recarga, a tensão, a corrente do conjunto e a temperatura dos módulos, facilitando o monitoramento de todo o conjunto. A Figura 42 apresenta a interface HMI.

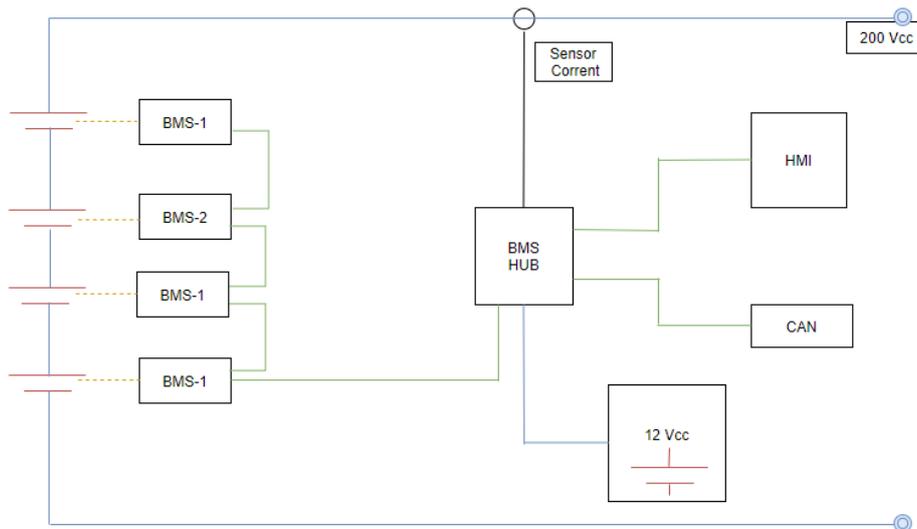
Figura 40 - Display HMI monitora tensão, corrente e temperatura



Fonte: Acervo do projeto TECNOMOBELE (2021)

A Figura 43 abaixo mostra o esquema do sistema de monitoramento e controle do conjunto de baterias e como os componentes acima foram relacionados.

Figura 41 - Esquema do sistema de gerenciamento do banco de baterias



Fonte: Acervo do projeto TECNOMOBELE (2021)

Com o esquema acima desenhado, espera-se monitorar o conjunto de baterias e evitar possíveis danos às células causados por altas temperaturas ou cargas ou descargas fora dos padrões especificados pelo fabricante.

7.2. Componentes e Sistemas Auxiliares

7.2.1. Componentes Adquiridos

7.2.1.1. Bomba de Vácuo

A Van original a Diesel possuía uma bomba de vácuo para controle do servo freio que era controlada pelo motor a combustão. Ao retirar o motor a combustão e instalar o motor elétrico, foi necessária a aquisição de uma bomba de vácuo elétrica, de modo a substituir o hidrovácuo do servo freio antigo pelo novo sistema de hidrovácuo elétrico conectado ao freio hidráulico original (KHALIL et all, 2021). A Figura 44 mostra a bomba de vácuo elétrica usada no novo sistema do servo freio.

Figura 42 - Bomba de vácuo



Fonte: Acervo do projeto TECNOMOBELE (2021)

Essa substituição se fez necessária porque o hidrovácuo hidráulico era mecanicamente operado pelo motor a Diesel. Com a substituição do motor a combustão por elétrico, quando o motor elétrico está parado, o hidrovácuo hidráulico deixa de funcionar, diminuindo a segurança do veículo. A troca do hidrovácuo hidráulico por uma bomba de vácuo elétrica elimina a dependência do sistema de freios do motor de tração, permitindo seu funcionamento mesmo em momentos em que o motor de tração não está funcionando. Um sensor foi adquirido para monitorar a pressão de vácuo da bomba, com o objetivo de que ele envie um sinal para o controlador, que compara o sinal recebido

com um valor ótimo pré-definido, a fim de analisar se o sistema está funcionando como esperado (KHALIL et all, 2021)

7.2.1.2. Bomba de Água

O sistema de refrigeração original da Van foi desenhado para combater uma perda de calor de aproximadamente 65 kWh. Por outro lado, o novo sistema de tração, com um motor elétrico com mais de 90% de eficiência, perde apenas 3 kWh em forma de calor, de modo que o novo sistema de arrefecimento deve ser dimensionado apenas para a retirada de 3 kWh de calor do motor elétrico e do inversor de frequência (KHALIL et all, 2021). Para tal, foi adquirida uma bomba d'água cujas características deveriam atender às especificações de perda de calor do motor elétrico e do inversor de frequência descritas na Tabela 20 abaixo.

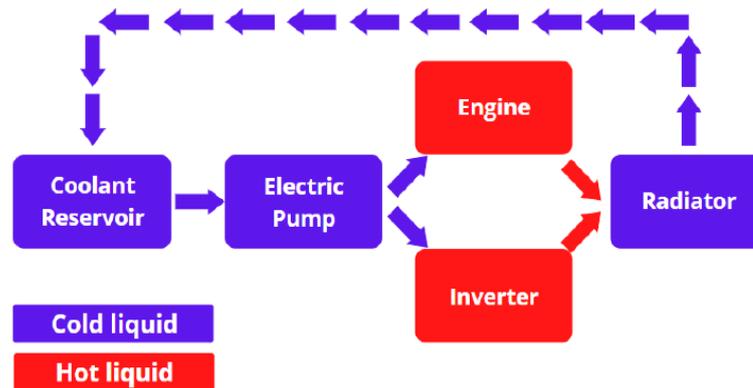
Tabela 20 - Características da geração de calor pelo motor elétrico e pelo inversor de frequência

| COMPONENTE | CARACTERÍSTICAS |
|---------------------|-----------------|
| MOTOR VE-M01 | 60 kW |
| Fluxo máximo | 18 L/min |
| Fluxo mínimo | 2,0 bar |
| INVERSOR CVW500 | 1,75 – 3,6 kW |
| Fluxo mínimo | 8 L/min |
| Fluxo máximo | 20 L/min |
| Pressão de trabalho | 0,5 – 2,0 bar |
| Pressão máxima | 2,5 bar |

Fonte: KHALIL et all (2021)

A bomba d'água foi inserida no novo sistema de arrefecimento desenhado especificamente para resfriamento do sistema motor-inversor. O sistema de arrefecimento da Van a diesel original foi retirado parcialmente, restando o aproveitamento do radiador original para composição do novo sistema de resfriamento. O novo sistema é composto pela bomba d'água, reservatório de fluido, motor e inversor e radiador (KHALIL et all, 2021), conforme Figura 45.

Figura 43 - Sistema de arrefecimento do veículo elétrico



Fonte: KHALIL et all (2021)

No sistema acima, o líquido frio do reservatório é forçado a circular pelo sistema por meio da bomba d'água, e ao passar pelo inversor e pelo motor elétrico, ele retira calor desses dois componentes e leva para o radiador, onde ocorre troca de calor com o meio, resfriando o líquido, que retorna novamente para o reservatório (KHALIL et all, 2021). Esse sistema se torna efetivo na medida em que não precisa retirar a mesma quantidade de calor que antes era produzida pelo motor a combustão original da Van.

7.2.1.3. Assistente de Direção Elétrico

Uma coluna de direção elétrica do Volkswagen UP foi utilizada no sistema de direção da Van convertida para elétrica. Originalmente, a Van possuía sistema de direção hidráulica, cujo funcionamento era auxiliado por uma bomba de óleo sustentada pelo motor a combustão. Com a retirada do motor a combustão, foi necessário substituir a bomba de óleo por um sistema elétrico, que passou a compor o sistema de direção (KHALIL et all, 2021).

O novo sistema elétrico de assistência da direção hidráulico foi retirado do Volkswagen UP e adaptado ao sistema de direção da Van, criando, assim, um sistema elétrico hidráulico de direção que, não só é mais eficiente que o original, como também utiliza menos energia durante operação, haja vista que sua demanda por energia ocorre apenas quando o sistema é requisitado, ao contrário do sistema original, cuja demanda por energia era constante, independente de estar ou não em movimento operacional (KHALIL et all, 2021). A Figura 46 apresenta a coluna de direção do UP.

Figura 44 - Coluna de direção elétrica do Volkswagen UP adaptada



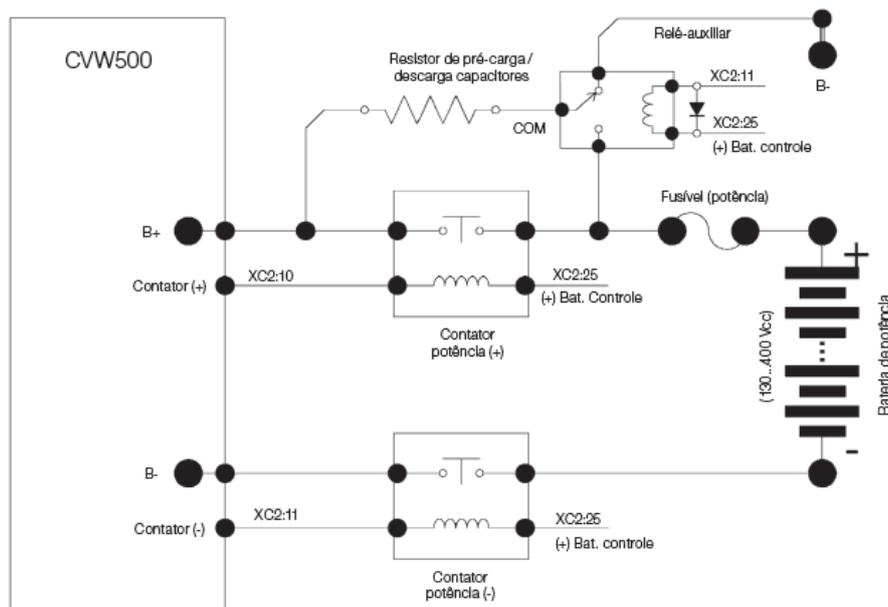
Fonte: Acervo do projeto TECNOMOBILE (2021)

7.2.1.4. Contator de Potência

A corrente máxima de bobina suportada pela eletrônica para os contadores não deve ultrapassar 1,5 A (Manual do Usuário - Inversor CVW500 WEG). Para proteger o sistema de danos, sempre que houver uma falha, o inversor irá comandar automaticamente a abertura dos contadores de potência, de modo a desacoplar ou conjunto de baterias do circuito de potência do inversor e realizar a pré-carga e a descarga rápida do capacitor que se encontra dentro do inversor.

Foram adquiridos dois contadores de potência, que foram montados segundo o esquema da Figura 47 abaixo. As especificações dos contadores de potência são determinadas pelo próprio fabricante do inversor de frequência.

Figura 45 - Esquema de montagem dos contatores de potência no sistema bateria-inversor



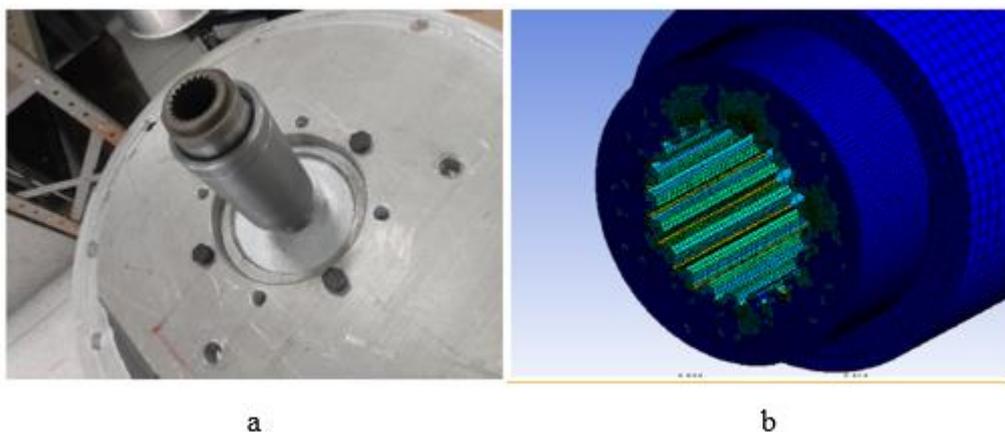
Fonte: Acervo do projeto TECNOMOBILE (2021)

7.2.1.5. Eixo de Acoplamento do Conjunto Motor-Transmissão

A conexão entre o motor elétrico e a transmissão exigiu o dimensionamento de um eixo de acoplamento e um prato de acoplamento a ser fixado na caixa de transmissão capazes de suportar a carga de torção provocada pelo movimento giratório do motor elétrico e a inércia do sistema de transmissão que impunha um momento contrário à carga de torção produzida pelo torque do motor.

O eixo dimensionado deveria suportar um torque de pico de 125 Nm advindo do motor elétrico. O dimensionamento foi realizado por meio de simulação no software Ansys 2018 com uma malha com maioria dos elementos próxima de 1 (quanto mais perto de 1 a qualidade do elemento de malha, melhor a malha) (KHALIL et al, 2021). O material utilizado na simulação e na fabricação do eixo foi o aço SAE 1045, cujo limite de escoamento é de 310 MPA. A simulação, no entanto, retornou um valor máximo de Stress de von-Mises de 22,5 MPA (KHALIL et al, 2021). O resultado foi um eixo com um fator de segurança de 13,77 e uma deformação máxima de $6,1 \times 10^{-8}$ metros, valor muito baixo para o material utilizado (KHALIL et al, 2021). A Figura 55 apresenta o eixo e o prato de acoplamento de um lado e, do outro, a malha utilizada na simulação numérica da resistência do eixo.

Figura 46 - (a) Flange de suporte do motor, prato de fixação e acoplamento do eixo; (b) Qualidade dos elementos da malha obtida na simulação numérica do eixo



Fonte: KHALIL et all (2021)

Considerando o limite de ruptura do material de 565 MPA e os esforços a que o eixo será submetido, pode-se concluir que o torque produzido pelo motor não levará o eixo à ruptura (KHALIL et all, 2021).

7.3. Processo de Montagem do Veículo Elétrico

7.3.1. Desmontagem do Veículo

A primeira fase do processo de conversão correspondeu à desmontagem da Van e a retirada do sistema de tração a combustão e seus componentes periféricos, tais como motor, sistema de arrefecimento, linha de abastecimento, sistema de exaustão e tanque de combustível. A Figura 56 mostra a frente da Van desmontada.

Figura 47 - Van Peugeot Boxer Longa 2.8 HDI 2008 com a frente desmontada



Fonte: Acervo do projeto TECNOMOBILE (2021)

Enquanto alguns componentes foram retirados e descartados, outros foram reutilizados ou substituídos por componentes similares, mas com especificações que atendiam melhor às necessidades do sistema de tração elétrica instalado no veículo. O Quadro 12 mostra os componentes que foram retirados ou removidos do veículo.

Quadro 9 - Componentes removidos e adaptados da Van

| COMPONENTE | PROCEDIMENTO |
|---|--------------|
| Motor de combustão interna | Removido |
| Filtro e linha de ar | Removido |
| Reservatório de expansão | Reutilizado |
| Sistema de exaustão, silenciosos e tubulações | Removido |
| Tanque de gás e mangueiras | Removido |
| Embreagem | Removido |
| Bomba d'água | Substituído |
| Direção hidráulica | Removido |
| Bomba de vácuo | Substituído |
| Ar condicionado | Removido |
| Radiador | Reutilizado |
| ECU | Removido |
| Coluna de direção | Adaptado |

Fonte: KHALIL et all (2021)

7.3.2. Instalação do Motor Elétrico

Após a retirada do sistema a combustão, a frente do veículo foi desmontada e, o motor elétrico, instalado, acoplado à transmissão, e suportado por um “berço” construído para dar-lhe sustentação. A Figura 57 mostra o motor elétrico instalado no veículo.

Figura 48 - Motor elétrico acoplado à caixa de marchas, à direita, e sustentado pelo “berço”, à esquerda



Fonte: Acervo do projeto TECNOMOBELE (2021)

O encaixe do motor elétrico na caixa de marchas exigiu o desenvolvimento de um prato e de um eixo de acoplamento (citados no tópico anterior), para conectar a saída do motor à entrada da caixa de marchas (KHALIL et all, 2021). O motor foi fixado tanto na parte de cima quanto na parte de baixo, enquanto a caixa de marchas foi fixada na parte superior, de modo a evitar oscilações dos componentes.

A Figura 58 mostra um teste de determinação da posição de acoplamento do motor elétrico no câmbio.

Figura 49 - Teste de acoplamento e fixação do motor elétrico no câmbio



Fonte: Acervo do projeto TECNOMOBELE (2021)

7.3.3. Conversão do Câmbio Manual em Automático

O câmbio foi alterado para melhor adaptação ao novo motor. Foram removidas tanto a quinta marcha quanto a marcha a ré e retirada a embreagem. Assim, o câmbio tornou-se manual, mas sem embreagem, sem marcha ré e quinta marcha. A movimentação do veículo em ré será realizada pela inversão da rotação do motor elétrico (KHALIL et all, 2021). A Figura 59 apresenta o trabalho de manutenção e modificação do câmbio.

Figura 50 - Modificação do câmbio



Fonte: KHALIL et all (2021)

7.3.4. Sistema de Direção

O sistema de direção foi adaptado levando em consideração a ideia de reaproveitamento do máximo de peças possível da Van original. Como a direção a ser instalada era elétrica, foi retirado todo o sistema hidráulico da direção original: bomba, reservatório e mangueiras. Em seguida, foi feito um *by-pass*, para manter a lubrificação da caixa de direção. Na troca da direção, por fim, foi aproveitada a cruzeta da Van original. A cruzeta foi adicionada à coluna de direção elétrica do Volkswagen Up e a parte superior da direção foi mantida como estava, instalando apenas a parte inferior da coluna de direção do Volkswagen Up na Van já convertida para elétrica (Acervo do projeto TECNOMOBILE, 2021).

Essa modificação foi necessária porque a direção hidráulica original tinha seu funcionamento operado pelo funcionamento do motor a Diesel. Com a substituição do motor a Diesel por um elétrico, sempre que a Van estivesse parada e, portanto, o motor elétrico estivesse parado, a movimentação da direção ficaria dificultada, exigindo grande

esforço do motorista para ser girada. Com a direção elétrica, alimentada por 12 V, essa dificuldade deixa de existir (Acervo do projeto TECNOMOBILE, 2021).

8. Homologação

Esse capítulo tem por objetivo a descrição da legislação de trânsito brasileira referente à homologação de veículos a combustão convertidos para elétrico e levantar os custos relacionados ao processo de homologação.

8.1. Sistema Nacional de Trânsito

O Código de Trânsito Brasileiro (CTB), criado pela Lei 9.503/1997 em substituição ao antigo Código Nacional de Trânsito instituído pela Lei 5.108/1966, estabelece as regras básicas de trânsito e institui o Sistema Nacional de Trânsito, responsável pela organização, regulação e gestão de todo o trânsito brasileiro, incluindo regras de conduta e normas de regulação veicular. É a partir da análise do Sistema Nacional de Trânsito que descreveremos a legislação referente à conversão de veículos a combustão para elétrico.

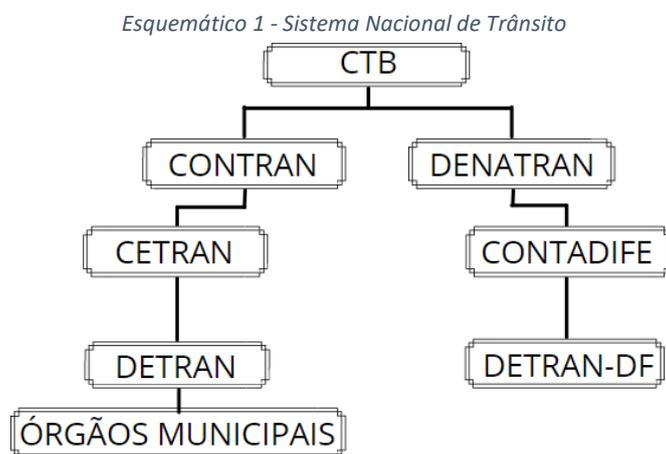
O Sistema Nacional de Trânsito instituído pelo Código de Trânsito Brasileiro é um conjunto de órgãos e entidades da União, Distrito Federal, Estados e Municípios cujos objetivos consistem em planejar, administrar, normatizar, pesquisar, registrar e licenciar veículos, além de gerenciar a formação, habilitação e reciclagem de condutores, a educação, engenharia e a operação do sistema viário, além do policiamento, fiscalização, julgamento de infrações e de recursos e aplicação de penalidades.

Em outras palavras, o Sistema Nacional de Trânsito tem por objetivo principal estabelecer as diretrizes da Política Nacional de Trânsito e fiscalizar o seu cumprimento, com vistas à segurança, fluidez, conforto e defesa do meio ambiente relacionado ao trânsito.

Para alcançar seus objetivos, o Sistema Nacional de Trânsito divide-se em três grandes instituições estabelecidas pelo Código de Trânsito Brasileiro, são elas: o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), o Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN), os Conselhos Estaduais de Trânsito (CETRA) e o Conselho de Trânsito do Distrito Federal (CONTRADIFE), além dos órgãos municipais. O CONTRAN e o DENATRAN são responsáveis pelas normatizações nacionais de trânsito, enquanto os órgãos estaduais e municipais ficam responsáveis pelo detalhamento e fiscalização das

regras de trânsito. Os Departamentos de Trânsito estaduais (DETRAN), por sua vez, são submetidos aos Conselhos Estaduais de Trânsito e têm por missão a execução e fiscalização das regras de trânsito dentro dos estados.

Em termos de hierarquia, os órgãos municipais submetem-se aos órgãos estaduais, DETRAN's, CETRAN's e CONTRADIFE, que, por sua vez, submetem-se ao DENATRAN, que é subjugado ao CONTRAN. Acima do CONTRAN está o Código de Trânsito Brasileiro (CTB). O caminho a ser realizado para a homologação do veículo convertido para elétrico deve seguir as determinações do Código de Trânsito Brasileiro, do CONTRAN, do DENATRAN e do DETRAN do estado onde o veículo se encontra, obedecendo à regulamentação do CETRAN ou do CONTRADIFE. A hierarquia descrita está resumida no Esquemático 1.



Fonte: o AUTOR (2021)

Abaixo, passamos à análise das legislações relacionadas à homologação de veículo a combustão convertido para elétrico.

8.2. Código de Trânsito Brasileiro - CTB

O Código de Trânsito Brasileiro é o responsável pelo estabelecimento das normas mais básicas a serem seguidas pelos agentes envolvidos no trânsito nacional. Em se tratando de veículos de transporte, o artigo 96 caracteriza os tipos de veículo quanto à tração, à espécie e à categoria.

Em relação à tração, os veículos podem ser classificados em: veículos automotores, elétricos, de propulsão humana, de propulsão animal e a reboque ou semirreboque.

Em relação à espécie, os veículos podem ser de: passageiro, de carga ou misto.

Quanto à categoria, os veículos podem ser classificados em: oficial, de representação diplomática, particular, de aprendizagem ou de aluguel.

A Van Peugeot HDI 2.8 2008 Diesel objeto desse projeto pode ser classificada:

- a) quanto à tração: veículo automotor;
- b) quanto à espécie: veículo misto (uma vez que pode transportar tanto carga quanto passageiros);
- c) e, quanto à categoria: veículo particular.

Em resumo, a Van citada é classificada como: veículo automotor misto particular.

8.3. Conversão de Tração Veicular no Código Brasileiro De Trânsito

Uma vez que o veículo esteja classificado como veículo automotor a combustão, para ser convertido para tração elétrica, ele precisa, antes de mais nada, de autorização prévia do órgão competente para a realização de modificações nas características de fábrica do veículo (Art. 98 do CTB).

Uma vez realizada a conversão do veículo, ou qualquer outro tipo de modificação nas características de fábrica do veículo, segundo o artigo 106 do CTB, será exigido, para licenciamento e registro do veículo adulterado, certificado de segurança expedido por instituição técnica credenciada por órgão ou entidade de metrologia legal, segundo regras estabelecidas pelo CONTRAN.

Quanto aos detalhes relacionados à conversão de um veículo a combustão para elétrico, resoluções do Contran e do Denatran estabelecem os procedimentos e as exigências documentais necessárias à homologação do veículo transformado.

8.4. Resolução Contran 291/2008

A Resolução 291 de 29/08/2008 do CONTRAN dispõe sobre a concessão de código de marca/modelo/versão para veículos auto motivos e dá outras providências.

Essa resolução estabelece que, antes de mais nada, para a aquisição do código da marca/modelo/versão específicos, o veículo deve obter o CAT ou Certificado de Adequação à Legislação de Trânsito, que mostra que o veículo respeita a classificação prevista na Tabela 1 da mesma norma, a qual classifica os veículos por tipo/marca/espécie, levando em conta o tipo de carroceria, capacidade de carga, tipo de

transporte e de tração do veículo. Esse certificado deve ser obtido junto ao DENATRAN e é indispensável à aquisição do registro e licenciamento do veículo junto ao DETRAN estadual.

O Art. 2 da Resolução 291/2008 estabelece que veículos sujeitos a transformação em seu sistema de tração, conforme descrito na Tabela II da mesma resolução (atualizada pela Portaria 65 de 26/03/2016 do DENATRAN), estão sujeitos a homologação compulsória, obrigatória, e à obtenção de um novo código de marca/modelo/versão, como requisito para o registro do veículo transformado.

Antes de iniciar a transformação sujeita a homologação compulsória, é preciso solicitar prévia autorização à Autoridade Executiva de Trânsito da Unidade da Federação onde o veículo estiver cadastrado e, após a transformação, encaminhar ao DETRAN cópia autenticada do CAT, nota fiscal da transformação e Certificado de Segurança Veicular (CSV) emitido por Instituição Técnica licenciada pelo DENATRAN – não sendo aceita transformação realizada por pessoa física ou por pessoa jurídica não autorizada para a realização desse tipo de serviço (Art. 2º, § 1). A ausência dessa autorização prévia para a realização de transformação sujeita a homologação compulsória sujeita o proprietário do veículo às penalidades previstas na lei e à negação da homologação, registro e licenciamento do veículo pelo DETRAN e DENATRAN após sua transformação.

8.5. Portaria Denatran 190/2009

A Portaria 190 de 29/06/2009 estabelece o procedimento para a concessão do código de marca/modelo/versão de veículos do Registro Nacional de Veículos Automotores (RENAVAM) e a emissão do Certificado de Adequação à Legislação de Trânsito (CAT), que devem ser requeridos juntos ao DENATRAN.

No caso de conversão de veículo a combustão para elétrico, é obrigatória a apresentação do Certificado de Segurança Veicular (CSV) – Anexo VII da Portaria 190 – emitido por Instituição Técnica de Engenharia (ITL) licenciada pelo DENATRAN (Art. 2º, § 2 e § 3) e credenciada pelo INMETRO.

Em todo caso, apenas pessoas jurídicas podem realizar transformação veicular e converter veículo a combustão em elétrico, necessitando ainda comprovar capacidade de gerir a qualidade do produto por organismo acreditado pelo INMETRO. Não tendo a empresa órgão acreditado pelo INMETRO capaz de gerir a qualidade do produto, deverá, então, apresentar Comprovante de Capacitação Técnica (CCT) para a realização de transformações veiculares emitida, exclusivamente, por Instituição Técnica Licenciada –

ITL, acreditada pelo INMETRO e licenciada pelo DENATRAN (Art. 2º, § 6). Tendo sistema de gestão da qualidade, a empresa deverá apresentar certificado válido que comprove a existência do sistema.

Após a apresentação de todas as documentações acima, o DENATRAN emitirá o CAT e o código RENAVAL de marca/modelo/versão.

8.6. Alterações para Adequação à Legislação Atual

A legislação de trânsito de vez em quando se vê às voltas com novas exigências de componentes de segurança ou de novos níveis de emissão de poluentes que os veículos saídos de fábrica precisarão respeitar para poderem receber autorização para serem comercializados e circularem no país legalmente.

A Lei de Nº 11.910 de Março de 2009 instituiu a obrigatoriedade de que todos os veículos fabricados a partir de 1 de Janeiro de 2014 deveriam trazer sistemas de AIRBAG frontal para o condutor e para o passageiro, com o fim de aumentar a segurança dos ocupantes do veículo em caso de acidente de trânsito (PLANALTO, data de acesso: 30/06/2021).

A Resolução CONTRAN nº 380 de 28 de Abril de 2011, por sua vez, estabeleceu a obrigatoriedade de que todo veículo fabricado a partir de 1º de Janeiro de 2014 deveria sair com freios ABS instalados de fábrica, respeitando a definição de freio ABS dada pelo Artigo 2º da mesma resolução (LEGISWEB, data de acesso: 30/06/2021).

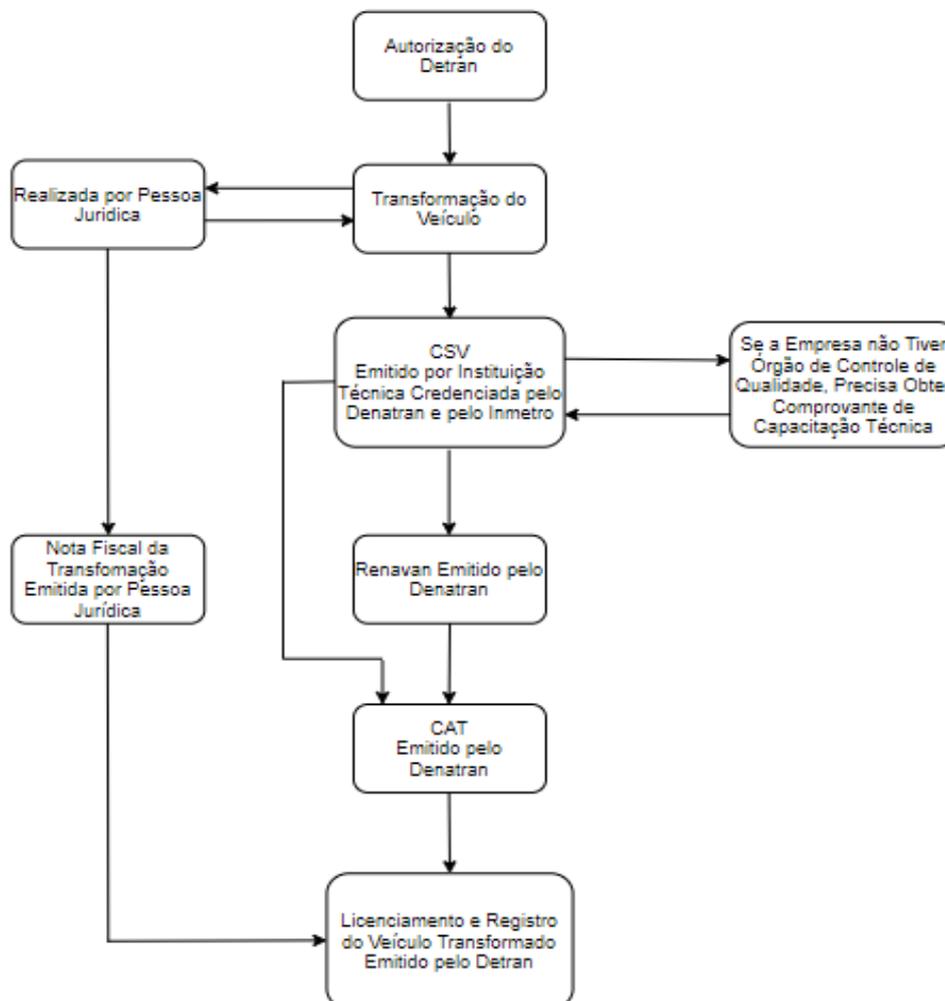
Veículos sujeitos a transformação e homologação compulsória também deveriam obedecer à legislação, exceto aqueles que foram fabricados em período anterior à data de 1 de Janeiro de 2014, conforme artigo 6º, inciso III, da Resolução CONTRAN nº 380 de 28 de Abril de 2011 (LEGISWEB, data de acesso: 30/06/2021).

Assim, caso o veículo convertido para elétrico tenha sido fabricado a partir de 1º de Janeiro de 2014, na hipótese de não possuir AIRBAG e freios ABS, precisará instalá-los, para poder realizar a homologação perante o DETRAN estadual.

8.7. Fluxograma do Processo de Homologação

Em resumo, o processo de homologação de um veículo a combustão convertido para elétrico deve seguir o fluxograma apresentado no Esquemático 2 a seguir:

Esquemático 2 - Fluxograma para homologação de veículo convertido para elétrico



Fonte: o AUTOR (2021)

É preciso esclarecer que o fluxograma acima corresponde apenas ao esqueleto jurídico base correspondente ao processo de homologação do veículo a combustão convertido para elétrico. Os órgãos de trânsito estaduais podem acrescentar fases burocráticas ou novas exigências às já existentes visando maior segurança do processo de homologação, ou seja, com o fim de evitar fraudes ou falhas no processo, e uma maior segurança do próprio veículo, após realização da conversão, em relação a seus ocupantes e aos demais agentes participantes do trânsito.

8.8. Custos Associados ao Processo de Homologação

Os custos relacionados à homologação de veículo a combustão convertido para elétrico não são fixos. Eles variam conforme o ano do veículo, seu estado de conservação, as modificações realizadas, o fato de a empresa que o modificou ter ou não Comprovante de Capacidade Técnica para a realização da conversão e sistema de gestão de qualidade com certificado emitido por órgão certificado pelo INMETRO reconhecido pelo DETRAN (Art. 2º, § 6, Portaria 190/2009).

Se a empresa transformadora não possuir Comprovante de Capacitação Técnica para realização de ensaios de segurança no veículo transformado, deverá providenciar a visita de uma equipe de técnicos do DENATRAN e do INMETRO, para comprovar sua capacidade de realização dos ensaios (Art. 8º, Portaria 190/2009), ou contratar empresa que possua essa capacitação para a realização dos ensaios de segurança. No caso de requisitar a visita dos técnicos do DENATRAN e do INMETRO, todos os custos da viagem serão arcados pela empresa transformadora do veículo. Nos dois casos, há um custo variável para a empresa transformadora, e, por conta dessa variação, os órgãos de trânsito não divulgam valores previamente.

Em todo caso, a empresa transformadora tem de ter autorização do DETRAN para realização de transformações em características de fábrica de veículos automotores.

Por outro lado, dependendo do ano e do estado de conservação do veículo, o DETRAN poderá exigir que novas modificações sejam realizadas no veículo com fins de adequá-lo à legislação atual.

Tudo isso poderá elevar os custos de homologação do veículo convertido para elétrico.

Dependendo dos resultados dos ensaios de segurança, o DETRAN pode, ainda, exigir alguma modificação no veículo com o fim de melhorar a segurança para os ocupantes do veículo e para os agentes externos – pedestres e outros veículos automotores, como instalação de Airbags frontais e freios ABS. Os custos associados à instalação desses componentes podem variar entre R\$ 3 mil e R\$ 20 mil (RIBEIRO, (2020)), dependendo do tipo do veículo. Entretanto, esses custos podem ser ignorados no caso de veículo que já veio com os itens de fábrica e em caso de veículo fabricado em período anterior à exigência legal desses itens.

Há, ainda, uma lista de documentos, atestados e laudos que o proprietário do veículo deverá providenciar junto ao DETRAN a fim de regularizar sua situação, começando pela autorização para a realização da transformação, passando pelo CAT –

Certificado de Adequação à Legislação de Trânsito – e finalizando com o Certificado de Segurança Veicular (CSV) e demais documentos do veículo.

Os valores abaixo foram obtidos junto ao DETRAN-DF (Distrito Federal), e não refletem os valores praticados pelos DETRAN's de outros estados. Esses valores podem variar de estado para estado, e os procedimentos, apesar de certa padronização, também podem sofrer alterações, com o acréscimo de exigências locais adicionais. Apesar de tudo, a tabela abaixo dá uma ideia do custo base de documentação referente à homologação de veículo convertido para elétrico.

Aos custos de documentação mapeados, foi acrescentado um valor para ensaios de segurança e revisões e manutenções em sistemas de Airbag e freios ABS, haja vista a importância desses itens para a segurança veicular e para a emissão da documentação necessária à homologação do veículo transformado em elétrico (BRITO e REIS, 2020).

Abaixo, segue a Tabela 21, que resume os documentos exigidos pelo DETRAN do Distrito Federal e os custos de sua obtenção:

Tabela 21 - Custo de documentação de homologação de veículo convertido para elétrico no Distrito Federal

| DOCUMENTO | CUSTO (R\$) |
|---|-------------|
| Autorização Prévia Para Alteração De Característica Veicular | 53,00 |
| Complemento De Autorização Para Alteração De Característica Veicular Quando Exigido CSV | 190,00 |
| Atestado De Capacidade Técnica | 163,00 |
| Certificado De Adequação À Legislação De Trânsito (Emitido Pelo DENATRAN) | 266,00 |
| Certificado De Registro De Veículo | 161,00 |
| Certificado De Registro De Licenciamento Do Veículo | 93,00 |
| Laudo De Vistoria Veicular Normal | 126,00 |
| Laudo De Vistoria Veicular Normal – Complemento Para a Inspeção Técnica De Segurança Veicular | 37,00 |
| CUSTO PARCIAL | |
| Ensaio de Segurança e Custos associados a Airbag e freios ABS | 5.000,00 |
| CUSTO TOTAL | 6.089,00 |

Fonte: o AUTOR (2021)

Na Tabela 21 não estão incluídos custos de visita de técnicos do DETRAN para exame de Capacitação Técnica, que podem variar em função da quantidade de horas, do custo das passagens e de alimentação dos agentes do órgão de trânsito.

Os custos acima partem do pressuposto de que a documentação do veículo está em dia, com licenciamento e documentação legalizados de acordo com a legislação de trânsito brasileira. Caso contrário, é preciso somar, ainda, o custo de legalização da documentação do veículo, que deve ser realizada em momento anterior à requisição de Autorização Prévia para Alteração de Característica Veicular.

9. Análise de Viabilidade

9.1. Viabilidade Técnica

O projeto de dimensionamento e execução da conversão da Van Boxer Peugeot 2.8 HDI Diesel para elétrica sofreu inúmeros percalços ao longo do caminho, incluindo limitação de recursos financeiros, humanos e de acesso das equipes de trabalho ao veículo para realização das operações de desmontagem e montagem do veículo. Porém, a despeito desses impedimentos, o dimensionamento e a parte do processo de montagem do veículo elétrico até o momento realizados foram suficientes para demonstrar a viabilidade técnica da conversão da Van a Diesel em elétrica.

A principal dificuldade do processo de conversão consistiu na falta de acesso à documentação do projeto do veículo e, conseqüentemente, da necessidade de se construir um novo protocolo de comunicação CAN para a Van. A desmontagem dos subsistemas que utilizavam componentes hidráulicos relacionados ao motor a Diesel, como o subsistema de freio e a direção hidráulica, implicou na substituição de alguns componentes hidráulicos desses subsistemas por outros de funcionamento elétrico, a fim de se permitir que os novos subsistemas pudessem funcionar de forma independente do motor elétrico.

A retirada do motor a combustão e sua substituição por um motor elétrico exigiu o projeto de alguns componentes mecânicos para sustentação do motor e seu encaixe no sistema de transmissão do veículo. A retirada do sistema de alimentação foi importante para diminuição do peso do veículo sem implicar em novas substituições. E a adaptação do sistema de arrefecimento antigo, com o dimensionamento de um novo sistema de arrefecimento de menor dimensão, mostrou-se factível e pouco oneroso.

O veículo, por outro lado, não sofre com falta de espaço para a instalação do sistema de armazenamento de energia, e suas funcionalidades não são afetadas pela troca do sistema de propulsão a combustão por um elétrico. Por tudo isso, pode-se concluir pela viabilidade técnica da conversão da Van a Diesel em elétrica e, para além disso, aventar, ainda, a possibilidade de se padronização desse projeto de conversão para futura conversão de outros veículos da mesma categoria e modelo.

Resta, entretanto, analisar a viabilidade financeira dessa conversão tendo em vista o tipo de consumidor que dela poderia fazer uso, qual seja, o responsável por transporte escolar. Abaixo, passamos para a análise financeira considerando o perfil de utilização do veículo por um motorista de transporte escolar.

9.2. Custos

A análise financeira procurou embasar-se em parâmetros reais obtidos junto a órgãos públicos e contabilizados no mês de Outubro de 2021. A determinação dos parâmetros a serem utilizados em uma análise financeira é decisivo para a obtenção de resultados mais precisos, ou com menores margens de erro.

Nesse sentido, optou-se por utilizar como taxa de desconto a TJLP (Taxa de Juros de Longo Prazo), determinada pelo BNDES e utilizada em linhas de financiamento de inovação e infraestrutura promovidas pelo banco (BNDES, 2021). O valor do Dólar foi obtido no dia 11/10/2021 em portal de notícia especializado em informações econômicas e financeiras (ECONOMIA UOL, 2021), e o valor do Diesel utilizado foi o do valor médio do Diesel no Distrito Federal (PREÇO DOS COMBUSTÍVEIS, 2021). A escolha do valor médio do Diesel no Distrito Federal foi determinada por conta da variação que o preço do combustível sofre não só de posto para posto, como também de cidade para cidade e de estado para estado, influenciado por diferentes alíquotas de ICMS e de custos logísticos. Uma vez que esse trabalho está sendo realizado no Distrito Federal, julgou-se mais sábio utilizar o valor médio do Diesel vendido nessa região. A mesma lógica foi aplicada à escolha do valor da energia elétrica, do ICMS aplicado a esses produtos. No caso da energia elétrica, ainda, optou-se por usar o valor da anergia aplicado ao consumo residencial que se situa na faixa entre 301 e 500 kW/mês, que é um consumo residencial médio que traz consigo uma pequena margem de sobra para o recarregamento de um veículo elétrico considerando-se o consumo médio de uma família estabelecida no Distrito Federal (ORTIZ, 2020). Por fim, as alíquotas do PIS e Cofins foram resumidas a um valor médio mensal, uma vez que elas variam percentualmente em função do mês do

ano (EDP, 2021), de forma a facilitar os cálculos. A Tabela 22 traz os valores dos parâmetros utilizados nas análises.

Tabela 22 - Parâmetros utilizados na análise financeira

| PARÂMETROS ECONÔMICO-FINANCEIROS | |
|---|---------------|
| TJLP (%) | 5,32% |
| U\$S (11/10/2021) | R\$ 5,51 |
| Diesel (litro) (11/10/2021) | R\$ 5,26 |
| IMPOSTO IMPORTAÇÃO (%) | 60% |
| ICMS MERCADORIAS - DF | 18% |
| Tarifa KWh (DF) (Faixa Consumo:301-500 Kwh/mês) | R\$ 0,8456031 |
| PIS/PASEP | 0,80% |
| COFINS | 3,69% |
| ICMS ENERGIA - DF | 21,00% |
| Preço KWh | R\$ 1,13 |
| TEMPO DE ANÁLISE (anos) | 10 |
| DIAS LETIVOS MÊS | 21 |
| DIAS LETIVOS ANO | 200 |
| DIAS ÚTEIS ANO | 252 |

Fonte: o AUTOR (2021)

Por fim, diferentes cenários foram construídos na realização das análises e nos quais foram utilizadas diferentes quantidades de dias de operação do veículo por ano, a fim de se obter o custo anual de operação do veículo em diferentes situações. Em um dos casos, foi utilizado um ano com 200 dias de operação, que coincide com o número de dias letivos anual nas escolas brasileiras (LEI 9394/1996, 2021), uma vez que o potencial consumidor dessa conversão corresponde a um proprietário de veículo de transporte escolar. Em outro caso, foi utilizado o número de dias úteis anual, que corresponde a 252 dias, a fim de se verificar se o aumento do número de dias de operação do veículo melhora o custo-benefício da conversão do veículo a Diesel para elétrico.

9.2.1. Custos de Conversão

Foram construídos 5 cenários para a realização das análises levando em consideração, primordialmente, a distância percorrida por dia pelo veículo. Esses cenários foram divididos em 3 grupos. No primeiro grupo, encontram-se os cenários 1 e 2, em que a distância diária percorrida corresponde a 34 km, que corresponde à distância de uma única viagem diária de embarque e desembarque dos alunos promovida pelo transporte escolar. O segundo grupo corresponde aos cenários 3 e 4, em que a distância diária

percorrida é de 102 km e representa a distância real percorrida pelo transporte escolar em um total de três viagens diárias. Por fim, o último grupo é formado pelo cenário 5, que possui a mesma distância percorrida pelo veículo diariamente que os cenários 3 e 4, mas que deles se diferencia pelo número de dias trabalhados por ano. Enquanto todos os demais cenários foram analisados considerando o número de dias letivos, no cenário 5, optou-se por fazer a análise levando em conta o número de dias úteis anual, pressupondo que nesses dias, fora de dia letivo, o proprietário do veículo poderia utilizá-lo para fazer carretos, com o objetivo de aumentar sua renda.

A Tabela 23 traz os principais dados dos cenários desenvolvidos, com a distância diária e anual percorridas em cada cenário, bem como o número de dias trabalhados por ano.

Tabela 23 - Descrição dos cenários analisados

| CENÁRIO | DISTÂNCIA DIÁRIA PERCORRIDA (km) | DIAS TRABALHADOS POR ANO | DISTÂNCIA ANUAL PERCORRIDA (km) |
|-----------|----------------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| CENÁRIO 1 | 34 | 200 | 6.800 |
| CENÁRIO 2 | 34 | 200 | 6.800 |
| CENÁRIO 3 | 102 | 200 | 20.400 |
| CENÁRIO 4 | 102 | 200 | 20.400 |
| CENÁRIO 5 | 102 | 252 | 25.704 |

Fonte: o AUTOR (2021)

Já a Tabela 24 abaixo complementa a descrição dos cenários analisados, identificando em qual deles houve aplicação do algoritmo de otimização da quantidade de baterias a ser embarcada no veículo, o tipo de bateria, a quantidade de kWh embarcado, o custo do Powertrain e das baterias e o custo total de conversão relacionado a cada cenário.

Tabela 24 - Descrição dos cenários analisados e os principais custos de conversão relacionados a eles

| CENÁRIO | QTDA BATERIAS OTIMIZADA? | BATERIA (LIFEPO4) | QTDA BATERIAS (un) | kWh EMBARCADO | CUSTO POWERTRAIN + BATERIAS (R\$) | CUSTO TOTAL DE CONVERSÃO (R\$) |
|-----------|--------------------------|-------------------|--------------------|---------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| CENÁRIO 1 | Sim | 3,2V 50Ah | 104 | 10,52 | 106.115,15 | 141.920,57 |
| CENÁRIO 2 | Não | 3,2V 50Ah | 168 | 17,00 | 133.877,13 | 177.187,42 |
| CENÁRIO 3 | Sim | 3,2V 150Ah | 144 | 42,69 | 177.231,24 | 232.261,44 |
| CENÁRIO 4 | Não | 3,2V 150Ah | 176 | 52,18 | 203.059,96 | 265.072,44 |
| CENÁRIO 3 | Sim | 3,2V 150Ah | 144 | 42,69 | 177.231,24 | 232.261,44 |

Fonte: o AUTOR (2021)

Como é possível notar na Tabela 24, acima, o algoritmo de otimização foi aplicado aos cenários 1, 3 e 5, e os cenários 2 e 4 foram deixados com sua quantidade máxima não otimizada de baterias com o intuito de se realizar uma comparação entre os custos de conversão e de operação do veículo com a quantidade de baterias otimizada e não otimizada.

A otimização da quantidade de baterias levou em conta os parâmetros apresentados na Tabela 25. Esses parâmetros foram calculados a partir dos dados obtidos em teste de campo cujas análises encontram-se no Capítulo 6 do presente trabalho.

Tabela 25 - Parâmetros utilizados no algoritmo de otimização de baterias

| PARÂMETROS APLICADOS À OTIMIZAÇÃO DE BATERIAS | | | |
|--|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| ENTRADAS | CENÁRIO 1 | CENÁRIO 3 | CENÁRIO 5 |
| Número de Paradas para Recarregamento | 4 | 4 | 4 |
| Vetor Tempo de Recarregamento por Parada (minutos) | [600 100 80 0] | [600 180 180 0] | [600 180 180 0] |
| Vetor Distância entre as Paradas (km) | [8,5 11 14] | [0 34 34 34] | [0 34 34 34] |
| Vetor Energia Consumida entre as Paradas (kWh) | [0 4720 5513 6352] | [0 16995 16995 16995] | [0 16995 16995 16995] |
| Tensão da Bateria (V) | 3,2 | 3,2 | 3,2 |
| Capacidade Nominal da Bateria (Ah) | 50 | 50 | 50 |
| Tamanho da Bateria (L x W x H) em mm | 152 x 50 x 190 | 152 x 50 x 190 | 152 x 50 x 190 |
| Espaço do Veículo para Baterias (L x W x H) em mm | 800 x 500 x 400 | 800 x 500 x 400 | 800 x 500 x 400 |
| Capacidade do Carregador (A) | 10 | 10 | 10 |
| Custo Simbólico (R\$) | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| Coeficiente de Segurança | 10% | 10% | 10% |
| RESULTADOS OBTIDOS | | | |
| Quantidade de Baterias | 100 | 144 | 144 |
| Quantidade Arredondamento | 4 | 0 | 0 |
| Total de Baterias | 104 | 144 | 144 |
| kWh Embarcado | 10,52 | 42,69 | 42,69 |

Fonte: o AUTOR (2021)

No caso do cenário 1, optou-se por colocar as paradas dentro da trajetória realizada, haja vista que nesse cenário, como no cenário 2, será considerada a realização de uma única trajetória diária. No cenário 3, optou-se pela realização de três trajetórias por dia e, por conseguinte, colocando-se as paradas para recarregamento das baterias entre as trajetórias realizadas. O cenário 5 utiliza a mesma estratégia e resultados do cenário 3, e os cenários 2 e 4 não foram otimizados.

Por fim, a Tabela 26 apresenta com mais detalhe o custo relacionado a cada cenário.

Tabela 26 - Resumo dos custos de conversão para cada cenário

| | CUSTOS DE CONVERSÃO PARA DIFERENTES CENÁRIOS | | | | |
|--|--|------------|------------|------------|------------|
| | CENÁRIO 1 | CENÁRIO 2 | CENÁRIO 3 | CENÁRIO 4 | CENÁRIO 5 |
| QUANTIDADE DE BATERIAS (un.) | 104 | 168 | 144 | 176 | 144 |
| POWERTRAIN (R\$) | 44.400,00 | 44.400,00 | 44.400,00 | 44.400,00 | 44.400,00 |
| BATERIAS (R\$) | 78.398,59 | 113.665,45 | 168.739,46 | 201.550,46 | 168.739,46 |
| COMPONENTES E SUBSISTEMAS COMPLEMENTARES (R\$) | 6.358,87 | 6.358,87 | 6.358,87 | 6.358,87 | 6.358,87 |
| MÃO DE OBRA (R\$) | 6.674,11 | 6.674,11 | 6.674,11 | 6.674,11 | 6.674,11 |
| HOMOLOGAÇÃO (R\$) | 6.089,00 | 6.089,00 | 6.089,00 | 6.089,00 | 6.089,00 |
| TOTAL (R\$) | 141.920,57 | 177.187,42 | 232.261,44 | 265.072,44 | 232.261,44 |
| PESO BATERIAS NO CUSTO TOTAL | 55% | 64% | 73% | 76% | 73% |

Fonte: o AUTOR (2021)

Como é possível notar, o custo das baterias corresponde a uma média de 68% do custo total de conversão e varia em função da quantidade de baterias instalada no veículo. Os cenários sem otimização da quantidade de baterias, cenários 2 e 4, foram os que tiveram um peso maior do custo das baterias em relação ao custo total da conversão.

9.2.2. Custos de Operação

Os custos de operação do veículo a Diesel e do veículo já convertido para elétrico foram simulados para cada cenário descrito acima. Essa especificação dos custos de operação por cenário foi necessária porque cada cenário possui uma distância diferente a ser percorrida por dia e uma quantidade de diferente de baterias, o que implica em diferentes custos de rodagem e de manutenção. Os custos de operação, que englobam os custos de rodagem e de manutenção, estão detalhados no Apêndice D. Os parâmetros utilizados no cálculo do custo de manutenção do veículo a diesel foram elencados na Tabela 27.

Tabela 27 - Parâmetros para cálculo de custo de manutenção do veículo a diesel

| PARÂMETRO | QTDA/ANO |
|--------------------------|----------|
| Troca de Óleo | 1,00 |
| Filtro de Óleo | 1,00 |
| Escapamento + Peças | 0,33 |
| Catalisador + Peças | 0,33 |
| Filtro de Combustível | 1,00 |
| Filtro de Ar | 1,00 |
| Bomba de Combustível | 0,07 |
| Radiador | 0,10 |
| Correia Motor | 0,23 |
| Correia Alternador | 0,23 |
| Líquido de Arrefecimento | 1,36 |
| Velas de Ignição | 0,14 |
| Embreagem | 0,10 |
| Sonda Lambda | 0,10 |
| Revisão Motor Diesel | 1,00 |
| Bateria Chumbo-Ácido | 0,33 |

Fonte: o AUTOR (2021)

Os parâmetros utilizados no cálculo do custo de manutenção do veículo elétrico foram elencados na Tabela 28.

Tabela 28 - Parâmetros para cálculo de custo de manutenção do veículo elétrico

| | FREQUÊNCIA ANUAL |
|------------------------------|------------------|
| Conjunto de Baterias Troca | |
| Revisão Motor Elétrico | 0,20 |
| Revisão Baterias + Troca 10% | 0,10 |

Fonte: o AUTOR (2021)

A Tabela 29, por sua vez, apresenta os parâmetros utilizados para se obter os custos de rodagem da Van a Diesel e da Van Elétrica, incluindo o consumo por km rodado.

Tabela 29 - Parâmetros para cálculo de custo de rodagem dos veículos a diesel e elétrico

| VEÍCULO DIESEL | | VEÍCULO ELÉTRICO | |
|-------------------------------|-------|----------------------------------|-------|
| PARÂMETRO | VALOR | PARÂMETRO | VALOR |
| (Km/l) | 9 | (Km/kWh) | 2,50 |
| Consumo de Diesel por km (l) | 0,11 | Consumo de Energia por km (kWh) | 0,40 |
| Custo do Diesel no DF (R\$/l) | 5,26 | Custo da Energia no DF (R\$/kWh) | 1,13 |
| Custo de Rodagem por km (R\$) | 0,58 | Custo de Rodagem por Km (R\$) | 0,45 |

Fonte: o AUTOR (2021)

É preciso observar que o consumo por quilômetro estipulado para o veículo elétrico foi obtido em pesquisas de mercado, em que se notou que um veículo da mesma categoria e capacidade de carga da Van convertida para elétrica possui. No caso, a quantidade de quilômetros rodados pelo veículo recém chegado no mercado correspondeu a 2,5 km/kWh (DÉA, 2021). Esse caminho foi tomado porque o cálculo do consumo da Van elétrica seria enviesado, uma vez que seria obtido a partir de inúmeros parâmetros calculados levando em consideração uns poucos dados reais do veículo. Para se obter o consumo real da Van elétrica, testes experimentais se fariam necessários. Por isso, escolheu-se utilizar o valor de consumo já calculado para um veículo de mesma categoria, o que não irá trazer grandes prejuízos para as análises, uma vez que o motor utilizado na Van convertida para elétrica possui tecnologia tão moderna quanto a utilizada no veículo utilizado para comparação.

A Tabela 30, por sua vez, resume os custos de operação calculados para ambos os veículos, a Diesel e elétrico, em cada cenário simulado.

Tabela 30 - Custos de operação dos veículos a diesel e elétrico

| CENÁRIO 1 | | | |
|---|---------------|---|---------------|
| CUSTO TOTAL DE OPERAÇÃO (Van Diesel) | | CUSTO TOTAL DE OPERAÇÃO (Van Elétrica) | |
| Custo por Ano (R\$) | R\$ 7.026,58 | Custo por Ano (R\$) | R\$ 4.111,53 |
| CENÁRIO 2 | | | |
| CUSTO TOTAL DE OPERAÇÃO (Van Diesel) | | CUSTO TOTAL DE OPERAÇÃO (Van Elétrica) | |
| Custo por Ano (R\$) | R\$ 7.026,58 | Custo por Ano (R\$) | R\$ 4.534,74 |
| CENÁRIO 3 | | | |
| CUSTO TOTAL DE OPERAÇÃO (Van Diesel) | | CUSTO TOTAL DE OPERAÇÃO (Van Elétrica) | |
| Custo por Ano (R\$) | R\$ 17.291,55 | Custo por Ano (R\$) | R\$ 11.369,12 |
| CENÁRIO 4 | | | |
| CUSTO TOTAL DE OPERAÇÃO (Van Diesel) | | CUSTO TOTAL DE OPERAÇÃO (Van Elétrica) | |
| Custo por Ano (R\$) | R\$ 17.291,55 | Custo por Ano (R\$) | R\$ 11.762,86 |
| CENÁRIO 5 | | | |
| CUSTO TOTAL DE OPERAÇÃO (Van Diesel) | | CUSTO TOTAL DE OPERAÇÃO (Van Elétrica) | |
| Custo por Ano (R\$) | R\$ 20.391,44 | Custo por Ano (R\$) | R\$ 13.776,79 |

Fonte: o AUTOR (2021)

Como é possível observar, em todos os cenários os custos de operação do veículo elétrico ficaram abaixo dos custos de operação do veículo a Diesel.

A Tabela 31, por fim, elenca o custo benefício operacional obtido pela Van elétrica em relação à Van a Diesel. A comparação foi realizada em uma situação que incluía o custo de manutenção e outra em que o custo de manutenção não é considerado.

Tabela 31 - Custo benefício do veículo elétrico em relação ao veículo a diesel

| COMPARAÇÃO | |
|---------------------------------------|-----|
| CUSTO-BENEFÍCIO SEM MANUTENÇÃO | |
| Veículo Elétrico/Veículo Diesel (ano) | 22% |
| CUSTO-BENEFÍCIO COM MANUTENÇÃO | |
| CENÁRIO 1 | |
| Veículo Elétrico/Veículo Diesel (ano) | 41% |
| CENÁRIO 2 | |
| Veículo Elétrico/Veículo Diesel (ano) | 35% |
| COMPARAÇÃO | |
| CUSTO-BENEFÍCIO SEM MANUTENÇÃO | |
| Veículo Elétrico/Veículo Diesel (ano) | 22% |
| CUSTO-BENEFÍCIO COM MANUTENÇÃO | |
| CENÁRIO 3 | |
| Veículo Elétrico/Veículo Diesel (ano) | 34% |
| CENÁRIO 4 | |
| Veículo Elétrico/Veículo Diesel (ano) | 32% |
| COMPARAÇÃO | |
| CUSTO-BENEFÍCIO SEM MANUTENÇÃO | |
| Veículo Elétrico/Veículo Diesel (ano) | 22% |
| CUSTO-BENEFÍCIO COM MANUTENÇÃO | |
| CENÁRIO 5 | |
| Veículo Elétrico/Veículo Diesel (ano) | 32% |

Fonte: o AUTOR (2021)

Em todos os cenários e situações, o custo benefício do veículo elétrico em relação ao veículo a Diesel fica acima de 20%, com o menor percentual ficando em 22% na situação em que não se inclui o custo de manutenção nos cálculos. Quando o custo de manutenção é incluído, o percentual sobe para mais de 30% em todos os cenários simulados.

Por conseguinte, conclui-se que a eficiência ou custo benefício de operação do veículo elétrico em relação ao veículo a Diesel é superior a 30%, o que justifica a conversão do veículo a Diesel para elétrico. Entretanto, como essa conversão implica em um custo relativamente alto, será preciso analisar mais de perto se a economia proporcionada pela Van elétrica é suficiente para pagar o investimento ao longo de um período de dez anos, que é o período de vida útil do conjunto de baterias.

9.3. Viabilidade Econômica

A viabilidade econômica da conversão da Van a Diesel para elétrica foi analisada para um período de dez anos, que corresponde ao tempo de vida útil das baterias. Ao fim desse período, o conjunto de baterias deve ser trocado, e isso implicará em um novo custo para o dono do veículo. Como já foi elencado acima, esse custo corresponde, em média, a 68% do custo de conversão do veículo. De modo que, se a economia obtida com a conversão não pagar o custo dessa no prazo estipulado, obter-se-á um VPL negativo, o que demonstraria a inviabilidade econômica da conversão.

Além dos parâmetros financeiros já mencionados no início desse capítulo, nas análises foi incluída, ainda, uma inflação anual projetada para os próximos dez anos. Os dados foram obtidos junto ao IBGE (IBGE, 2021) e juntados a partir do ano 2000, sendo subsequentemente analisados no Orange Data Mining por meio do algoritmo ARIMA. É preciso esclarecer que o método de projeção utilizado trabalha com dados não estocásticos, de modo que não é possível dizer, diante do contexto sanitário mundial atual, se haverá estabilidade econômica a partir do fim desse ano ou meados do ano que vem, a ponto de os índices de inflação, atualmente altos para os padrões nacionais dos últimos vinte anos, voltem ao patamar em que estavam antes da crise sanitária provocada pelo COVID-19. Nesse sentido, os valores calculados devem ser tomados apenas como uma representação de um possível cenário inflacionário, mas que pode não se realizar. Entretanto, ainda assim, essa projeção foi necessária para se realizar a atualização inflacionária dos custos de manutenção, do preço do Diesel e do preço do kWh da energia elétrica para os próximos dez anos. Uma análise econômica que não leve em conta a atualização dos preços acaba por levar a resultados duvidosos no momento do cálculo do Valor Presente Líquido a partir do fluxo de caixa desenhado para o período analisado.

Assim, a Tabela 32 abaixo apresenta os valores projetados para a inflação para o período considerado.

Tabela 32 - Inflação projetada para 10 Anos

| ANO | INFLAÇÃO ANUAL PROJETADA |
|-----|-----------------------------|
| 0 | |
| 1 | 8,2680% |
| 2 | 6,3513% |
| 3 | 5,8433% |
| 4 | 4,0429% |
| 5 | 3,5246% |
| 6 | 5,3165% |
| 7 | 5,7206% |
| 8 | 6,2335% |
| 9 | 6,5225% |
| 10 | 5,3180% |

Fonte: o AUTOR (2021)

Uma vez construídos os fluxos de caixa, foram calculados o VPL e o Payback Simples e Descontado para todos os cenários considerados (para uma visualização mais completa dos fluxos de caixa produzidos, olhar o Apêndice D). A Tabela 33 apresenta um resumo das análises realizadas. Em nenhum dos cinco cenários considerados, o investimento na conversão do veículo a Diesel para elétrico se paga dentro do período considerado. Em todos os casos, seria preciso mais de dez anos para o investimento ser absorvido pela economia proporcionada pelo veículo elétrico. Entretanto, é importante destacar que os cenários 3 e 5, cenários com maiores quilometragens rodadas por ano, foram os que se pagaram em menor tempo, 38 e 31 anos aproximadamente cada um, considerando o Payback Descontado pela TJLP.

Tabela 33 - Resultados obtidos na análise

| | CENÁRIO 1 | CENÁRIO 2 | CENÁRIO 3 | CENÁRIO 4 | CENÁRIO 5 |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| DIAS TRABALHADOS POR ANO | 200 | 200 | 200 | 200 | 252 |
| DISTÂNCIA TOTAL PERCORRIDA (km) | 68.000 | 68.000 | 204.000 | 204.000 | 257.040 |
| CUSTO TOTAL VAN DIESEL | 72.253,71 | 72.253,71 | 177.807,33 | 177.807,33 | 217.171,00 |
| CUSTO CONVERSÃO | R\$ 141.920,57 | R\$ 177.187,42 | R\$ 232.261,44 | R\$ 265.072,44 | R\$ 232.261,44 |
| CUSTO TOTAL VAN ELÉTRICA | 42.278,51 | 46.630,26 | 116.907,63 | 120.956,34 | 141.665,42 |
| DIFERENÇA VAN ELET-DIESEL | -29.975,20 | -25.623,45 | -60.899,71 | -56.851,00 | -75.505,58 |
| VPL (R\$) | -111.945,37 | -151.563,98 | -171.361,73 | -208.221,44 | -156.755,85 |
| PAYBACK SIMPLES (anos) | 35,21 | 51,43 | 28,36 | 34,68 | 22,88 |
| PAYBACK DESCONTADO (anos) | 47,35 | 69,15 | 38,14 | 46,63 | 30,76 |

Fonte: o AUTOR (2021)

Considerando, entretanto, uma situação sem o Imposto de Importação, que corresponde a 60% do custo das baterias importadas mais seu frete, o tempo de pagamento do investimento cai, nos cenários 3 e 5, para aproximadamente 30 e 25 anos respectivamente, considerando o Payback Descontado. Porém, ainda assim, o investimento não é amortizado no tempo considerado, como se pode notar na Tabela 34.

Tabela 34 - Resultados obtidos na análise sem Imposto de Importação

| | CENÁRIO SEM IMPOSTO DE IMPORTAÇÃO | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | CENÁRIO 1 | CENÁRIO 2 | CENÁRIO 3 | CENÁRIO 4 | CENÁRIO 5 |
| DIAS TRABALHADOS POR ANO | 200 | 200 | 200 | 200 | 252 |
| DISTÂNCIA TOTAL PERCORRIDA (km) | 68.000 | 68.000 | 204.000 | 204.000 | 257.040 |
| CUSTO TOTAL VAN DIESEL (R\$) | 72.253,71 | 72.253,71 | 177.807,33 | 177.807,33 | 217.171,00 |
| CUSTO CONVERSÃO (R\$) | 125.237,13 | 152.999,10 | 196.353,21 | 222.181,94 | 196.353,21 |
| CUSTO TOTAL VAN ELÉTRICA (R\$) | 40.219,86 | 43.645,54 | 112.476,74 | 115.663,87 | 137.234,53 |
| DIFERENÇA VAN ELET-DIESEL | -32.033,85 | -28.608,16 | -65.330,60 | -62.143,46 | -79.936,47 |
| VPL (R\$) | -93.203,28 | -124.390,94 | -131.022,62 | -160.038,48 | -116.416,74 |
| PAYBACK SIMPLES (anos) | 29,08 | 39,78 | 22,35 | 26,59 | 18,27 |
| PAYBACK DESCONTADO (anos) | 39,10 | 53,48 | 30,06 | 35,75 | 24,56 |

Fonte: o AUTOR (2021)

Considerando, por outro lado, uma situação em que a produção de baterias para veículos elétricos fosse nacionalizada, o que excluiria Imposto de Importação, e considerando, ainda, a possibilidade de eliminação do IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados) sobre essas baterias em um cenário de incentivo governamental para adoção de veículos elétricos no país, eliminando, ainda, com a nacionalização, o efeito do Dólar sobre o preço dessas baterias, mas sem desconsiderar, é claro, o chamado Custo Brasil, obtém-se um cenário muito mais otimista para a análise realizada. A Tabela 35 traz os resultados da análise nesse novo contexto.

Tabela 35 - Resultados Obtidos na Análise em Situação de Nacionalização da Produção de Baterias para Veículos Elétricos

| | CENÁRIO COM FABRICAÇÃO NACIONAL SEM IMPOSTO DE IMPORTAÇÃO E EFEITO DÓLAR | | | | |
|---------------------------------|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | CENÁRIO 1 | CENÁRIO 2 | CENÁRIO 3 | CENÁRIO 4 | CENÁRIO 5 |
| DIAS TRABALHADOS POR ANO | 200 | 200 | 200 | 200 | 252 |
| DISTÂNCIA TOTAL PERCORRIDA (km) | 68.000 | 68.000 | 204.000 | 204.000 | 257.040 |
| CUSTO TOTAL VAN DIESEL (R\$) | 72.253,71 | 72.253,71 | 177.807,33 | 177.807,33 | 217.171,00 |
| CUSTO CONVERSÃO (R\$) | 96.498,96 | 106.575,90 | 122.312,42 | 131.687,64 | 122.312,42 |
| CUSTO TOTAL VAN ELÉTRICA (R\$) | 36.673,71 | 37.917,16 | 103.340,48 | 104.497,34 | 128.098,28 |
| DIFERENÇA VAN ELET-DIESEL | -35.579,99 | -34.336,55 | -74.466,85 | -73.310,00 | -89.072,73 |
| VPL (R\$) | -60.918,96 | -72.239,35 | -47.845,57 | -58.377,64 | -33.239,69 |
| PAYBACK SIMPLES (anos) | 20,17 | 23,08 | 12,22 | 13,36 | 10,21 |
| PAYBACK DESCONTADO (anos) | 27,12 | 31,04 | 16,43 | 17,96 | 13,73 |

Fonte: o AUTOR (2021)

Como se pode notar, nos cenários 3 e 5, obtém-se, nesse novo cenário, Paybacks Descontados de 16 e 14 anos, aproximadamente, reduzindo em mais de 50% o tempo de pagamento do investimento.

10. Considerações Finais

Esse trabalho começou com a ideia de se produzir um documento histórico a respeito da conversão da Van Boxer Peugeot 2.8 HDI Diesel para elétrica, avançou para a análise de viabilidade técnica e econômica, enveredou para o desenvolvimento de uma

metodologia para dimensionamento de veículo elétrico e, por fim, terminou com a criação de um algoritmo capaz de otimizar o banco de baterias de um veículo elétrico considerando o espaço destinado às baterias no interior do veículo, o custo da bateria e o perfil de uso do veículo a partir de testes de campo realizados junto com o usuário.

A conversão da Van a Diesel para elétrica mostrou-se tecnicamente viável. Como era esperado, seu custo de operação ficou abaixo do custo de operação da Van a Diesel, mas a economia produzida por esse custo menor de operação não se mostrou suficiente para pagar o investimento necessário para a realização da conversão.

É preciso esclarecer que esse é o primeiro projeto de conversão realizado para essa categoria de veículo, o que significa que, se esse projeto for transformado em um projeto de engenharia capaz de padronizar essa conversão para outros veículos da mesma categoria, o custo de conversão poderá cair.

Contudo, os custos de aquisição de baterias para veículos elétricos mostraram-se tão altos, influenciados, principalmente, pela alta do Dólar, que, ainda que se padronize o projeto de conversão de Van a Diesel para elétrica, não será suficiente para se obter um retorno do investimento em um período de dez anos.

Conclui-se, portanto, que a conversão da Van a Diesel para elétrica é tecnicamente viável, mas não economicamente, considerando-se o perfil do usuário pesquisado. Talvez outro tipo de perfil de usuário que faça maior uso do veículo possa obter melhor custo benefício da conversão da Van para elétrica do que o perfil aqui pesquisado. Entretanto, a análise da viabilidade econômica de conversão da Van a Diesel para elétrica considerando outro tipo de perfil de usuário é matéria para outro trabalho.

Infelizmente, não foi possível finalizar a conversão do veículo e realizar os testes necessários para se ter uma melhor ideia da viabilidade técnica de tal conversão. Espera-se, no entanto, que um próximo trabalho se debruce sobre a operacionalização da conversão e seus testes experimentais e esclarece os pontos que porventura ficaram obscuros e com poucas explicações sobre a operacionalização da conversão no presente trabalho.

Bibliografia

- ABREU, Mário Alexandre de, *Análise da Qualidade dos Dados GPS: estudo de caso da estação de Cananéia*, Dissertação de Mestrado em Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- ABVE, *ABVE Projeta 28 mil Veículos Eletrificados em 21*, in: <http://www.abve.org.br/abril-bate-recorde-abve-preve-28-mil-ves-em-2021/>, data de acesso: 02/07/2021.
- ABVE, *Prefeito Assina Lei que Apoia Carro Elétrico em São Paulo*, 08/06/2021, in: <http://www.abve.org.br/camara-de-sp-destrava-beneficio-para-eletricos/>, data de acesso: 02/07/2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES, in: https://portal.antt.gov.br/resultado/-/asset_publisher/m2By5inRuGGs/content/id/497571, data de acesso: 02/07/2021.
- ALDESCO, Aldo, *Iniciativa Estimula uso de Veículos Elétricos*, 13/05/2021, Assembleia Legislativa Espírito Santo, in: <https://www.al.es.gov.br/Noticia/2021/05/40988/iniciativa-estimula-uso-de-veiculos-eletricos.html>, data de acesso: 16/07/2021.
- ALEGO, ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE GOIÁS, *Projeto de Lei quer Conceder Isenção de IPVA a Veículos Elétricos*, 07/02/2020, in: <https://portal.al.go.leg.br/noticias/108220/projeto-de-lei-quer-conceder-isencao-de-ipva-a-veiculos-eletricos>, data de acesso: 16/07/2021.
- ALEPE, ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DE PERNAMBUCO, *Projeto que Proíbe Veículos a Combustão em Noronha é Aprovado pela Comissão de Justiça*, 19/11/2019, in: <https://www.alepe.pe.gov.br/2019/11/19/projeto-que-proibe-veiculos-a-combustao-em-noronha-e-aprovado-pela-comissao-de-justica/>, data de acesso: 17/07/2021.
- ALVES, Daniela Barroca Marra, *Método dos Mínimos Quadrados com Penalidades: aplicação no posicionamento relativo GPS*, Dissertação de Mestrado em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2004.
- AMARAL, Elifas Chaves Gurgel do, *Como Converter o seu Carro para Elétrico*, 1ª ed, Brasília, Edição do Autor, 2018.

ANEEL, *Estações de Recarga de Veículos Elétricos*, 11/10/2018, <https://www.aneel.gov.br/estacoes-de-recarga-de-veiculos-eletricos> , data de acesso: 01/07/2021.

ANTUNES, Paulo Donizete Ribeiro, *Veículos Elétricos – Funcionamento e seus Benefícios*, Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica no Centro universitário UNIFACVEST, Lages, 2018.

ARAÚJO, Felipe Alexandre Simões de, *Conversão de Veículos Diesel para Tração Elétrica*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica apresentada no Instituto Politécnico de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2013.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO RIO DE JANEIRO, in: <http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/scpro1923.nsf/18c1dd68f96be3e7832566ec0018d833/0be03451cde3f298832583cb006a159f?OpenDocument> , data de acesso: 17/07/2021.

AUTOESPORTE, *Empresa Especializada em Injeção de Combustível Investe em Eletrificação e até 'Novo Clássico' Gol Gti Deve se Tornar Elétrico*, 27/07/2020, in: <https://autoesporte.globo.com/eletricos-e-hibridos/noticia/2020/07/empresa-especializada-em-injecao-de-combustivel-investe-em-eletrificacao-e-ate-novo-classico-gol-gti-deve-se-tornar-eletrico.ghtml> , data de acesso: 18/07/2021.

AUTOO, *Emplacamentos de Furgões Médios em 2020*, in: <https://www.autoo.com.br/emplacamentos/furgoes-medios-mais-vendidos/2020/> , data de acesso: 17/07/2021.

AZEVEDO, Marcelo Henrique de, *Carros Elétricos: viabilidade econômica e ambiental de inserção competitiva no mercado brasileiro*, Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Controle e Automação na Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

BENETTI, Estela, *Projeto do IFSC Florianópolis Transforma Carros a Combustão em Elétricos*, NSC Total, 09/12/2020, in: <https://www.nsctotal.com.br/colunistas/estela-benetti/projeto-do-ifsc-florianopolis-transforma-carros-a-combustao-em-eletricos> , data de acesso: 18/07/2021.

BENTO, João Paulo Moreira, *Análise da Viabilidade de Adaptação de Motores Elétricos nos Cubos de Rodas Traseiros de Veículos de Passeio*, Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Automotiva na Faculdade do Gama – UnB, Brasília, 2014.

BNDES, *BNDES aprova R\$ 6,7 milhões para estações de recarga de veículos elétricos*, 16/10/2018, in: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes->

[aprova-r-6-7-milhoes-para-estacoes-de-recarga-de-veiculos-eletricos](#) , data de acesso: 16/07/2021.

BNDES, *BNDES aprova R\$ 88,6 milhões para desenvolvimento de caminhão elétrico*, 04/12/2019, in: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-aprova-88%2C6-milhoes-para-desenvolvimento-de-caminhao-eletrico> , data de acesso: 16/07/2021.

BNDES, *BNDES cria novas condições para compra de ônibus no Brasil e exportação de carros*, 23/09/2005, in: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/20050923_not245_05 , data de acesso: 16/07/2021.

BNDES, *BNDES destina R\$ 7,5 milhões para inovação em motor elétrico de veículos*, 28/07/2011, in: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/20110728_weg , data de acesso: 16/07/2021.

BNDES, *Taxa de Juros de Longo Prazo, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social*, in: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/guia/custos-financeiros/taxa-juros-longo-prazo-tjlp>, data de acesso: 01/10/2021.

BNDES, *Veículos Elétricos: um mercado em ascensão*, 22/10/2018, in: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/veiculos-eletricos> , data de acesso: 16/07/2021.

BOÇON, Gustavo Schafhauser, *Análise Do Impacto de Veículos Elétricos Na Rede de Distribuição de Energia Elétrica*, Trabalho de conclusão de curso de engenharia de energia, Universidade de Brasília, 2019.

BORGES, Paulo Augusto F., *Projeto Geométrico de Rodovias*, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, Campus Inconfidentes, S/D, in: <https://intranet.ifs.ifsuldeminas.edu.br/paulo.borges/Download/EAC075/Projeto%20Geometrico%20de%20Rodovias%20-%20Superelevacao%20e%20Superlargura.pdf> , data de acesso: 15/07/2020.

BOTTURA, Celso P., e BARRETO, Gilmar, *Veículos Elétricos*, Campinas, Editora da Unicamp, 1989.

BRIGATO, João, *Icarros, Quais são e quanto custam os carros elétricos no Brasil?*, 15/05/2020, in: <https://www.icarros.com.br/noticias/top-10/quais-sao-e-quanto-custam-os-carros-eletricos-no-brasil-/27972.html> , data de acesso: 02/07/2021.

BRITO, Eugênio Augusto, e REIS, Alessandro, *Gênios ou Malucos? Eles transformaram Go, Gurgel e Fusca em Elétrico*, UOL Carros, 20/05/2018, in: <https://www.uol.com.br/carros/noticias/redacao/2018/05/25/genios-ou-malucos-eles-transformaram-gol-gurgel-e-fusca-em-eletricos.htm>, data de acesso; 30/06/2021.

CABRAL, Júlio, *Volkswagen lança o primeiro caminhão elétrico fabricado no Brasil, mas preço chega a quase R\$ 1 milhão*, 13/07/2021, Auto Esporte Globo, in: <https://autoesporte.globo.com/mercado/noticia/2021/07/volkswagen-lanca-o-primeiro-caminhao-eletrico-desenvolvido-e-fabricado-no-brasil.ghtml> , data de acesso: 14/07/2021.

CÂMARA DOS DEPUTADOS, PL 3197/2019, in: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2205374> , data de acesso: 16/07/2021.

CÂMARA LEGISLATIVA DO DISTRITO FEDERAL, *Projeto Define Diretrizes para Utilização de Veículos Elétricos*, 20/05/2020, in: <https://www.cl.df.gov.br/-/projeto-define-diretrizes-para-utilizacao-de-veiculos-eletricos> , data de acesso; 16/07/2021.

CARROS NA WEB, in: <https://www.carrosnaweb.com.br/resultcompara.asp?modelos=1163-1410>, data de acesso: 11/10/2021.

CARVALHO, José Eduardo Sanson Portela de, *Análise da Viabilidade Técnico-Econômica de um Kit Elétrico para Veículos Automotores*, S/D.

CHAVES, Hildoglas Botelho, *Bancada Híbrida Combustão/Energia Elétrica'*, Trabalho de conclusão de curso de Engenharia de Energia, Universidade de Brasília, 2017.

CONFEA, *Salário Mínimo Profissional*, Conselho Federal de Engenharia e Agronomia, in: <https://www.confea.org.br/index.php/profissional/salario-minimo-profissional>, data de acesso: 01/10/2021.

CONSTANTINO, Pedro Alexandre Bento Grácio, *Conversão de um Veículo de Combustão em Elétrico*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2015.

COSTA, Marcos de Oliveira, *Projeto de Plataforma de Análise de Conversão de Tração de Veículos Com Motor a Combustão Interna Para Tração Elétrica*, Dissertação de Mestrado em Sistema Mecatrônicos, Universidade de Brasília, 2015.

CPFL ENERGIA, *Governo zera imposto de importação para carro elétrico e a hidrogênio*, in: <https://www.cpfl.com.br/sites/mobilidade-eletrica/mobilidade-e/legislacao/Paginas/Governo-zera-imposto-de-importa%C3%A7%C3%A3o-para-carro-el%C3%A9trico-e-a-hidrog%C3%AAnio.aspx> , data de acesso: 01/07/2021.

DEÁ, Rafael Possi, *JAC iEV750V é van elétrica com preço de R\$ 386.990*, Motor Show, 27/06/2021, in: <https://motorshow.com.br/jac-iev750v-e-van-eletrica-com-preco-de-r-386-990/>, data de acesso: 20/10/2021.

DELGADO, Fernanda, e GAUTO, Marcelo, *Challenges of massive adoption of electric vehicles in Brazil*, in Newsletter of the European Centre for Climate, Energy and Resource Security (EUCERS), N 92, Kings College, Londres, Maio-Agosto 2020.

DELIBERATO, André, WebMotors, *Todos os carros híbridos à venda no Brasil*, 15/03/2021, in: <https://www.webmotors.com.br/wm1/comparativos/guia-todos-os-carros-hibridos-a-venda-no-brasil> , data de acesso: 02/07/2021.

DEMENTSHUK, Márcia, *Estudantes da UFPB Criam Startup de Veículos Elétricos*, in: <https://paraiba.pb.gov.br/diretas/secretaria-da-educacao-e-da-ciencia-e-tecnologia/horizontes-da-inovacao/noticias/estudantes-da-ufpb-criam-startup-de-veiculos-eletricos> , data de acesso: 18/07/2021.

DETRAN-DF, in: <http://www.detran.df.gov.br/sisman-carta-servicos/>, data de acesso: 02/02/2021.

E-BUS RADAR, in: <https://www.ebusradar.org/>, data de acesso: 02/07/2021.

ECONOMIA UOL, in: <https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/>, data de acesso: 11/10/2021.

EDP, *Tabela de Cálculo PIS/PASEP COFINS*, in: <https://www.edp.com.br/distribuicao-sp/saiba-mais/informativos/tabela-de-calculo-pispasep-cofins>, data de acesso: 11/10/2021.

ELECTROPEDIA - Battery and Energy Technologies, *Battery Management Systems (BMS)*, in: <https://www.mpoweruk.com/bms.htm> , data de acesso: 15/06/2021.

ELS, Pedro Paulo Dunice Van et. All, *Conversão de BR800 e Dimensionamento Do Sistema de Arrefecimento*, in Congresso do 13 salão Latino-Americano de Veículos Híbridos-Elétricos, São Paulo, 2017.

ESTRADÃO ESTADÃO, *BYD lança novo furgão elétrico eT3 no Brasil com preço de R\$ 229 mil*, 25/02/2021, in: <https://estradao.estadao.com.br/caminhoes/byd-lanca-novo-furgao-eletrico-et3-no-brasil-com-preco-de-r-229-mil/> , data de acesso: 06/07/2021.

FACULDADE DO GAMA – UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, in: <http://fga.unb.br/guia-fga/historia> , data de acesso: 23/11/2020.

FERREIRA, André Luís; TSAI, David Shiling, e BOARETO, Renato, *Transição da Indústria Automotiva Brasileira: desafios e perspectivas para uma conversão alinhada à mobilidade inclusiva e de baixas emissões*, INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE – IEMA, 2021.

Fonte: ALBA, ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DA BAHIA, *Paulo Câmara Luta em Prol de Incentivos aos Carros Elétricos*, 01/04/2021, in: <https://www.al.ba.gov.br/midia-center/noticias/51209> , data de acesso: 16/07/2021.

FREITAS, Joaquim Carlos de Novaes, *Projeto e Análise ao Funcionamento de Carros Elétricos*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade do Minho, Portugal, Guimarães, 2012.

FREITAS, Renato Cunha Morais de, et. all, *Plataforma de Ensaio Para Conversão de Veículos Elétricos Com Motor de Imã Permanente Sem Escovas e Banco de Baterias*, in Congresso do 13 salão Latino-Americano de Veículos Híbridos-Elétricos, São Paulo, 2017.

G1, *Manutenção de carros elétricos pode ser até 50% mais barata, mas exige oficinas mais especializadas*, in: <https://autoesporte.globo.com/eletricos-e-hibridos/noticia/2019/09/manutencao-de-carros-eletricos-pode-ser-ate-50percent-mais-barata-mas-exige-oficinas-mais-especializadas.ghtml>, data de acesso: 11/10/2021.

GILLESPIE, Thomas D., *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, SAE, 1992.

GIORDAN, Pedro, *Garagem 360*, in: <https://garagem360.com.br/Van-eletrica-da-jac-e-lancada-no-brasil/> , data de acesso: 06/07/2021.

GOLDBARG, Marco Cesar, e LUNA, Henrique Pacca L., *Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos E Algoritmos*, 2.ed., Rio de Janeiro, Elsevier, 2005.

GOVERNO DO BRASIL, *Infraestrutura, Trânsito e Transportes – emitir certificado de adequação à legislação de trânsito*, 20/11/2020, acesso em: <https://www.gov.br/pt-br/servicos/emitir-certificado-de-adequacao-a-legislacao-de-transito-cat>, data de acesso: 26/01/2021.

GUIA DE UTILIZAÇÃO BOXER PEUGEOT, in: <https://media-ct-ndp.peugeot.com/file/75/9/boxer-br-manual-capa-v3-ed08-2018-min.500759.pdf>, data de acesso: 06/10/2021.

HILLIER, Frederick S., e LIEBERMAN, Gerald J., *Introdução à Pesquisa Operacional*, 8 ed., São Paulo, McGraw-Hill, 2006.

HOYER, K. G., *The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. Utilities Policy*, v. 16, n. 2, p. 63–71, June 2008, in: <https://ideas.repec.org/a/eee/juipol/v16y2008i2p63-71.html> , data de acesso: 23/11/2020.

IBGE, *IPCA - Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo*, in: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?=&t=series-historicas>, data de acesso: 01/09/2021.

INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE, in: <https://docente.ifrn.edu.br/edsonjose/disciplinas/fisica-i-mecanica-classica-e-termodinamica/coeficiente-de-arrasto-aerodinamico/view> , data de acesso: 08/07/2020.

KHALIL, Saleh, et all, *TECNOMOBILET – Adaption Of Van For Electric Propulsion And Design Of Steering, Cooling And Braking Assistance Subsystems*, 26th ABCM International Congress of Mechanical Engineering, November 22-26, Florianópolis, SC, Brazil, 2021.

LACERDA, Kallil Rocha, *Critérios de Escolha e Dimensionamento Para o Sistema Motriz de Um Veículo Tipo Fórmula SAE Elétrico*, Trabalho de conclusão de curso de engenharia automotiva, Universidade de Brasília, 2016.

LARMINE, J., e LOWRY, J., *Electric Vehicle Technology – Explained*, England, John Wiley & Sons Ltda, 2003.

LEGISWEB, *Resolução CONTRAN nº 380 de 28/04/2011 - Dispõe sobre a obrigatoriedade do uso do sistema antitravamento das rodas – ABS*, in: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114902>, data de acesso: 30/06/2021.

LEI 9394/1996, PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA CASA CIVIL, in: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm, data de acesso: 10/10/2021.

MANUAL DO USUÁRIO – WEG, *Inversor de Frequência CVW500*, WEG, s/l, s/d.

MARCONI, Maria de Andrade, e LAKATOS, Eva Maria, *Fundamentos de Metodologia Científica*, 5ª ed., São Paulo, Atlas, 2003.

MATO GROSSO ECONÔMICO INFORMAÇÃO E DESENVOLVIMENTO, *Projeto Que Tramita na Al Prevê Isenção de Ipva para Carros Elétricos*, 07/10/2020, in: <https://www.matogrossoeconomico.com.br/politica-e-desenvolvimento/projeto-que-tramita-na-al-preve-isencao-de-ipva-para-carros-eletricos/> , data de acesso: 16/07/2021.

MATSUBARA, Victor, UOL Carros, *Carros elétricos: quais são os modelos à venda no Brasil?*, 16/04/2021, in: <https://www.uol.com.br/carros/listas/carros-eletricos-quais-sao-os-modelos-a-venda-no-brasil.htm> , data de acesso: 02/07/2021.

MATTOS, Laura Bedeschi Rego de, *A importância do Setor de Transportes na Emissão de Gases do Efeito Estufa-o Caso do Município do Rio de Janeiro*, Tese de Doutorado defendida na Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.

MOREIRA, Nick Smaylle da Luz, *Projetos de Lei sobre Veículos elétricos*, 06/07/2021, Radar Governamental, <https://radargovernamental.com.br/projetos-de-lei-sobre-carros-eletricos/> , data de acesso: 12/07/2021.

NASCIMENTO, Alex; ELS, Rudi Henri Van, e MENEZES, Pedro Luiz, *Design of Control System for Electric Motor of Two-Stroke Hybrid 800CC Internal Combustion*

Engine, in 25th ABCM International Congress of Mechanical Engineering, Uberlândia, MG, Brazil, 2019.

NEOCHARGE, in: <https://www.neocharge.com.br/carros-eletricos-brasil> , data de acesso: 06/07/2021.

NERY, Emily, *Projeto de Lei quer zerar IPI e alíquotas de importação de veículos eletrificados*, 11/12/2020, in: <https://jornaldocarro.estadao.com.br/carros/projeto-de-lei-quer-zerar-ipi-e-aliquotas-de-importacao-de-veiculos-eletrificados/> , data de acesso: 16/07/2021.

NETO, Olavo David, *Drama de donos de Vans escolares*, *Jornal de Brasília*, 08/09/2020, in: <https://jornaldebrasil.com.br/brasil/drama-de-donos-de-Vans-escolares/> , data de acesso: 18/07/2021.

NOCE, Toshizaemom, *Estudo do Funcionamento de Veículos Elétricos e Contribuições ao seu Funcionamento*, Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo horizonte, 2010.

NORMA DE TRAÇADO – REVISÃO, Instituto de Infraestruturas Rodoviárias IP, Portugal, 2010, in: http://www.sinaldetransito.com.br/normas/norma_de_tracado.pdf , data de acesso: 10/07/2020.

OLIVEIRA, Eude C., *Modelagem e simulação de veículos elétricos e híbridos*, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

OLIVEIRA, Ricardo, *Electro Lança Kit (para conversão elétrica de carros) por R\$18.800*, Notícias Automotivas, in: <https://www.noticiasautomotivas.com.br/electro-lanca-kit-para-conversao-de-outros-modelos-custo-pode-chegar-a-r18-800/> , data de acesso: 18/07/2021.

OLIVEIRA, Túlio Costa de, *Estudo da Tecnologia Empregada em Veículos Elétricos com Autonomia Estendida: comparativo experimental com veículos híbridos*, Trabalho de conclusão de curso de engenharia automotiva, Universidade de Brasília, 2018.

OLIVEIRA, Wesley Rodrigues de, *Uma Análise Sobre Inversores De Frequência E Distorções Harmônicas E Inter-Harmônicas*, Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

ORTIZ, Brenda, *Conta de luz fica mais cara no DF após reajuste da Aneel*, G1, 01/12/2020, in: <https://g1.globo.com/df/distrito-federal/noticia/2020/12/01/conta-de-luz-fica-mais-cara-no-df-apos-reajuste-da-aneel.ghtml>, data de acesso: 11/10/2021.

PAIVA, Igor Ruíra, *O Uso da Internet das Coisas na Indústria Automobilística Brasileira*, Trabalho de Conclusão de Curso em Administração, Universidade Federal de Uberlândia, 2019.

PERES, Luiz Artur Pecorelli, et. all, *Análise e Estudos da Conversão de uma Kombi para Tração Elétrica*, Artigo apresentado no VE 2007 - 5º Seminário e Exposição de Veículos Elétricos A Bateria, Híbridos e de Célula Combustível, Centro Cultural Light –, Rio de Janeiro, 2007.

PIETRO, Gabriel, *Engenheira Capixaba Instala Motor Elétrico em Fusca e Deixa de Usar Gasolina*, 04/09/2019, in: <https://razoesparaacreditar.com/fusca-carro-eletrico-brasil/> , data de acesso: 18/07/2021.

PLANALTO, Presidência da República – Casa Civil, in: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2009/lei/111910.htm#:~:text=L11910&text=LEI%20N%C2%BA%2011.910%2C%20DE%2018,suplementar%20de%20reten%C3%A7%C3%A3o%20D%20air%20bag., data de acesso: 30/06/2021.

PLUGSHARE, in: <https://www.plugshare.com/> , data de acesso: 17/07/2021.

PORTAL DA CIDADE GUAXUPÉ, *Projeto de Lei quer Dar Incentivos à Utilização de Veículos Sustentáveis em MG*, 08/04/2021, in: <https://guaxupe.portaldacidade.com/noticias/politica/projeto-de-lei-quer-dar-incentivos-a-utilizacao-de-veiculos-sustentaveis-em-mg-2617> , data de acesso: 17/07/2021.

PORTELLA DE CARVALHO, José Eduardo Sanson, *Análise da Viabilidade Técnico-econômica de um Kit Elétrico para Veículos Automotores*, Monografia de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica, s/d.

PREÇO DOS COMBUSTÍVEIS, in: <https://precodoscombustiveis.com.br/pt-br/city/brasil/distrito-federal/brasil/5564>, data de acesso: 11/10/2021.

PRIMO, Júlio César Tavares, *Remodelagem e Modernização de Veículos Em Fim de Vida*, Trabalho de conclusão de curso de engenharia automotiva, Universidade de Brasília, 2019.

RIBEIRO, Alex do Nascimento, *Caracterização de Frenagem Regenerativa de Veículo Elétrico Com Motor de Indução Considerando Marcha e Tempo de Desaceleração*, Trabalho de conclusão de curso de engenharia elétrica, Universidade de Brasília, 2017.

RIBEIRO, Alex do Nascimento; MENEGHIN, Pedro, e ELS, Rudi Henri Van, *Developing Technology for a Brazilian Hybrid Electric Mini Car*, Pp. 1--10 in 2nd Latin American Conference Sustainable Development on Energy, Water and Environmental Systems, edited by SDEWES, Buenos Aires, 2020.

RIBEIRO, Rodrigo, Revista Quatro Rodas, *Correio Técnico: dá para instalar Airbags e ABS em carro antigo?*, publicado em 15/02/2019, atualizado em 23/12/2020, in: <https://quatorrodas.abril.com.br/auto-servico/correio-tecnico-da-para-instalar-airbags-e-abs-em-carro-antigo/#:~:text=Isso%20porque%20muitos%20modelos%20escondem,a%20abertura%20ocorreta%20do%20airbag.&text=Isso%20faz%20com%20que%20a,%24%202020.000%20C%20dependendo%20do%20modelo>, data de acesso: 30/06/2021.

ROCHA SANTOS, Ana Carolina Fabrício da, *Análise da Viabilidade Técnica e Econômica de um Veículo Elétrico Versus Veículo a Combustão*, Monografia de Curso de Especialização em Eficiência Energética, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2017.

RODRIGUES, Julio Cesar Bortolini Rodrigues, *Dimensionamento do Sistema de Tração para Veículos Elétricos: tração dianteira in-wheel*, Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Eletrônica na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

ROTA 2030, *Benefícios do Rota 2030*, in: <https://www.rota2030.com.br/beneficios-fiscais-rota-2030/>, data de acesso: 16/07/2021.

ROTA 2030, *O que é o Rota 2030?*, in: <https://www.rota2030.com.br/rota-2030-inovacao/>, data de acesso: 16/07/2021.

SAMPAIO, Nuno Miguel Alves, *Estudo da Viabilidade Técnica e Econômica da Conversão para Veículo Elétrico*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica apresentada no Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal, 2012.

SANTOS, Ana Carolina Fabrício da Rocha, *Análise de Viabilidade Técnica e Econômica de um Veículo Elétrico versus Veículo a Combustão*, Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do grau de Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos na Universidade Federal de Santa Maria, Santana do Livramento, 2017.

SCHALTZ, Erik, *Electrical Vehicle Design and Modeling*, Published in: *Electric Vehicles - Modelling and Simulations*, 1 ed., p. 1-24, 12/09/2011, in: <https://www.intechopen.com/books/electric-vehicles-modelling-and-simulations/electrical-vehicle-design-and-modeling>, data de acesso: 30/06/2021.

SENADO, *Projeto de Lei do Senado nº 454, de 2017*, Atividade Legislativa, in: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/131656>, data de acesso: 16/07/2021.

CARROS NA WEB, in: <https://www.carrosnaweb.com.br/resultcompara.asp?modelos=1163-1410>, data de acesso: 11/10/2021.

SILVA, Cleide, *Empresas Investem no “retrofit” de Veículos a Combustão para Elétricos*, Terra, 08/03/2021, in: <https://www.terra.com.br/economia/empresas-investem-no-retrofit-de-veiculos-a-combustao-para-eletricos.e0828b71dd8f25a6ff1ed7f40e4382f4a2om03q2.html> , data de acesso: 18/07/2021.

SILVA, Jardel Eugenio da Silva, *Veículos Elétricos e a Geração Distribuída a Partir de Sistemas Fotovoltaicos*, Dissertação de Conclusão de Curso para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

SILVA, Matheus Barros, e SOUSA, Victor Hugo de, *Sistemas Híbrido-Hidráulicos e Híbridoelétricos para Geração de Potência Mecânica: recuperação parcial da energia de frenagem*, Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Automotiva na Faculdade do Gama – UnB, Brasília, 2016.

SILVEIRA, Fernando Lang, *Inclinações das Ruas e das Estradas*, Instituto de Física da UFRGS, publicado na revista Física na Escola, V. 8, N. 2, 2007.

SUEHARA, Bruno; REZENDE, Claudia; QUINTILIANO, Glayson ; GONÇALVES, Jessica; SILVEIRA, João; NUNES, Luiz; AOYAMA, Natália; NEVES, Raniere, e Túlio Pereira, *Projeto Integrador 2: Bancada de Testes Para Motor Do Veículo Elétrico*, Faculdade UnB-Gama, 2012.

TANAKA, Carlos Naomi, *Metodologia do Dimensionamento do Sistema de Tração para Veículos Elétricos*, Dissertação de Mestrado apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

TESLA, in: www.tesla.com , data de acesso: 18/06/2021.

TORRES, Camila, *Primeiro Carro-Forte Elétrico do Mundo é Brasileiro, e Bota Forte Nisso*, MobiAuto, 14/07/2021, in: <https://www.mobiauto.com.br/revista/primeiro-carro-forte-eletrico-no-mundo-e-brasileiro-e-bota-forte-nisso/984> , data de acesso: 19/07/2021.

VANSCONCELLOS, Hygino, UOL Carros, *Prédios Novos em SP Serão Obrigados a ter Recarga para Carros Elétricos*, 26/03/2021, in: <https://www.uol.com.br/carros/noticias/redacao/2021/03/26/predios-novos-em-sp-serao-obrigados-a-ter-recarga-para-carros-eletricos.htm?cmpid=copiaecola> , data de acesso: 12/07/2021.

VASCONCELOS, Paulo Salim Daher, *Estudo De Viabilidade Técnica E Econômica De Um Veículo Elétrico Urbano De Carga*, Monografia apresentada ao curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

VIEIRA, Marcus Vinícius Barbosa; ELS, Rudi Henri Van, e KHALIL, Saleh Barbosa Khalil, *Avaliação de Um Veículo a Combustão Interna Convertido Para Tração Elétrica*, p. 1-9, in Congresso de iniciação científica Universidade de Brasília, 2015.

VRUM, site especializado em dados de veículos, in: <https://www.vrum.com.br/fichatecnica/Peugeot/BOXER/2009/024093-1>, data de acesso: 10/09/2020.

WINSTON, Wayne L., *Operations Research Applications and Algorithms*, 4 ed., Indiana, Estados Unidos, Thomson, 2004.

APÊNDICES

Apêndice A – Códigos Desenvolvidos

Código Desenvolvido em Matlab

Obtém os dados de arquivo GPX, lê-os e calcula a potência e a energia necessárias para o veículo percorrer o trajeto proposto:

```
%Limpa a janela de comando
clc
clear

%Início da primeira parte do código
%Essa parte tem por objetivo calcular as necessidades de potência e
energia
%do veículo em função do trajeto informado pelo usuário por meio de
arquivo
%gpx com os dados da trajetória do veículo

%Entrada de dados
%Seleção do tipo de veículo e de coeficiente aerodinâmico
list = {'Bicicleta (0.9)', 'Motocicleta (0.7)', 'Carro Esportivo
(0.3)', 'Carro Hatch (0.4)', 'Carro Conversível (0.7)' ...
'Carro Sedan (0.4)', 'SUV (0.5)', 'Utilitário (0.5)', 'Van (0.7)',
'Minibus (0.8)'};
[indx,tf] = listdlg('PromptString',{'Selecione o tipo de veículo
(Cx):'}, 'SelectionMode',...
'single', 'ListString', list);
veiculo = [indx, tf];
if veiculo(1) == 1
    Cd = 0.9;           %bicibleta
elseif veiculo(1) == 2
    Cd = 0.7;           %motocicleta
elseif veiculo(1) == 3
    Cd = 0.3;           %carro esportivo
elseif veiculo(1) == 4
    Cd = 0.4;           %carro hatch
elseif veiculo(1) == 5
    Cd = 0.7;           %conversível aberto
elseif veiculo(1) == 6
    Cd = 0.4;           %carro sedan
elseif veiculo(1) == 7
    Cd = 0.5;           %SUV
elseif veiculo(1) == 8
    Cd = 0.5;           %utilitário
elseif veiculo(1) == 9
    Cd = 0.7;           %VAN
elseif veiculo(1) == 10
    Cd = 0.8;           %minibus
end
Cd = Cd; % Coeficiente aerodinâmico final
```

```

%Entrada do nome do arquivo e dados do veículo
prompt = {'Digite o nome do arquivo gpx:', 'Digite a massa total do
veículo (massa do veículo + massa da carga total) em kg (substitua ", "
por "."):', ...
'Digite a largura do veículo, em metros (substitua ", " por "."):',
...
'Digite a altura do veículo, em metros (substitua ", " por "."):',
...
'Digite o coeficiente aerodinâmico do veículo (caso não saiba,
digite 0):'};
dlgtitle = 'Input';
dims = [1 35];
definput = {'', '', '', '', ''};
answer = inputdlg(prompt, dlgtitle, dims, definput)
arquivo = (answer{1}); %Arquivo gpx
M = str2num(answer{2}); %Massa total do veículo
L = str2num(answer{3}); %Largura do veículo em metros
h = str2num(answer{4}); %Altura do veículo em metros
Cddigitado = str2num(answer{5}); %coeficiente aerodinâmico digitado
pelo usuário

if Cddigitado ~= 0
    Ck = Cddigitado;
else
    Ck = Cd;
end
Cd = Ck; % Coeficiente aerodinâmico final

%importando o arquivo gpx e estabelecendo limites de print da rota no
mapa
route = gpxread(arquivo, 'FeatureType', 'track', 'Index', 1:2)
%Variáveis importadas gpx
lon = route.Longitude;
lat = route.Latitude;
ele = route.Elevation;
tempo = route.Time;

%Plotando o gráfico da rota percorrida
%estabelecendo limites longitudinais e latitudinais do gráfico
[latlim, lonlim] = geoquadline(route.Latitude, route.Longitude);
[latlim, lonlim] = bufgeoquad(latlim, lonlim, .05, .05);
%printa o gráfico da rota
%fig = figure;
%pos = fig.Position;
%fig.Position = [150 150 1.25*pos(3) 1.25*pos(4)];
%ax = usamap(latlim, lonlim);
%setm(ax, 'MLabelParallel', 43.5);
%geoshow(route.Latitude, route.Longitude)

%imprimindo a rota a partir de mapa do streetgoogle
webmap('openstreetmap')
wmline(route, 'Color', 'r')
%estabelece latitude e longitude da impressão da rota no mapa
[latlim, lonlim] = geoquadline(route(1).Latitude, route(1).Longitude);
wmlimits(latlim, lonlim)

%Converte o tempo de string para número
timeStr = strrep(tempo, 'T', ' ');
timeStr = strrep(timeStr, '.Z', '');
route.DateNumber = datenum(timeStr, 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS');
dStr = datestr(route.DateNumber, 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS', 'local');

```

```

day = fix(route.DateNumber(1));
route.TimeOfDay = route.DateNumber - day;
%Converte o tempo de horário para tempo decorrido ao longo do trajeto
route.ElapsedTime = route.TimeOfDay - route.TimeOfDay(1);
tempodecorrido = route.ElapsedTime(2 : end);    %tempo em minutos,
horas e segundos

%Imprime a elevação
figure
area(route.TimeOfDay, ele)
datetick('x', 13, 'keepticks', 'keeplimits')
ylim([min(ele) max(ele)])
ylabel('Elevação (metros)')
xlabel('tempo decorrido (horas:minutos:segundos)')
title({'Elevação da Área', datestr(day)})

%Plota a distância percorrida acumulada e não acumulada em metros
e = wgs84Ellipsoid;
d = distance(lat(1:end-1), lon(1:end-1), lat(2:end), lon(2:end), e);
%calcula a distância percorrida em metros
figure
[hAx,hLine1,hLine2] = plotyy(tempodecorrido, cumsum(d),
tempodecorrido, d);
datetick('x', 13, 'keepticks', 'keeplimits')
ylabel(hAx(1), 'Distância Percorrida Acumulada (m)')
ylabel(hAx(2), 'Distância Percorrida (m)')
xlabel('Tempo decorrido (horas:minutos:segundos)')
title({'Distância Percorrida em Metros',...
      ['Distância Total (Km): ' num2str(sum(d)/1000)]});
%datestr(day)

%Calcula o ângulo de inclinação da pista
[gpsx,gpsy,gpsz] = geodetic2enu(lat, lon, ele, lat(1), lon(1), ele(1),
e);    %coordenadas
slopegraus = atand(diff(gpsz)./sqrt(diff(gpsx).^2 + diff(gpsy).^2));
%Calculando o ângulo (graus) com a função tangente
slopeout = filloutliers(slopegraus, 'linear');    %Retira outliers de
"slopegraus"
slope = movavg(slopeout, 4, 20, 1);    %Suavização do ângulo de
inclinação com média móvel de 4 pontos
sloperad = deg2rad(slope);    %transforma a variável "slope" em
radianos
slopemax = max(slope);    %Inclinação máxima atingida durante o
trajeto

%Plota o gráfico do ângulo de inclinação calculado pela função
tangente
figure
plot(tempodecorrido,slope)
datetick('x', 13, 'keepticks', 'keeplimits')
ylabel('ângulo de inclinação da pista (graus)')
xlabel('Tempo decorrido (horas:minutos:segundos)')
title({'Ângulo de Inclinação da Pista (ATAN) em Graus',
datestr(day),...
      ['Inclinação Máxima do Trajeto em Graus: ' num2str(slopemax)]});

%Ajusta o tempo
tacumulado = tempodecorrido.*(24*3600);
tdiff = diff(tacumulado);
tempocompleto = [tacumulado(1) tdiff];
t = tempocompleto;    %tempo, em segundos, decorrido entre cada ponto
de captura de dados ao longo do trajeto

```

```

somat = sum(t);
n = length(t);           %Dá o comprimento dos vetores usados nos
cálculos

%Calcula a velocidade em Km/h
for i = 1:n
    Vkm(i) = d(i)/t(i);   %calcula a velocidade em km/h
end
Vkm = filloutliers(Vkm.*(3600/1000), 'linear'); %Substitui outliers
por valor obtido por interpolação linear
Vkm(1) = [0];           %substitui o primeiro valor de velocidade
do vetor por zero
Vkm = Vkm;
VMax = max(Vkm);        %Velocidade máxima no trecho em km/h
V = Vkm.*(1000/3600);   %Velocidade em metros por segundo

%Plota a velocidade em função do tempo em km/h
figure
plot(tempodecorrido, Vkm)
datetick('x', 13, 'kepticks', 'keeplimits')
ylabel('velocidade (km/hora)')
xlabel('Tempo decorrido (horas:minutos:segundos)')
title({'Velocidade em Km por Hora', datestr(day),...
      ['Velocidade Máxima Atingida no Trajeto em Km/h: '
num2str(VMax)]});

%Calcula a aceleração em m/s^2
dV = diff(V);           %Diferencia a velocidade
VV = [V(1) dV]; %Acrescenta o primeiro valor perdido na diferenciação
ao vetor velocidade diferenciada
for i = 1:n
    acel(i) = VV(i)/t(i); %Divide a velocidade diferenciada
pelo tempo gasto em cada trecho
end
acel = acel(:);
nacel = length(acel);   %comprimento do vetor aceleração

%Estabelece o limite de aceleração máxima do veículo
%Serve para corrigir erro de cálculo de aceleração a partir de dados
do GPS
mediaacel = mean(acel);
desvio = std(acel);
for i = 1:n
    limitesup = mediaacel + 3*desvio;
    limiteinf = mediaacel - 3*desvio;

    if acel(i) > limitesup
        acel(i) = limitesup;
    elseif acel(i) < limiteinf
        acel(i) = limiteinf;
    else
        acel(i) = acel(i);
    end
end
acel = acel(:);
acel = movavg(acel, 4, 20, 1); %Suaviza a aceleração com média móvel
de 4 pontos

%Plota a aceleração em m/s^2
figure
plot(tempodecorrido, acel)
datetick('x', 13, 'kepticks', 'keeplimits')

```

```

ylabel('aceleração (m/s^2)')
xlabel('Tempo decorrido (horas:minutos:segundos)')
title({'Aceleração em Metros por Segundo Quadrado', datestr(day),...
      ['Distância Total (Km): ' num2str(sum(d)/1000)]});

%Parâmetros de entrada
p = 1.22557;           % Rho = densidade do ar (kg/m^3)
Vv = 3.6;             % Velocidade do vento m/s
g = 9.81066;         % Aceleração da gravidade (m/s^2)
A = (h - 0.25) * L;   % Área do veículo calculada em m^2
Cd = Cd;             % Coeficiente aerodinâmico
angulo = sloperad;    % Ângulo de inclinação da pista em radianos
%n = nacel;

%Calcula a Força de Resistência Aerodinâmica em Newtons
for i = 1:n
    Fa(i) = 0.5*p*A*Cd.*(V(i)+Vv).^2;           % Força
aerodinâmica (N)
end
Fa = Fa(:);
Famax = max(Fa);           %Valor máximo da Fa no trecho em Newtons
%Plota a Força de Resistência Aerodinâmica em Newtons
%figure
%plot(tempodecorrido, Fa)
%datetick('x', 13, 'keepticks', 'keeplimits')
%ylabel('Força de Resistência Aerodinâmica (N)')
%xlabel('Tempo decorrido (horas:minutos:segundos)')
%title({'Força de Resistência Aerodinâmica em Newtons - Fa',
datestr(day),...
%      ['Valor máximo da Fa no trecho em Newtons: ' num2str(Famax)]});

%Calcula a Força de Resistência ao Rolamento em Newtons
for i = 1:n
    fr(i) = 0.01.*(1 + 0.01.*V(i));           %Coeficiente de resistência
ao rolamento (N)
    Fr(i) = fr(i).*(M*g).*cos(angulo(i));     %Força de resistência ao
rolamento (N)
end
Fr = Fr(:);
Frmax = max(Fr);           %Valor máximo da Fr no trecho em Newtons
%Plota a Força de Resistência ao Rolamento em Newtons
%figure
%plot(tempodecorrido, Fr)
%datetick('x', 13, 'keepticks', 'keeplimits')
%ylabel('Força de Resistência ao Rolamento (N)')
%xlabel('Tempo decorrido (horas:minutos:segundos)')
%title({'Força de Resistência ao Rolamento em Newtons - Fr',
datestr(day),...
%      ['Valor máximo da Fr no trecho em Newtons: ' num2str(Frmax)]});

%Calcula a Força de Resistência ao Plano Inclinado em Newtons
for i = 1:n
    Fhx(i) = M*g.*sin(angulo(i));           % Força de resistência do
plano inclinado (N)
end
Fhx = Fhx(:);
Fhxmax = max(Fhx);         %Valor máximo da Fhx no trecho em Newtons
%Plota a Força de Resistência ao Plano Inclinado em Newtons
%figure
%plot(tempodecorrido, Fhx)
%datetick('x', 13, 'keepticks', 'keeplimits')
%ylabel('Força de Resistência ao Plano Inclinado (N)')

```

```

xlabel('Tempo decorrido (horas:minutos:segundos)')
title({'Força de Resistência ao Plano Inclinado em Newtons - Fhx',
datestr(day),...
% ['Valor máximo da Fhx no trecho em Newtons: ' num2str(Fhxmax)]});

%Calcula a Força de Resistência à Aceleração em Newtons
for i = 1:n
    Fca(i) = 1.05*M.*acel(i); % Força de
resistência à aceleração (N)
end
Fca = Fca(:);
Fcamax = max(Fca); %Valor máximo da Fca no trecho em Newtons
%Plota a Força de Resistência à Aceleração em Newtons
%figure
%plot(tempodecorrido, Fca)
%datetick('x', 13, 'keepticks', 'keeplimits')
%ylabel('Força de Resistência à Aceleração (N)')
%xlabel('Tempo decorrido (horas:minutos:segundos)')
%title({'Força de Resistência à Aceleração em Newtons - Fca',
datestr(day),...
% ['Valor máximo da Fca no trecho em Newtons: ' num2str(Fcamax)]});

%Calcula a Força Total em Newtons
for i = 1:n
    Ft(i) = Fa(i) + Fr(i) + Fhx(i) + Fca(i); % Força
total (N)
end
Ft = Ft(:);
Ftmax = max(Ft); %Valor máximo da Ft no trecho em Newtons
%Plota a Força Total em Newtons
%figure
%plot(tempodecorrido, Ft)
%datetick('x', 13, 'keepticks', 'keeplimits')
%ylabel('Força Total (N)')
%xlabel('Tempo decorrido (horas:minutos:segundos)')
%title({'Força Total em Newtons - Ft', datestr(day),...
% ['Valor máximo da Ft no trecho em Newtons: ' num2str(Ftmax)]});

%Calcula a Potência em Watts
for i = 1:n
    Pt(i) = Ft(i).*V(i); % Potência (W)
    if Pt(i) > 0
        Pt(i) = Pt(i);
    else
        Pt(i) = 0;
    end
end
Pt = Pt(:);

%Estabelece limite de 3 desvios padrões para controle de outliers
mediaPt = mean(Pt);
desvioPt = std(Pt);
for i = 1:n
    limsup = mediaPt + 4 * desvioPt;

    if Pt(i) > limsup
        Pt(i) = limsup;
    else
        Pt(i) = Pt(i);
    end
end
Pt = Pt(:); % Potência (W)

```

```

PtMaxima = max(Pt);           %Valor máximo de potência em Watts
PtMedia = mean(Pt);          %Valor médio de potência em Watts
PtMaximaKW = PtMaxima/1000;   %Valor máximo de potência em kW
PtMediaKW = PtMedia/1000;    %Valor médio de potência em kW
PmMediakW = PtMediaKW/0.95;  %Valor de potência média para escolha
do motor considerando eficiência
PmMaximakW = PtMaximaKW/0.95; %Valor de potência máxima para escolha
do motor considerando eficiência

%Plota a Potência em Watts
figure
plot(tempodecorrido, Pt)
datetick('x', 13, 'keepticks', 'keeplimits')
ylabel('Potência (W)')
xlabel('Tempo decorrido (horas:minutos:segundos)')
title({'Potência em Watts', datestr(day),...
      ['Potência Máxima (kW): ' num2str(PtMaximaKW)],...
      ['Potência Média (kW): ' num2str(PtMediaKW)]});

%Calcula a Potência em CV
Ptcv = 0.0013596.*Pt(:);      %Potência (cv)
PtcvMaxima = max(Ptcv);       %Valor máximo de potência em CV
PtcvMedia = mean(Ptcv);       %Valor médio de potência em CV
PmMediacv = PtcvMedia/0.95;   %Valor de potência média para escolha
do motor considerando eficiência
PmMaximacv = PtcvMaxima/0.95; %Valor de potência máxima para escolha
do motor considerando eficiência

%Plota a Potência em CV
figure
plot(tempodecorrido, Ptcv)
datetick('x', 13, 'keepticks', 'keeplimits')
ylabel('Potência (CV)')
xlabel('Tempo decorrido (horas:minutos:segundos)')
title({'Potência em CV', datestr(day),...
      ['Potência Máxima em CV: ' num2str(PtcvMaxima)],...
      ['Potência Média em CV: ' num2str(PtcvMedia)]});

%Plota a potência em CV e a Velocidade em Km/h
figure
[hAx,hLine1,hLine2] = plotyy(tempodecorrido, Ptcv, tempodecorrido, V);
datetick('x', 13, 'keepticks', 'keeplimits')
ylabel(hAx(1), 'Potência (CV)')
ylabel(hAx(2), 'Velocidade (m/s)')
xlabel('Tempo decorrido (horas:minutos:segundos)')
title({'Potência e Velocidade x Tempo', datestr(day)})

tacum = cumsum(t);           %Calcula o tempo acumulado para
o período analisado
Energiatotal = trapz(tacum,Pt); %calcula a energia total em
Watts
EnergiatotalKW = Energiatotal/1000; %calcula a energia total em kW
EnergiaAcum = cumtrapz(tacum,Pt); %calcula a energia acumulada no
tempo em Watts
EnergiaDiff = diff(EnergiaAcum); %Diferencia a energia acumulada
em Watts
EnergiatotalKWH = EnergiatotalKW/3600; %Calcula energia em kWh

%Plota a Energia Acumulada em Watts
figure
plot(tempodecorrido, EnergiaAcum)
datetick('x', 13, 'keepticks', 'keeplimits')

```

```

ylabel('Energia (W)')
xlabel('Tempo decorrido (horas:minutos:segundos)')
title({'Energia Acumulada em Watts', datestr(day),...
      ['Energia Total (kWh): ' num2str(EnergiatotalKWH)]});

Energia = [0; Energiadiff]; %Energia em Watts
Energia = Energia(:); %Energia diferenciada em Watts
%Plota a Energia não acumulada em Watts
figure
plot(tempodecorrido, Energia)
datetick('x', 13, 'kepticks', 'keeplimits')
ylabel('Energia (W)')
xlabel('Tempo decorrido (horas:minutos:segundos)')
title({'Energia em Watts', datestr(day),...
      ['Energia Total (kWh): ' num2str(EnergiatotalKWH)]});

%Tabelas Dimensionamento Potência Energia Total
%Entradas
Parametros = ["MassaVeiculo+Carga"; "Largura do Veículo"; "Altura do
Veículo"; "Coeficiente Aerodinâmico"];
Valores = [M; L; h; Cd];
Unidades = ['Kg'; ' m'; ' m'; '--'];
Tabela_de_Entradas_1 = table(Parametros, Valores, Unidades)
%Saídas
tempodepercurso = somat/3600;
dddd = sum(d)/1000;
eficienciamotor = 0.95;
Saidas = ["Tempo do Percurso"; "Distância Percorrida"; "Inclinação
Máxima"; "Velocidade Máxima"; "Potência Média Percurso"; "Potência
Máxima Percurso"; "Potência Média Percurso"; "Potência Máxima
Percurso"; "Eficiência Motor"; "Potência Média Motor"; "Potência
Máxima Motor"; "Potência Média Motor"; "Potência Máxima Motor";
"Energia Total"];
Valores = [tempodepercurso; dddd; slopemax; VMax; PtMediaKW;
PtMaximaKW; PtcvMedia; PtcvMaxima; eficienciamotor; PmMediakW;
PmMaximakW; PmMediacv; PmMaximacv; EnergiatotalKWH];
Unidades = ['h.min'; ' km'; ' graus'; ' km/h'; ' kW'; ' kW'; '
CV'; ' CV'; '----'; ' kW'; ' kW'; ' CV'; ' CV'; ' kWh'];
Tabela_de_Saidas_1 = table(Saidas, Valores, Unidades)

%Fim da primeira parte do código

%Início da segunda parte do código

%Essa segunda parte tem por objetivo otimizar a quantidade de baterias
a ser
%instalada no veículo a partir de dados informados pelo usuário

%Entrada do nome do arquivo e dados das paradas ao longo do trajeto
prompt = {'Digite o número de paradas, incluindo a saída e a chegada,
e clique em "OK". Considere a saída como parada 1. Considere a última
parada como ponto de chegada. - ',...
        '(Caso não deseje dimensionar a quantidade de baterias para o
veículo, clique em "Cancel") : '};
dlgtitle = 'Input';
dims = [1 35];
definput = {' '};
answer = inputdlg(prompt,dlgtitle,dims,definput);
%Número de paradas
Nparadas = str2num(answer{1}); %número total de paradas
k = Nparadas; %k = número de paradas que o usuário irá inserir
p = 1:1:k;

```

```

zeros(k,k);

%dados do tempo de parada em cada parada
Tempoparada = k;
prompts = cell(1, Tempoparada);
prompts(1:1:end) = compose('Digite, em minutos, o tempo de parada na
parada %d (considere a saída como parada 1). Na última parada,
considerada ponto de chegada, digite zero. Use apenas valores
inteiros, sem casas decimais:', 1:Tempoparada);
outtempo = inputdlg(prompts);
%Prepara os dados dos tempos de parada
for i = 1:k
    tdg(i)=str2num(outtempo{i});    %converte os valores de tempo
digitados para número
    tdg(k) = 0;
    t = [tdg];
end
tempodig = [t];    %tempo de carregamento em cada parada digitado pelo
usuário

%dados da distância entre cada parada
for i = 1:k-1
    Distentreparadas = k;
    prompts = cell(1, Distentreparadas);
    prompts(1:1:i) = compose(['Digite, em km, a distância entre a
Parada: %d e a Parada: ' num2str(i+1) '.\n(Considere a saída como
parada 1 e, a última parada, como ponto de chegada).\nUse ponto no
lugar de vírgula:'], 1:i);
    outdistancia(i) = inputdlg(prompts(i));
    x(i) = str2num(outdistancia{i}); %converte os valores de distância
entre paradas digitados para número
    ddd(i) = x(i);
end
distdig1 = [ddd]; %valores de distância digitados pelo usuário
distdigoriginal = [0 distdig1]; %valores de distância digitados pelo
usuário
distdig = [cumsum(distdig1)];
distdig = [0 distdig]; %vetor com soma acumulada dos valores de
distância digitados pelo usuário
%Corrigindo o último valor da distância digitada pelo usuário
disttraj = cumsum(d)/1000; %distância medida acumulada de todo o
trajeto
ndisttraj = length(disttraj);
x = distdig;
n = length(x);
for i = n:n
    if x(i) > disttraj(ndisttraj)
        x(i) = disttraj(ndisttraj);
    %elseif x(i) < disttraj(ndisttraj)
        %distdiff = disttraj(ndisttraj)-x(i);
        %msgbox(['A distância do último trecho difere da distância
medida por ' num2str(distdiff) 'km . Deseja manter a distância
informada ou permite que o algoritmo corrija o valor informado para
utilizar toda a distância do percurso mapeado pelo GPS?:'])
        %if resposta == sim
            %x(i) = x(i);
        %else
            %x(i) = disttraj(ndisttraj)
        %end
    else
        x(i) = x(i);
    end
end
end

```

```

distdig = [x]; %distância digitada corrigida

%Entrada dos Parâmetros das baterias e do carregador
prompt = {'Digite o valor da tensão da bateria em Volts (substitua ","
por "."):','...
'Digite o valor da Capacidade Nominal da Bateria em Ah (substitua
"," por "."):','...
'Digite a largura da bateria, em mm (substitua "," por "."):','...
'Digite a altura da bateria, em mm (substitua "," por "."):','...
'Digite o comprimento da bateria, em mm (substitua "," por "."):','
...
'Digite o custo/preço da bateria em unidade monetária $$
(substitua "," por "."):','...
'Digite o valor da Capacidade Nominal do Carregador em Ah
(substitua "," por ".") - (Caso desconheça o valor, digite 0 (zero), e
o algoritmo usará o valor padrão de 10 Ah):'};
dlgtitle = 'Input';
dims = [1 35];
definput = {' ',' ',' ',' ',' ',' ',' '};
answer = inputdlg(prompt,dlgtitle,dims,definput)
Tensao = str2num(answer{1}); %tensão [volts]
CNC = str2num(answer{2}); %Capacidade Nominal da Bateria [Ah]
LB = str2num(answer{3}); %Largura da bateria em mm
HBat = str2num(answer{4}); %Altura da bateria em mm
cmB = str2num(answer{5}); %Comprimento da bateria em mm
Custo = str2num(answer{6}); %Custo/Preço da bateria em unidade
monetária $$
CNC = str2num(answer{7}); %Capacidade Nominal do Carregador
[Ah]

if CNC == 0
    CNC = 10;
else
    CNC = CNC;
end
CNC = CNC;

%Entrada dos dados do veículo
prompt = {'Digite o comprimento do local destinado às baterias dentro
do veículo, em mm (substitua "," por "."):','...
'Digite a largura do local destinado às baterias dentro do
veículo, em mm (substitua "," por "."):','...
'Digite a altura do local destinado às baterias dentro do veículo,
em mm (substitua "," por "."):'};
dlgtitle = 'Input';
dims = [1 35];
definput = {' ',' ',' ',' '};
answer = inputdlg(prompt,dlgtitle,dims,definput)
CompCarro = str2num(answer{1}); %Comprimento do compartimento
do carro destinado às baterias em mm
LCarro = str2num(answer{2}); %Largura do compartimento do carro
destinado às baterias em mm
HCarro = str2num(answer{3}); %Altura do compartimento do carro
destinado às baterias em mm

%Entrada do Coeficiente de Segurança CS
prompt = ["Escolha o Fator de Segurança a ser", "utilizado no cálculo
de otimização", "da quantidade de baterias:"];
list = {'CS = 0', 'CS = 10%', 'CS = 20%', 'CS = 30%', 'CS = 40%', 'CS =
50%'};
[indx,tf] = listdlg('PromptString', prompt, 'SelectionMode', 'single',
'ListString', list, 'Listsize', [200 125]);

```

```

veiculo = [indx, tf];
if veiculo(1) == 1
    CS = 0;
elseif veiculo(1) == 2
    CS = 0.1;
elseif veiculo(1) == 3
    CS = 0.2;
elseif veiculo(1) == 4
    CS = 0.3;
elseif veiculo(1) == 5
    CS = 0.4;
elseif veiculo(1) == 6
    CS = 0.5;
end
CS = CS;    % Coeficiente aerodinâmico final

%Parâmetros usados no cálculo de otimização da quantidade de baterias
EspacoVeiculo = (HCarro*LCarro*CompCarro)/(1000000);    %Volume
destinado ao conjunto de baterias no veículo em litros;
VolBat = (LB*HBat*cmB)/(1000000);    %Volume de cada bateria
litros;
TempoCarregamento = CNB/CNC;    %Tempo de carregamento
total de cada bateria;
Densidade = (CNB*Tensao)/VolBat;    %Densidade de Energia
de cada bateria em Wh/l;
TaxaCarregamento = Densidade/(TempoCarregamento*60);    %Em
W/l*min;
Carregamentolimite = [TaxaCarregamento.*tempodig];
DEBat = (1-CS)*Densidade;    %Densidade de Energia de cada bateria em
Wh/l considerando o coeficiente de segurança CS;

T = [tempodig];
Carregamento = zeros();
for i = 1:k
    Carregamento(i) = TaxaCarregamento*T(i);    %Quantidade de energia
carregada em cada parada em W/l por bateria;
    if Carregamento(i) > DEBat
        Carregamento(i) = DEBat;
    else
        Carregamento(i) = Carregamento(i);
    end
end
end

Carreg = [Carregamento];    %Quantidade de energia carregada em cada
parada em W/l por bateria;

%Pega os valores de energia consumida e plota os gráficos
ind = zeros();
for i = 1:n
    ind(i) = nearest(find((distdig(i)<=disttraj), 1));    %pega valores
recebidos do usuário e procura suas posições no vetor disttraj
    valoresdist(i) = disttraj(ind(i));    %Pega os valores aproximados
de distância no vetor disttraj
    valoresEne(i) = Energia(ind(i));    %Pega os valores
aproximados de energia no vetor Energia, em Watts
end
ind = [ind];
valoresdist = [valoresdist];    %armazena os valores de distância
valoresEne = [valoresEne];    %armazena os valores de energia
%Converte vetor em matriz com repetição de valores
nc = 2;    %número de colunas em B
nc = nc-1;

```

```

c = 1:(length(ind)-nc);
B = cell2mat(cellfun(@(n) ind(n:(n+nc)), num2cell(c(:)), 'uni',
false));
dd = B; %matriz (n-1)x2 com índices dos valores a serem buscados no
vetor da Energia
nnn = size(dd);
linhasnnn = nnn(1);
colunasnnn = nnn(2);
if n == 2
    for i = 2:length(dd)-1
        dd(i,1) = dd(i,1)+1; %soma 1 aos índices da primeira coluna a
partir da linha 2 até a última linha
    end
else
    for i = 2:length(dd)
        dd(i,1) = dd(i,1)+1; %soma 1 aos índices da primeira coluna a
partir da linha 2 até a última linha
    end
end
dd = dd; %Matriz com índices iniciais e finais de cada trecho
percorrido a serem buscados no vetor Energia

ECons = zeros(length(dd)); %Energia consumida por trecho percorrido
for i = 1:nnn
    E1indx(i) = dd(i,1); %Pega o índice do valor da linha i
na primeira coluna do vetor dd
    E2indx(i) = dd(i,2); %Pega o índice do valor da linha i
na segunda coluna do vetor dd
    EENN(i) = sum(Energia(E1indx(i):E2indx(i))); %Encontra e soma a
energia consumida em cada trecho percorrido
    %Encontra no vetor Energia os valores que estão entre os
índices...
    %...da linha i da primeira coluna...
    %...e da linha i na segunda coluna no vetor Energia e soma os
valores...
    %...de cada intervalo incluindo os valores dos índices iniciais
e
    %...finais de cada trecho

    %Plota os gráficos com a energia gasta em cada trecho do
trajeto
    figure()
    kjk(i) =
plot((disttraj(E1indx(i):E2indx(i))),Energia(E1indx(i):E2indx(i)));
    ylabel('Energia (W)')
    xlabel('Tempo decorrido (horas:minutos:segundos)')
    title({'Energia Consumida no Trecho' num2str(i),...
['Energia Total (W): ' num2str(EENN(i))]});
end
ECons = [EENN]; %Energia total consumida em cada trecho percorrido,
em Watts
EConssoma = sum(ECons); %Soma a energia total de todos os trechos, em
Watts
EConssomakWh = EConssoma/(1000*3600); %Soma a energia total de todos
os trechos, em kWh

%Plota o gráfico de barras com a energia consumida em cada trecho
do...
%...trajeto em kWh
figure
EConskWh = [ECons]./(1000*3600);
EConskWh = [EConskWh];
hB=bar(EConskWh); %Usa a variável Energia no array de plotagem

```

```

hT=[]; %Espaço reservado para legenda e rótulo de barras
for i = 1:length(hB) %iteração sobre o número de barras
    hT = [hT
text(hB(i).XData+hB(i).XOffset,hB(i).YData,num2str(hB(i).YData.','%.1f
'), ...

'VerticalAlignment','bottom','horizontalalign','center')];
    ylabel('Energia (kWh)')
    xlabel('Trechos Percorridos')
    title({'Energia Consumida por Trecho Percorrido',...
    ['Energia Total (kWh): ' num2str(EConssomakWh)]});
end

%Plota o Gráfico anterior em Watts
figure
hB=bar(ECons); %Usa a variável Energia no array de plotagem
hT=[]; %Espaço reservado para legenda e rótulo de barras
for i = 1:length(hB) %iteração sobre o número de barras
    hT = [hT
text(hB(i).XData+hB(i).XOffset,hB(i).YData,num2str(hB(i).YData.','%.1f
'), ...

'VerticalAlignment','bottom','horizontalalign','center')];
    ylabel('Energia (W)')
    xlabel('Trechos Percorridos')
    title({'Energia Consumida por Trecho Percorrido',...
    ['Energia Total (kWh): ' num2str(EConssomakWh)]});
end

%Calcula a quantidade de bateria que seria necessária para se
percorrer
%...todo o trajeto sem a realização de paradas para recarregamento
TotalBatSemOtimizacao = (EConssomakWh*1000)/DEBat;
TotalBatSemOtimizacao = ceil(TotalBatSemOtimizacao);
CustoTotalSemOtimizacao = TotalBatSemOtimizacao*Custo;

%Gráfico com as paradas
figure
indd = zeros();
tempodig = [tempodig];
dist = [valoresdist];
for i = 1:length(tempodig)
    indd(i) = nearest(find((tempodig(i)==tempodig), 1));
end
nossaida = [indd];
noschegada = [nossaida(2:length(nossaida)) 1];
pesos = [dist(2:length(dist)) 0];
s = [nossaida]; %nós de saída
t = [noschegada]; %nós de chegada
weights = pesos;
G = digraph(s,t,weights);
%H = plot(G,'EdgeLabel',G.Edges.Weight,'Layout','layered');
H = plot(G,'EdgeLabel',G.Edges.Weight,'Layout','subspace3');
%H = plot(G,'EdgeLabel',G.Edges.Weight);
labelnode(H,[1 k],[['1-saída'] [num2str(k) '-chegada']])
highlight(H,s,'NodeColor','red')
highlight(H,G,'EdgeColor','green','LineWidth',2);

%Algoritmo Otimização MILP

%MILP
%Variáveis

```

```

X = optimvar('X',1,'Type','integer','LowerBound',0);
Estoque = optimvar('Estoque',1,k,'LowerBound',0);
%Função Objetivo
FOMIN = Custo*X;
batprob = optimproblem('ObjectiveSense','minimize');
batprob.Objective = FOMIN;
%Restrições;
batprob.Constraints.VolEsp = X*VolBat <= EspacoVeiculo;
ConsE = [EConskWh].*1000;
ConsE = [0 ConsE];
for i = 2:k
    Est(1) = Estoque(1) == 0;
    Fluxo1(i) = - Carreg(i-1).*X - Estoque(i-1) + Estoque(i) +
ConsE(i-1) <= 0;
    Fluxo2(k) = - Carreg(k).*X - Estoque(k) + ConsE(k) <= 0;
end
batprob.Constraints.Est1 = Est;
batprob.Constraints.Fluxo1 = Fluxo1;
batprob.Constraints.Fluxo2 = Fluxo2;
%Solução
problem = prob2struct(batprob);
x = intlinprog(problem);
X = x(end);
CustoFinal = X*Custo;

%Tabelas Otimização

%Entradas
ConsE = [EConskWh].*1000;
ConsE = [0 ConsE];
Parametros = ["Vetor Tempo Por Parada"; "Vetor Distância Entre
Paradas"; "Vetor Consumo Entre Paradas"; "Energia Carregada em Cada
Bateria Por Parada"];
Valores = [tempodig; distdigoriginal; ConsE; Carreg];
Unidades = ['min'; ' km'; ' Wh'; ' Wh'];
Tabela_Otimizacao_Entradas_1 = table(Parametros, Valores, Unidades)

Parametros = ["Número de Paradas"; "Tensão da Bateria"; "Capacidade
Nominal Bateria"; "Capacidade Nominal Carregador"; "Coeficiente de
Segurança CS"; "Preço da Bateria"];
Valores = [k; Tensao; CNB; CNC; CS; Custo];
Unidades = ['--'; ' V'; 'Ah'; 'Ah'; '--'; 'RS'];
Tabela_Otimizacao_Entradas_2 = table(Parametros, Valores, Unidades)

LCarrom = LCarro/1000;
CompCarrom = CompCarro/1000;
HCarrom = HCarro/1000;
LBm = LB/1000;
cmBm = cmB/1000;
hBm = HBat/1000;
Parametros = ["Dimensões Espaço Veículo"; "Dimensões Volume Bateria"];
Valores = [LCarrom CompCarrom HCarrom; LBm cmBm hBm];
Unidades = ['LxWxH - m'; 'LxWxH - m'];
Tabela_Otimizacao_Entradas_3 = table(Parametros, Valores, Unidades)

%Saídas
EspVeic = EspacoVeiculo/1000;
VolCadaBateria = VolBat/1000;
VolTotalBaterias = VolCadaBateria*X;
Resultados_ = ["Espaço Veículo para Baterias"; "Volume Individual
Bateria"; "Volume Total das Baterias"; "Densidade Energética Por

```

```

Bateria"; "Quantidade de Baterias"; "Custo Total"; "Quantidade de
Baterias SEM Otimização"; "Custo Total SEM Otimização"];
Valores_ = [EspVeic; VolCadaBateria; VolTotalBaterias; DEBat; X;
CustoFinal; TotalBatSemOtimizacao; CustoTotalSemOtimizacao];
Unidades_ = [' m3'; ' m3'; ' m3'; 'Wh/L'; 'unid'; ' RS'; 'unid'; '
RS'];
Tabela_Otimizacao_Saidas = table(Resultados_, Valores_, Unidades_)

```

Algoritmo Desenvolvido no Lingo

```

sets:
Bat: T, ConsE, Carreg, Estoque, Carregamento;
endsets

data:
!Dados Trajeto/Consumo;
NParadas = 4;           !número de paradas, inclui: saída + paradas
intermediárias + chegada;
!Dist = 0 10 8.5 12;    !distância percorrida nos trajetos entre as
paradas: saída até primeira parada, primeira parada até segunda
parada, e assim sucessivamente...;
T = 600 100 80 0;       !tempo de carregamento em cada parada: saída,
paradas intermediárias, uma a uma, chegada;
!ConsE = 0 20860817 15165591 21067636 ; !quantidade energia consumida
nos trajetos entre cada parada em W;
ConsE = 0 4720 5513 6352; !quantidade energia consumida nos trajetos
entre cada parada em Wh;

!Dados do veículo;
hv = 400;           !Pofundidade do espaço para as baterias em mm;
Lv = 800;          !Largura do espaço para as baterias em mm;
cv = 500;          !Comprimento do espaço para as baterias em mm;

!Dados Bateria;
CapacidadeNominal = 50; !em Ah;
CapacidadeCarregador = 10; !em Ampéres;
Tensao = 3.2;      !em Volts;
h = 152;           !Altura da bateria em mm;
L = 50;            !Largura da bateria em mm;
c = 190;           !Comprimento da bateria em mm;

!Dados de custo;
Custo = 100;       !Custo cada bateria;

!Coeficiente de segurança;
CS = 0.1;          !Colocar o valor em formato normalizado (Ex.: em vez de
10%, colocar 0.1);
enddata

Calc:
EspacoVeiculo = (hv*Lv*cv)/(1000000);    !Volume destinado ao conjunto
de baterias no veículo em litros;

```

```

VolBat = (h*L*c)/(1000000);           !Volume de cada bateria
litros;
TempoCarregamento = CapacidadeNominal/CapacidadeCarregador; !Tempo de
carregamento total de cada bateria;
Densidade = (CapacidadeNominal*Tensao)/VolBat; !Densidade de Energia
de cada bateria em Wh/l;
TaxaCarregamento = Densidade/(TempoCarregamento*60); !Em W/l*min;
DEBat = (1-CS)*Densidade; !Densidade de Energia de cada bateria em
Wh/l considerando o coeficiente de segurança CS;

@for(Bat(i):
    Carregamento(i) = TaxaCarregamento*T(i); !Quantidade de energia
carregada em cada parada em W/l por bateria;
    @ifc(Carregamento(i) #GT# DEBat:
        Carregamento(i) = DEBat;
    @else
        Carregamento(i) = Carregamento(i);
    );
);
@for(Bat(i): Carreg(i) = Carregamento(i)); !Quantidade de energia
carregada em cada parada em W/l por bateria;

!Calcula a quantidade de bateria que seria necessária para se
percorrer todo o trajeto sem a realização de paradas para
recarregamento;
TotalBatsemOtimizacao = (@sum(Bat(i):ConsE(i)))/(DEBat);
TotalBatsemOtimizacao = @roundup(TotalBatsemOtimizacao, 0);
CustoTotalsemOtimizacao = TotalBatsemOtimizacao*Custo;
endcalc

!Função Objetivo;
[FO] Min = Custo*X ;

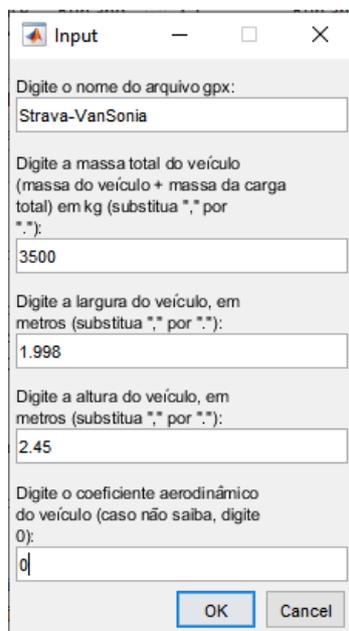
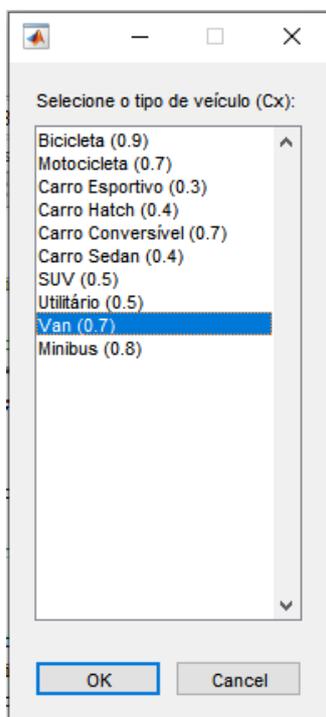
!Restrições;
@sum(Bat(i) | i #LE# 1: X*VolBat) <= EspacoVeiculo;
@sum(Bat(j) | j #LE# 1: Estoque(j)) = 0;
@for(Bat(j) | j #LE# (Nparadas-1): Carreg(j)*X + Estoque(j) -
Estoque(j+1) - ConsE(j) >= 0);
@for(Bat(j) | j #GE# Nparadas: Carreg(j)*X + Estoque(j) - ConsE(j) >=
0);

@for(Bat(j): @gin(X));

```

Parâmetros Inseridos na Simulação Inicial

Esse apêndice foi criado para orientar o usuário do algoritmo na inserção dos parâmetros nos locais de entrada de dados do código.



Input

Digite o número de paradas, incluindo a saída e a chegada, e clique em "OK". Considere a saída como parada 1. Considere a última parada como ponto de chegada. - (Caso não deseje dimensionar a quantidade de baterias para o veículo, clique em "Cancel"):

OK Cancel

Digite, em minutos, o tempo de parada na parada 1 (considere a saída como parada 1). Na última parada, considerada ponto de chegada, digite zero. Use apenas valores inteiros, sem casas decimais:

Digite, em minutos, o tempo de parada na parada 2 (considere a saída como parada 1). Na última parada, considerada ponto de chegada, digite zero. Use apenas valores inteiros, sem casas decimais:

Digite, em minutos, o tempo de parada na parada 3 (considere a saída como parada 1). Na última parada, considerada ponto de chegada, digite zero. Use apenas valores inteiros, sem casas decimais:

Digite, em minutos, o tempo de parada na parada 4 (considere a saída como parada 1). Na última parada, considerada ponto de chegada, digite zero. Use apenas valores inteiros, sem casas decimais:

OK Cancel

Digite, em km, a distância entre a Parada: 1 e a Parada: 2. (Considere a saída como parada 1 e, a última parada, como ponto de chegada). Use ponto no lugar de vírgula:

OK Cancel

Digite, em km, a distância entre a Parada: 2 e a Parada: 3. (Considere a saída como parada 1 e, a última parada, como ponto de chegada). Use ponto no lugar de vírgula:

OK Cancel

— □ ×

Digite, em km, a distância entre a Parada: 3 e a Parada: 4.
(Considere a saída como parada 1 e, a última parada, como ponto de chegada).
Use ponto no lugar de vírgula:

OK Cancel

Input — □ ×

Digite o valor da tensão da
bateria em Volts (substitua ","
por "."):

Digite o valor da Capacidade
Nominal da Bateria em Ah
(substitua "," por "."):

Digite a largura da bateria, em mm
(substitua "," por "."):

Digite a altura da bateria, em mm
(substitua "," por "."):

Digite o comprimento da bateria,
em mm (substitua "," por "."):

Digite o custo/preço da bateria em
unidade monetária \$\$ (substitua
"," por "."):

Digite o valor da Capacidade
Nominal do Carregador em Ah
(substitua "," por ".") - (Caso
desconheça o valor, digite 0
(zero), e o algoritmo usará o
valor padrão de 10 Ah):

OK Cancel

Input

Digite o comprimento do local destinado às baterias dentro do veículo, em mm (substitua "," por "."):

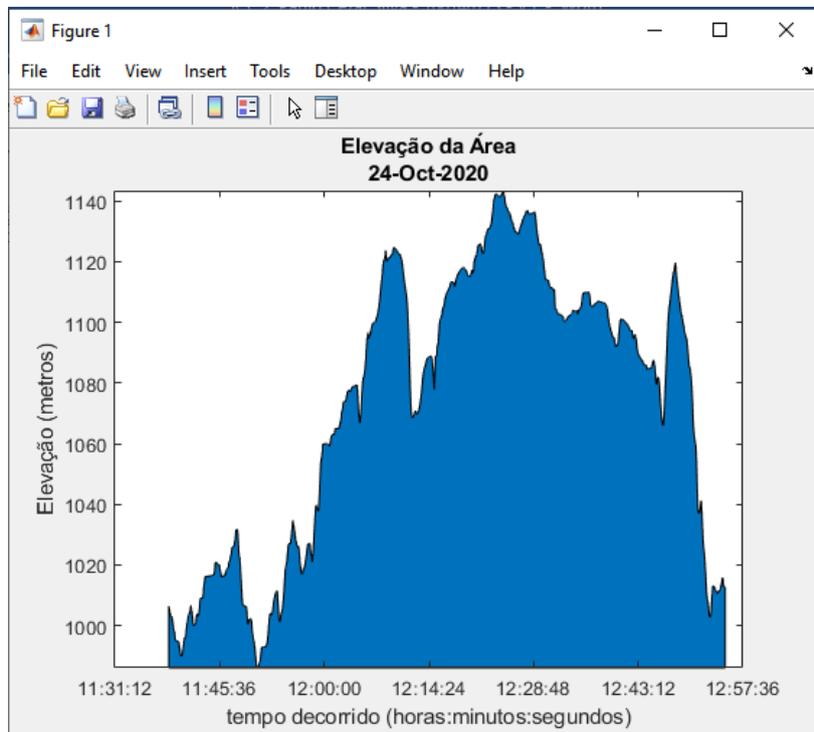
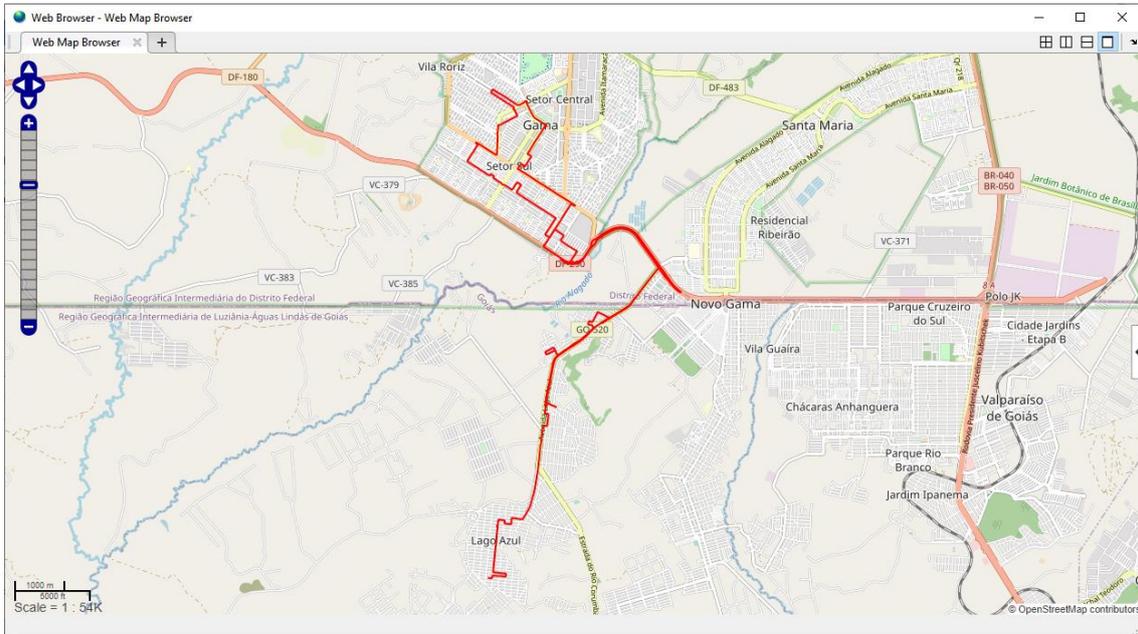
Digite a largura do local destinado às baterias dentro do veículo, em mm (substitua "," por "."):

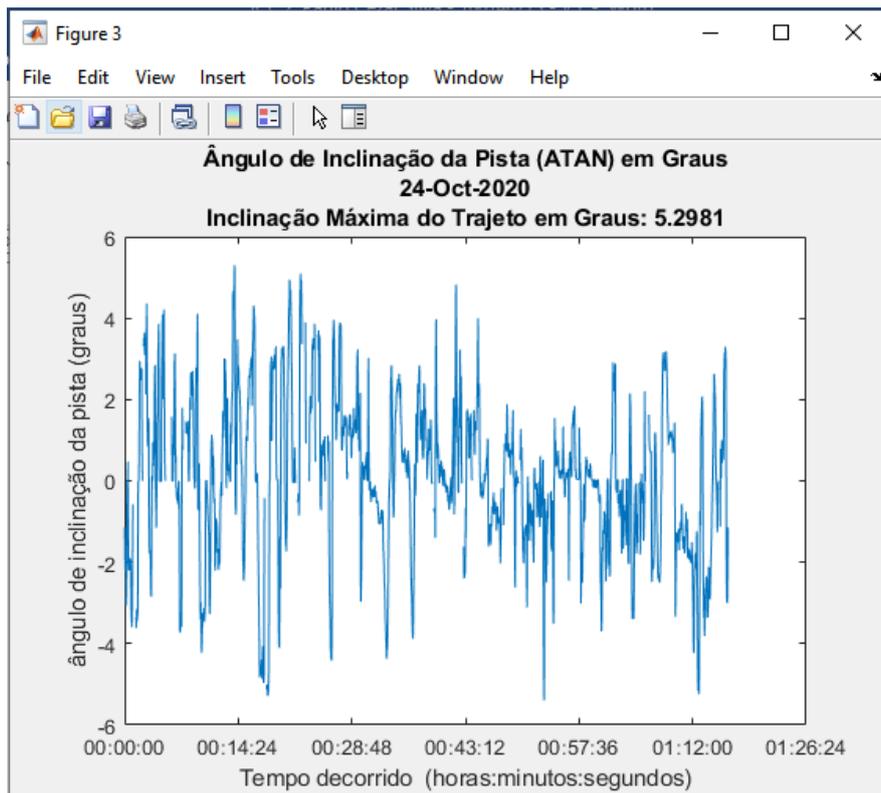
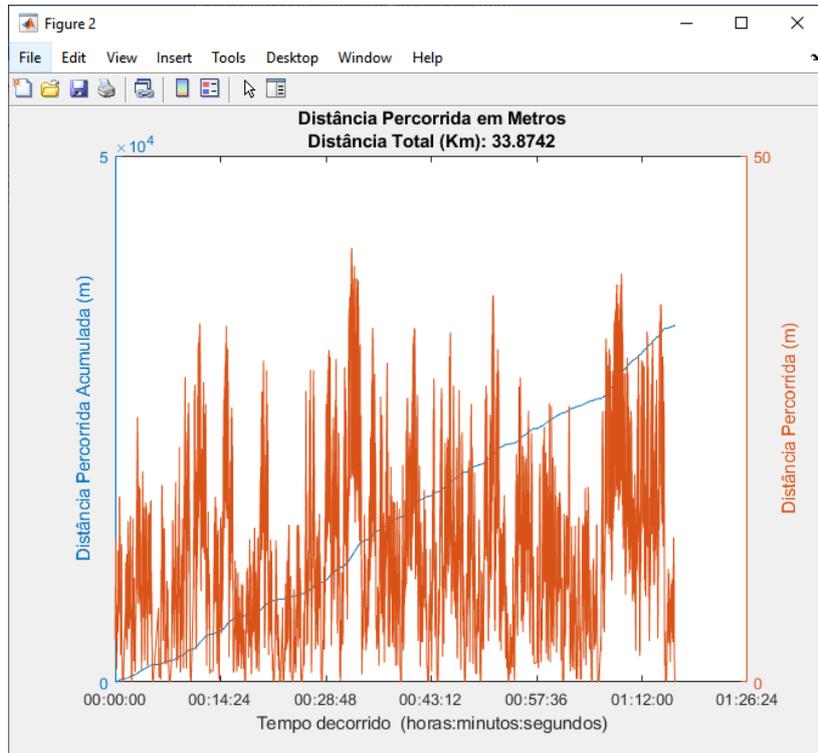
Digite a altura do local destinado às baterias dentro do veículo, em mm (substitua "," por "."):

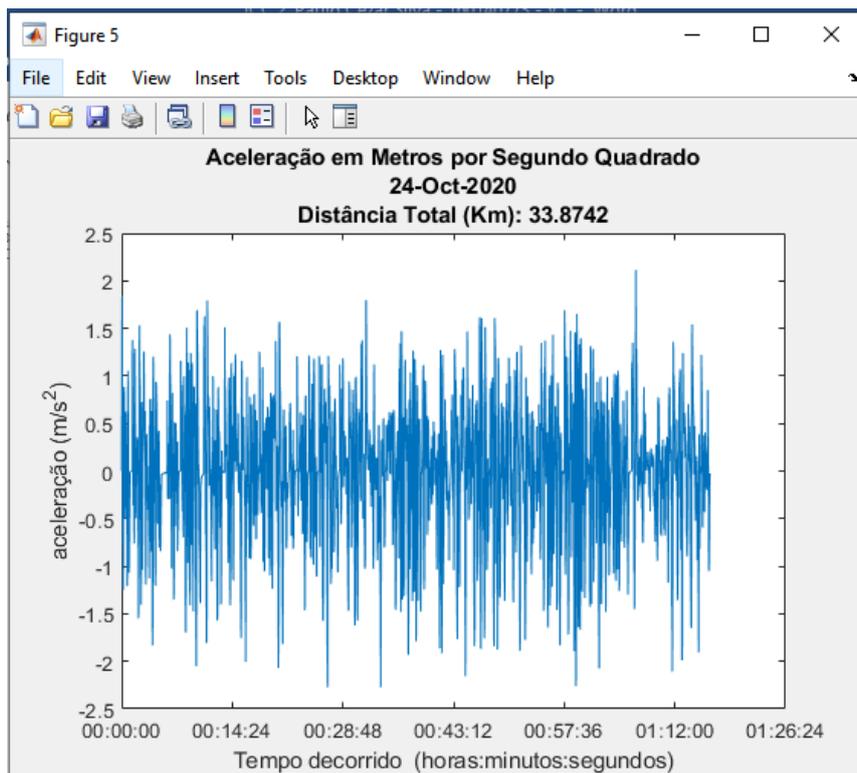
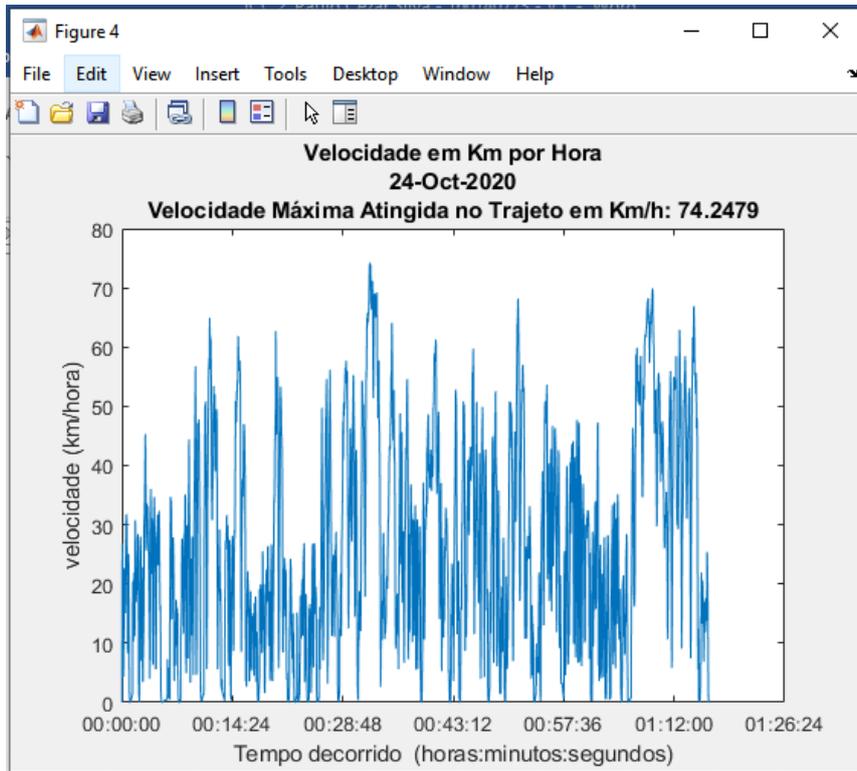
Escolha o Fator de Segurança a ser utilizado no cálculo de otimização da quantidade de baterias:

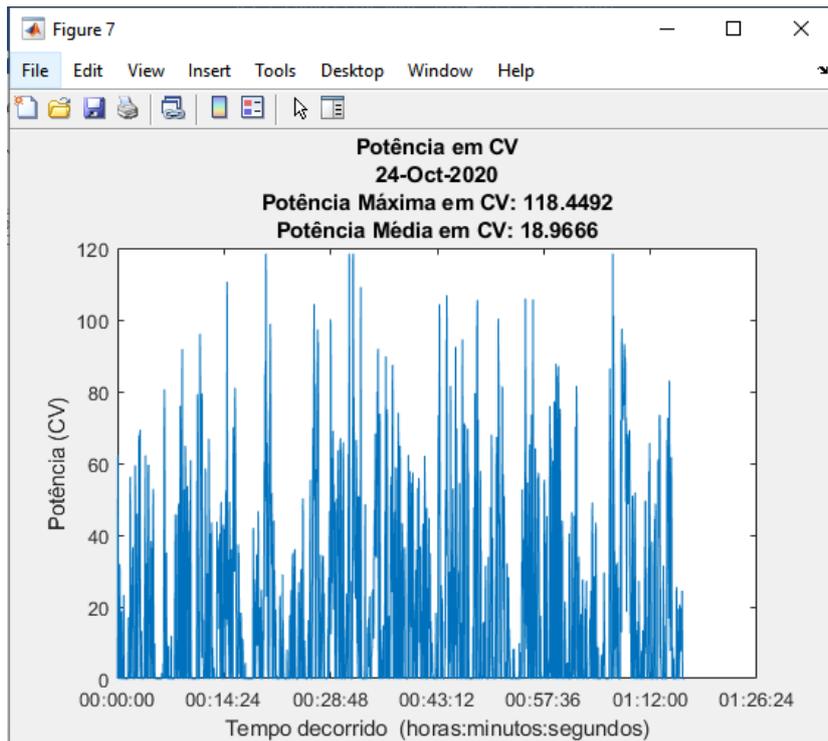
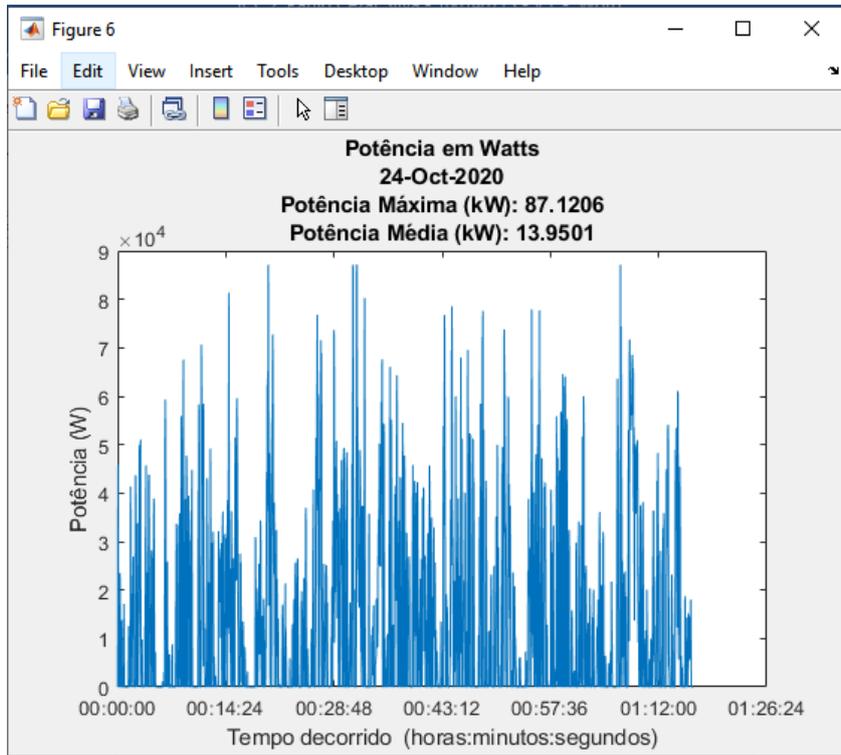
Resultados Obtidos

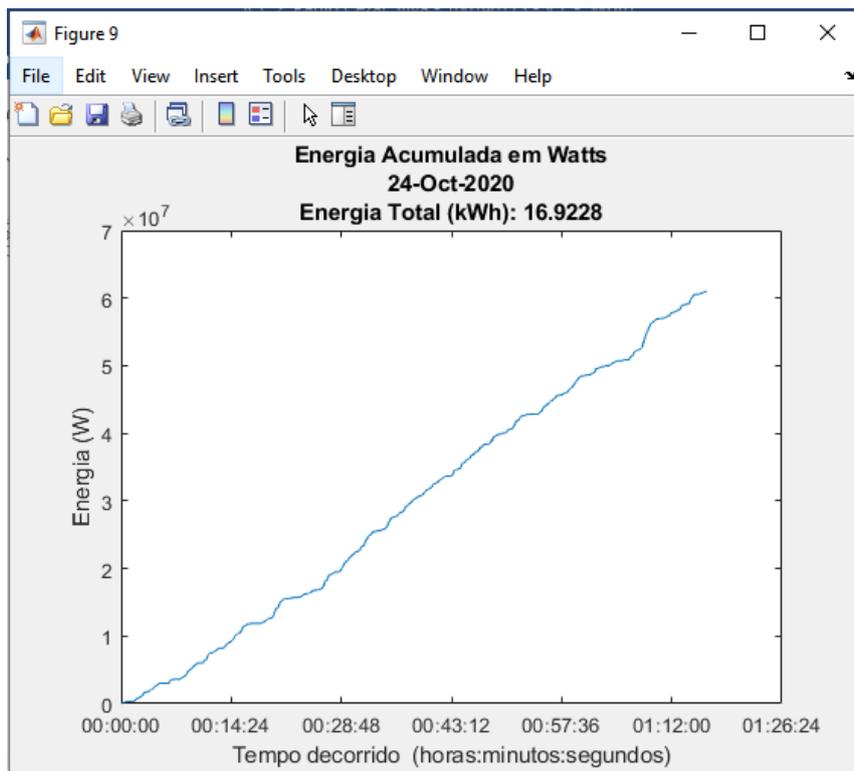
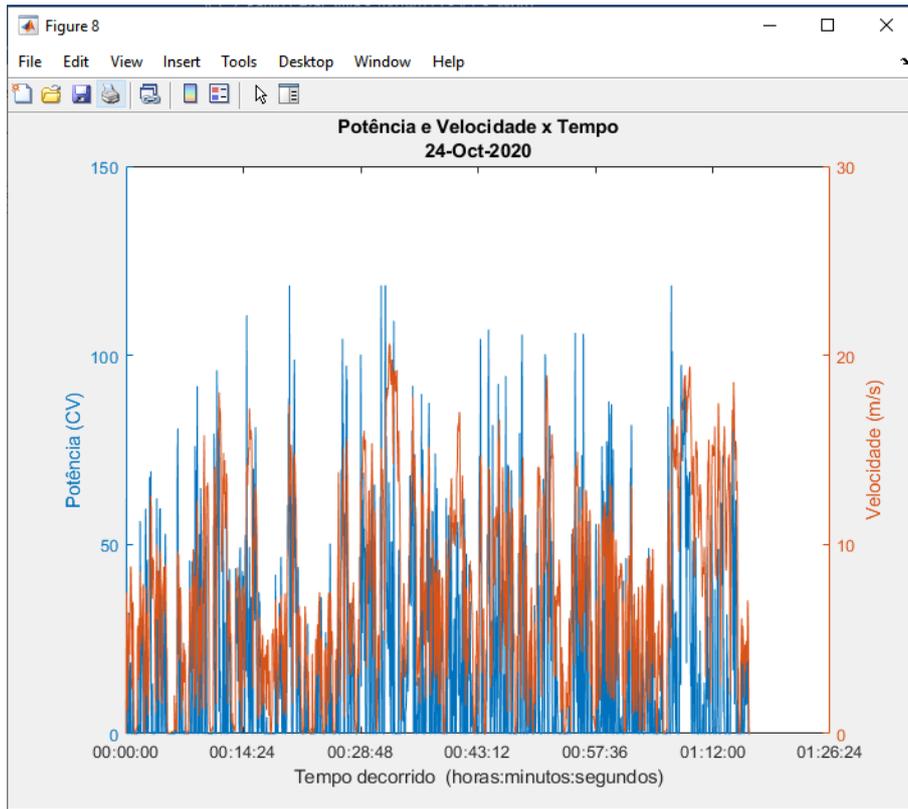
Nessa parte do Apêndice, foram colocados os resultados gráficos obtidos apenas na primeira simulação realizada no Capítulo 6. Essa restrição foi determinada com o intuito de minimizar a quantidade de páginas no presente trabalho.

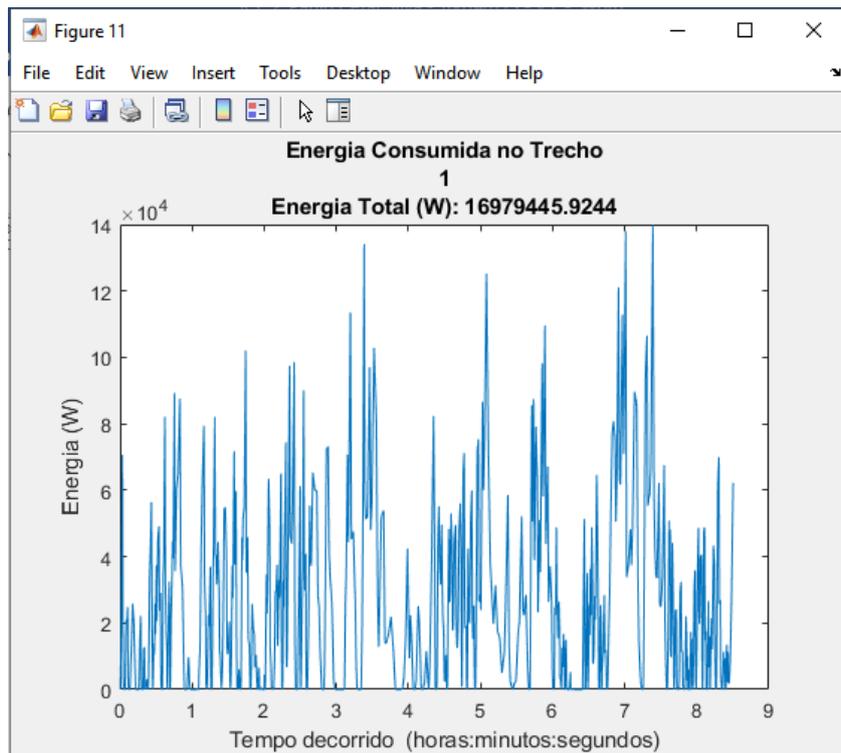
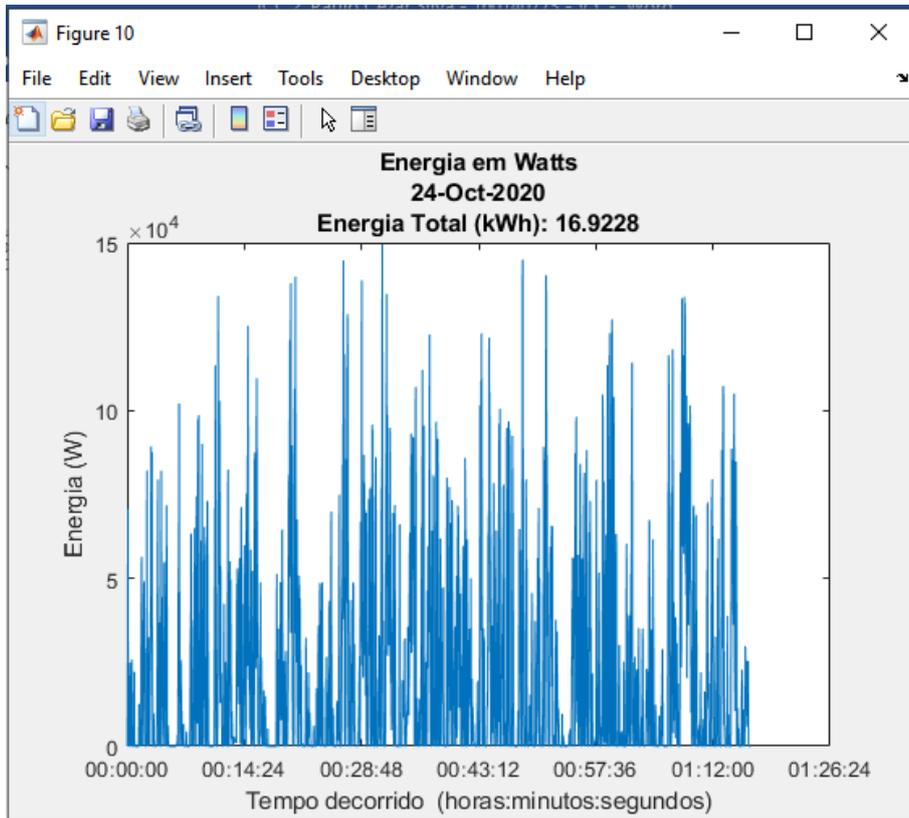


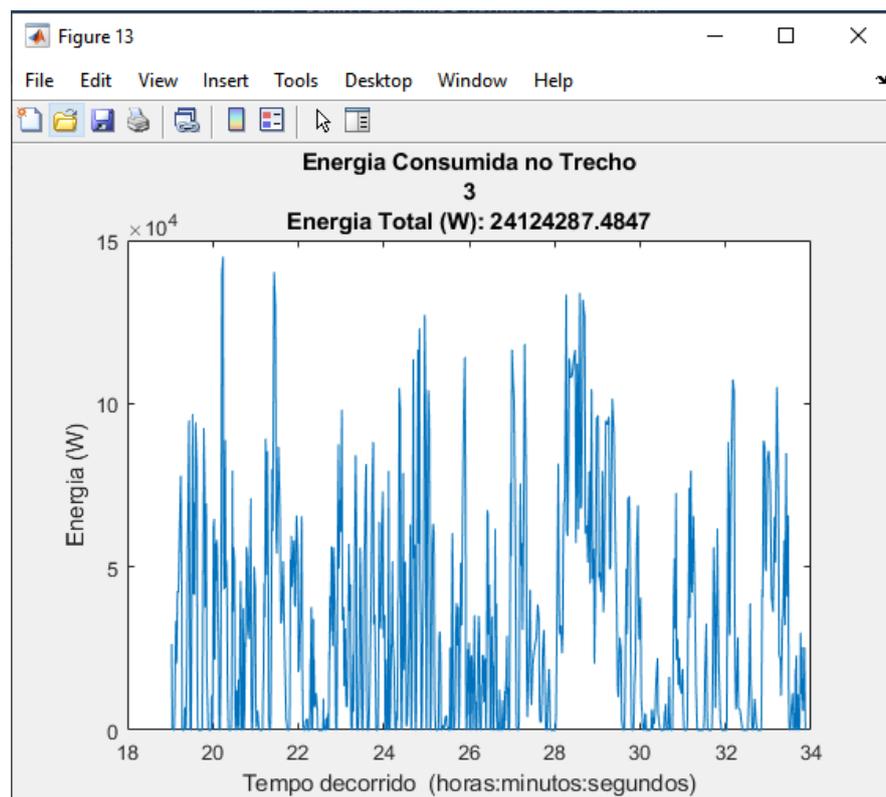
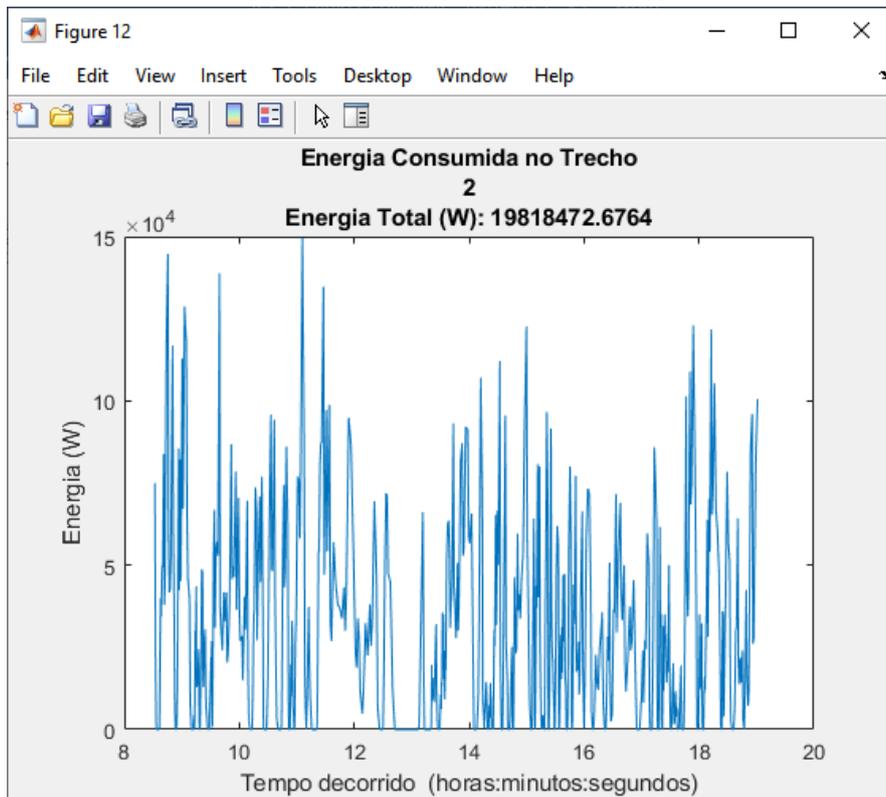


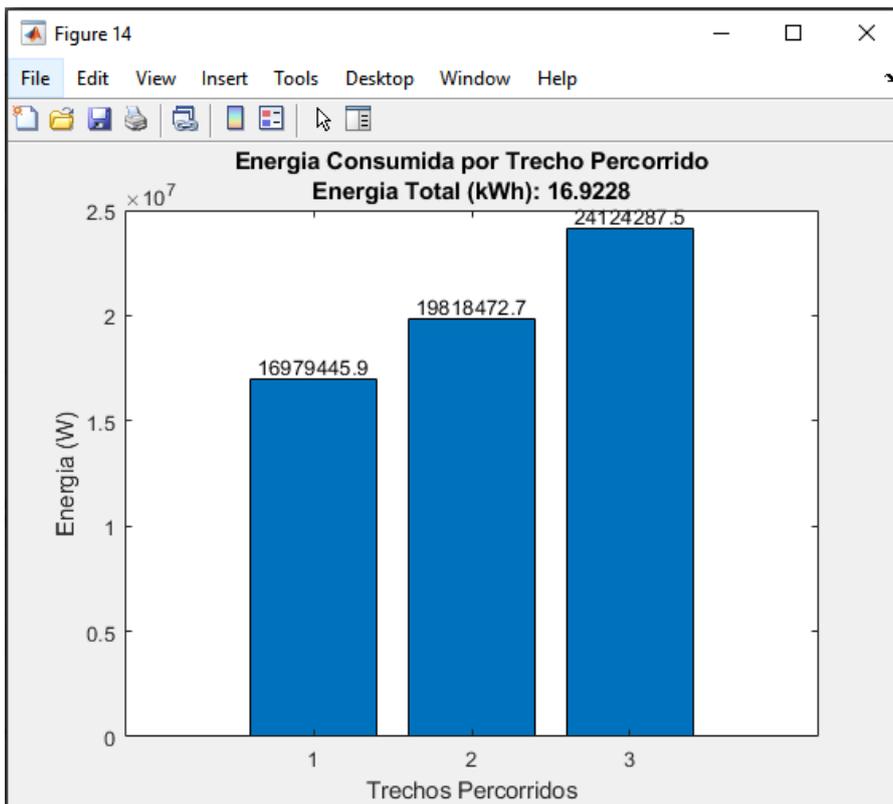
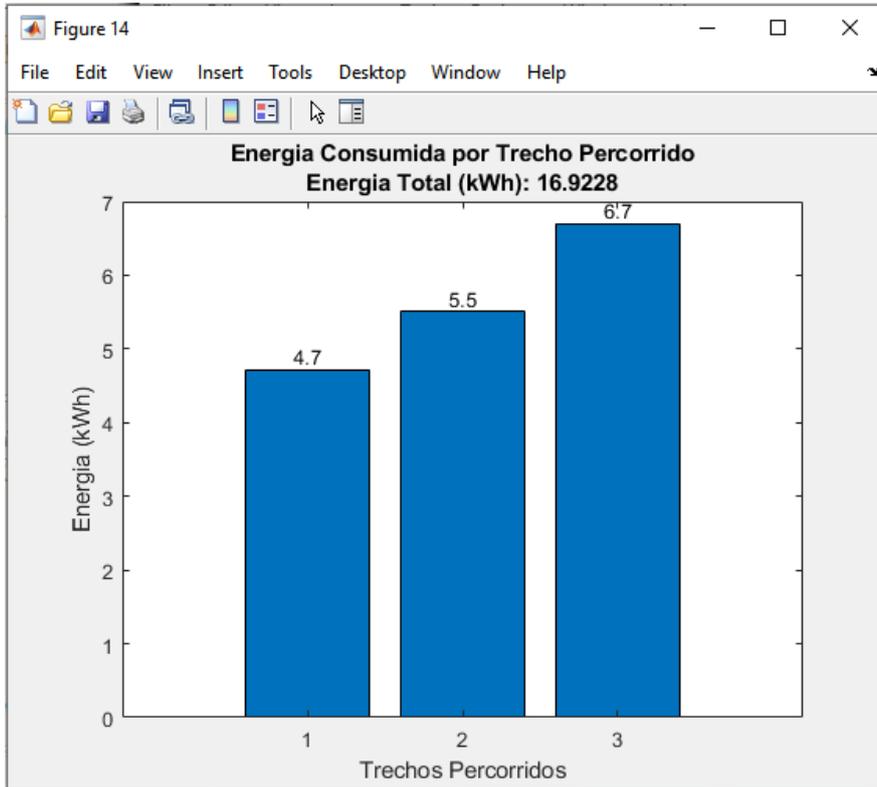


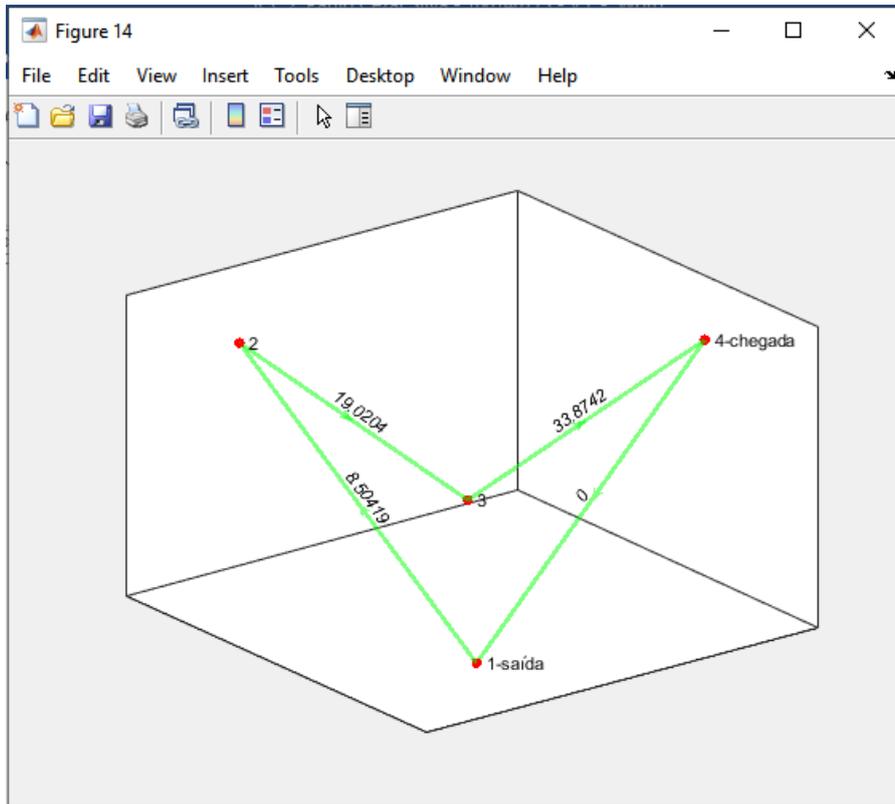












Apêndice C - Orçamentos

The screenshot shows a product listing on the HIPERVAREJO website. The product is 'Caixa Direção Elétrica Volkswagen Up 2014 a 2018 Sem Terminal Nakata'. The price is listed as R\$ 1.134,87, with a 10% discount to R\$ 113,49. The final price is R\$ 1.021,38. The page includes a 'COMPRAR AGORA' button and an 'ADICIONAR AO CARRINHO' button. The product specifications are listed as follows:

- Tipo de Veículo: para Carros
- Modelo: Up
- Terminal de Direção: Sem
- Largura: 28 cm
- Altura: 12 cm

Fonte: HIPERVAREJO, in: <https://www.hipervarejo.com.br/caixa-direcao-eletrica-volkswagen-up-2014-a-2018-sem-terminal-nakata/p>, data de acesso: 02/08/2021.

|  深圳市鸿昊升电子有限公司 Shenzhen Honghaosheng Electronics Co.,Ltd. 7th Floor, Jintongsheng International Building, Longhua District, Shenzhen Tel: (+86) 755-28029951 28020102 Fax: (+86)755-28016834 Email: sales08@hhs-battery.com Contact:Ely Zhang Mobile: +86 13642576961 WEB: http://www.sz-battery.com http://www.sz-battery.cn | | | | | | |
|---|---|---|---|----------------------|-----------|--------|
| Quotation | | | | | | |
| Company: | | | Date: <u>21-Jul-2020</u> | | | |
| Contact: <u>Paulo Cezar</u> | | | Project name: <u>3.2v 50Ah LFP battery</u> | | | |
| Tel: | | | | | | |
| NO. | Picture (reference only) | Description | Quantity | Unit price (EXW) USD | Lead time | Remark |
| 1 |  | Model : HHS-LFP 3.2V 50Ah Lithium iron Phosphate Battery Class : A and Full New Voltage : 3.2V Capacity : 50Ah Maximum discharge current(continuous):3C Size : 30*135*185mm Weight : 1.4Kg approximately Payment : T/T | 20pcs | \$35.47 | 15-25days | |
| | | | 200pcs | \$33.01 | 30-35days | |
| | | | 500pcs | \$29.71 | 40-45days | |
| Remark: | | 1. We can help to make the certifications (UN38.3 MSDS CB UL) as your requirements. 2. Validity:15days | | | | |

Orçamento para Baterias LIFEPO4 50Ah

High Capacity LFP Prismatic lithium ion battery 3.2V 150Ah Lifepo4 battery
Cells For Solar Storage And EV

★★★★★ 5.0 1 Reviews

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

\$58.00 - \$66.00 / Piece | 4 Piece/Pieces(Min. Order)

Battery Type:

Nominal Capaci...

Nominal Voltage:

Lead Time[?]:

| | | | | |
|------------------|-----------|-------------|--------------|---------------------|
| Quantity(Pieces) | 1 - 96 | 97 - 192 | 193 - 384 | >384 |
| Est. Time(days) | 7 | 10 | 15 | To be negotiated |

Custo de Baterias LIFEP04 150Ah

Bateria chumbo-ácido Van Boxer

Fonte: EMPÓRIO DAS BATERIAS, in: <https://www.emporiодasbaterias.com.br/produto-tag/bateria-para-peugeot-boxer/>, data de acesso: 06/10/2021.

Filtro de Óleo

FONTE: ITESE PEÇAS AUTOMOTIVAS, in: <https://www.altese.com.br/wo330-altese-filtro-oleo/p>, data de acesso: 06/10/2021.

Compre pelo WhatsApp ou telefone: (11) 3797-0777

MINHA CONTA | MEUS PEDIDOS | ATENDIMENTO

Fiat | Ducato | 2008 | Van /Minibus Teto Alto 2.8 JTD | Digite sua busca aqui + de 70mil produtos | **BUSCAR**

TODAS CATEGORIAS | DENTRO DO VEÍCULO | FORA DO VEÍCULO | DIVERSOS | PEÇAS MECÂNICAS | TUNING | MOTOS | BICICLETAS

DESDE 1971 | MAIS DE 8 MILHÕES DE PEDIDOS ATENDIDOS | VENDIDOS PARA TODO O BRASIL EM ATÉ 10X SEM JUROS | DESCONTO DE 3% PARA PAGAMENTOS ANTECIPADOS À VISTA | MAIS DE 70 MIL PRODUTOS

CATEGORIAS
 Filtros
 Filtro de ar do motor
 Filtro de combustível

FORNecedores
 Wega filtros

Página inicial (jocar: autopeças e acessórios automotivos) > Fiat > Ducato > 2008 > Van /Minibus Teto Alto 2.8 JTD > Filtro de combustível - Wega filtros - Fiat Ducato Van Minibus Teto Alto 2.8 JTD de 2007 até 2009 - Boxer 2.3/2.8 turbo diesel 1999 até 2016 - papel original - cada (unidade) - FCD0771

Filtro de combustível - Wega filtros - Fiat Ducato Van Minibus Teto Alto 2.8 JTD de 2007 até 2009 - Boxer 2.3/2.8 turbo diesel 1999 até 2016 - papel original - cada (unidade) - FCD0771

Filtro de combustível - para que serve e quando trocar

R\$ 71,90
 ou até 10x de R\$ 7,19 s/ juros

COMPRAR
 Em estoque

Quer comprar em uma loja física? CONFIRA O ESTOQUE

Opções verificadas
 EXCELENTE
 + de 4000 avaliações - nota 4.7 de 5.0

Filtro de Combustível

FONTE: JOCAR, in: <https://www.jocar.com.br/produto/fiat/ducato/2008/Van-minibus-teto-alto-2.8-jtd-2007-2009/772501-filtro-de-combustivel-wega-filtros-boxer-2-3-2-8-turbo-diesel-1999-ate-2016-papel-original-fcd0771/>, data de acesso: 06/10/2021.

americanas | busque aqui seu produto | **Q** | olá, faça seu login ou cadastre-se | **🛒** | **❤️**

informe seu CEP | para empresas | vote na gente | baixe o app | receba hoje | produtos internacionais | marcas próprias | americanas social | oferta do

compre por departamento | mercado | dia das crianças | celulares | tv e home theater | eletrodomésticos | notebook | beleza e perfumaria | móveis

página inicial > automotivo > autopeças > borrachas (guarnições)

favoritar | compartilhar

Jogo De Borracha Coxim Do Escapamento Peugeot Boxer / Citroen Jumper / Fiat Ducato - 2.5 2.8

★★★★★

Jogo de borrachas de escapamento com 6 peças Peugeot/Boxer 2.5 / 2.8 - 99 / 2009 Citroen Jumper 2.5 / 2.8 - 99 / 2008 Fiat Ducato 2.5 / 2.8 - 98 / 2005

política de troca e devolução

R\$ 16,90
 no cartão de crédito

💖 +E R\$ 16,90 em até 3x sem juros no cartão Americanas

mais formas de pagamento

calcular frete e prazo

digite o CEP

Coxim do Escapamento

FONTE: AMERICANAS, in: <https://www.americanas.com.br/produto/47146129>, data de acesso: 06/10/2021.

mercado livre

Buscar produtos, marcas e muito mais...

Disney+ STAR+ Assine o nível 6 com benefícios exclusivos

Informe seu CEP

Categorias Ofertas do dia Histórico Supermercado Moda Vender Contato

Crie a sua conta Entre Compras

Você também pode gostar: gps automotivo - pneu 175 65 14 - auxiliar partida - capa de chuva - caixa slim amplificada - macaco jacare

Voltar à lista | Acessórios para Veículos > Peças de Carros e Caminhonetes > Escapamentos > Ponteiras > Fiat

Compartilhar | Vender um igual

Novo | 51 vendidos

Kit Silencioso Escapamento Ducato 2.5 2.8 Jumper Boxer

R\$ 469

em 12x R\$ 39⁹⁹ sem juros

Ver os meios de pagamento

Frete grátis

Saiba os prazos de entrega e as formas de envio.

Calcular o prazo de entrega

Estoque disponível

Quantidade: 1 unidade (48 disponíveis)

Escapamento

FONTE: MERCADO LIVRE, in: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1172949423-kit-silencioso-escapamento-ducato-25-28-jumper-boxer-_JM#position=39&search_layout=stack&type=item&tracking_id=cef43374-b287-4947-9c76-80fa3d107506, data de acesso: 06/10/2021.

GRUPO MOTORS VANS

Busca

meu carrinho

0 itens R\$ 0,00

Ducato/ Boxer/ Jumper Master Townner Sprinter Besta + Categorias

Página inicial / Ducato/ Boxer/ Jumper / Mecânica / Correia Dentada /

Galeria

CORREIA DENTADA 153 DENTES FIAT DUCATO CITROEN JUMPER PEUGEOT BOXER 2.8 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009

Marca: Paralelo 1ª Linha
Modelo: 153 Dentes
Disponibilidade: Imediata
Referência: S8.002.002.069

Por:

R\$ 195,00

ou 2x de R\$ 97,50 Sem juros

Correia do Motor

FONTE: GRUPO MOTORS VANS, in: <https://www.motorsVans.com.br/ducato-boxer-jumper/mecanica/correia-dentada/correia-ducato-9709-2-8-aspirada-dentada-153-dentes>, data de acesso: 06/10/2021.



Kit Embreagem Peugeot Boxer 2.8 2006 a 2008 Valeo 232567

☆☆☆☆☆ (Avalie agora) COD: VAR232567_VAL2 Valeo

PRODUTO NOVO

Especificações do produto:

- Tipo de Veículo: para Vans
- Modelo: Boxer
- Transmissão: Manual
- Cor do Produto: No
- Largura: 30 cm

por: R\$ 1.137,49
em até 10x de R\$ 113,75 sem juros
ou: R\$ 1.023,74 à vista ou 1x no cartão.

Corral! Temos apenas 4 no estoque.

1 COMPRAR AGORA

ADICIONAR AO CARRINHO

Calcule o frete

Insira o CEP OK

Kit Embreagem

FONTE: HIPERVAREJO, in: <https://www.hipervarejo.com.br/kit-embreagem-peugeot-boxer-2-8-2006-a-2008-valeo-232567/p>, data de acesso: 06/10/2021.



Buscar produtos, marcas e muito mais...

Disney+ STAR+ Assine o nível 6 com benefícios exclusivos

Informe seu CEP

Categorias Ofertas do dia Histórico Supermercado Moda Vender Contato

Crie e sua conta Entre Compras

Você também pode gostar: 5380360100 - capacete escamoteavel - lampada h7 osram - capa chuva motoqueiro - alarme positron

Voltar à lista | Acessórios para Veículos > Peças de Carros e Caminhonetes > Injeção > Sonda Lambda

Compartilhar | Vender um igual



Novo | 1 vendido

Sonda Lambda Fiat Ducato Peugeot Boxer Citroen Jumper 2.3

R\$ 454⁹⁰
em 12x R\$ 37⁹⁰ sem juros
Ver os meios de pagamento

Frete grátis
Saiba os prazos de entrega e as formas de envio.
Calcular o prazo de entrega

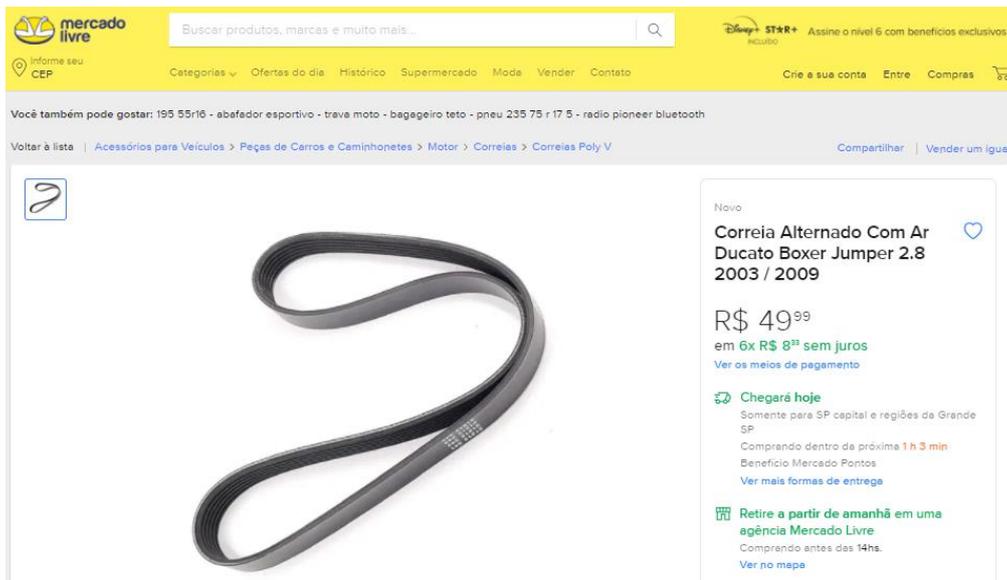
Último disponível!

Comprar agora

Adicionar ao carrinho

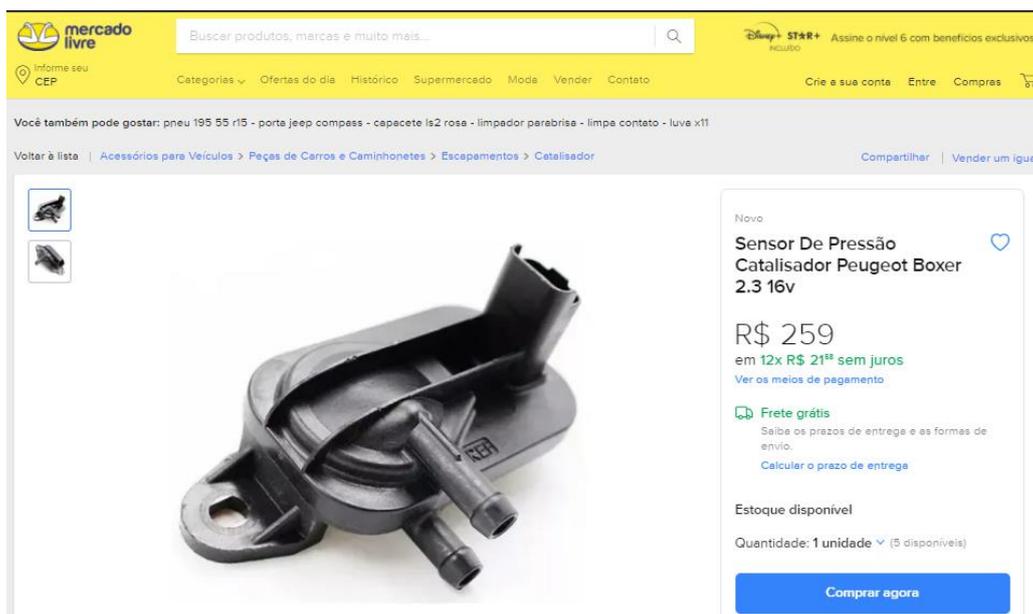
Sonda Lambda

FONTE: MERCADO LIVRE, in: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1924914601-sonda-lambda-fiat-ducato-peugeot-boxer-citroen-jumper-23-JM#position=1&search_layout=stack&type=item&tracking_id=85927f98-62e3-46a0-bc72-bbdb985b856f, data de acesso: 06/10/2021.



Correia Do Alternador

FONTE: MERCADO LIVRE, in: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2034754991-correia-alternado-com-ar-ducato-boxer-jumper-28-2003-2009-_JM#position=2&search_layout=grid&type=item&tracking_id=92502ca7-84e9-452d-8699-1df14f845a4f, data de acesso: 06/10/2021.



Catalisador

FONTE: MERCADO LIVRE, in: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1279931146-sensor-de-presso-catalisador-peugeot-boxer-23-16v-_JM#position=14&search_layout=grid&type=item&tracking_id=941c275c-3219-4987-a39c-1c8fe1e1d106, data de acesso: 06/10/2021.



Início / Bomba injetora /

Bomba de alta pressão de combustível da Peugeot Boxer 2.8

Código: 0445020002-27BAV9ZET

Marca: Bosch

R\$ 4.990,00
até 3x de R\$ 1.663,33 sem juros

Qtde: 1

Comprar

Estoque: Disponível

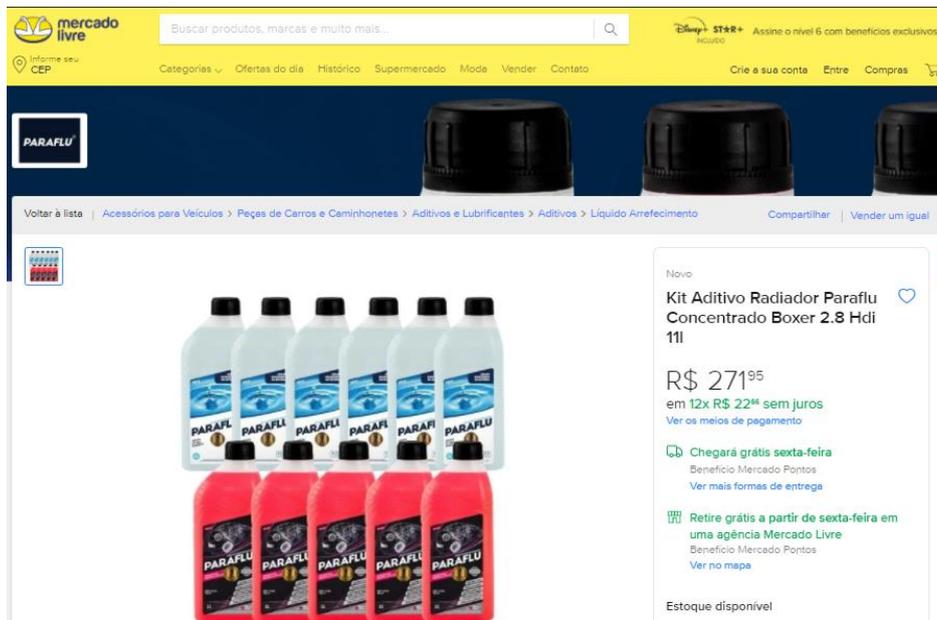
Bomba de Combustível

FONTE: GIBASVANS, in: <https://www.gibasVans.com.br/27bav9zet-0445020002-bomba-de-alta-pressao-de-combustivel-da-fiat-ducato-citroen-jumper-peugeot-boxer-28lts-e-iveco-daily-3513-3515-4013-5013>, data de acesso: 06/10/2021.

The screenshot shows the Mercado Livre website interface. At the top, there is a search bar and navigation links. The main content area features a large image of a black radiator with a core of cooling fins. To the right of the image, the product title is 'Radiador Peugeot Boxer 2.5 2.8 Diesel / Turbo 1994 Até 2009'. The price is listed as R\$ 735,45, with a financing option of 12x R\$ 61,99 sem juros. There are also promotional banners for 'Chegará grátis amanhã' and 'Retire grátis a partir de amanhã em uma agência Mercado Livre'. The stock status is 'Estoque disponível' with a quantity of 1 unit.

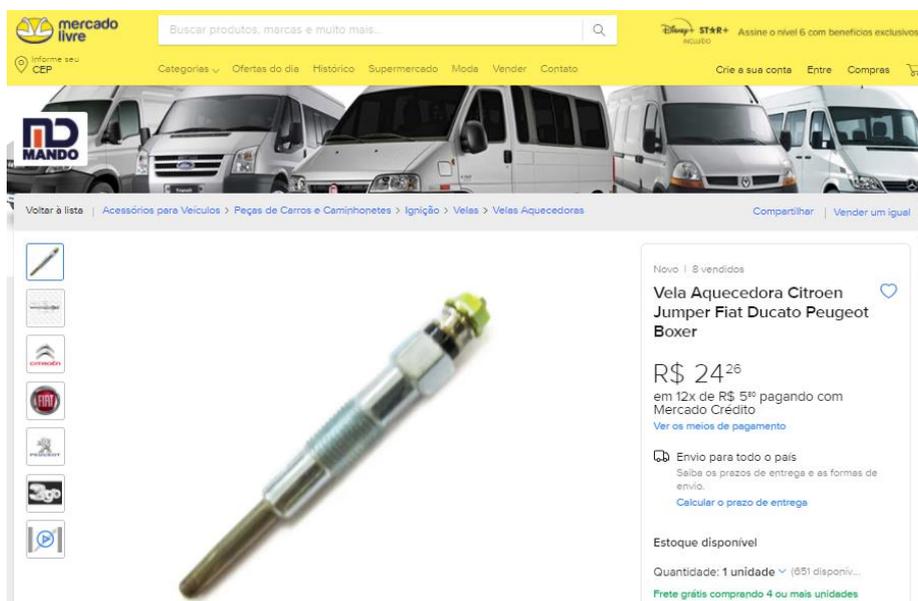
Radiador

FONTE: MERCADO LIVRE, in: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1967115448-radiador-peugeot-boxer-25-28-diesel-turbo-1994-ate-2009-_JM#position=8&search_layout=grid&type=item&tracking_id=6914107a-dd3b-4e39-8b43-eef1f3336be4, data de acesso: 06/10/2021.



Aditivo Radiador

FONTE: MERCADO LIVRE, in: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2038012959-kit-aditivo-radiador-parafllu-concentrado-boxer-28-hdi-11l-JM#position=36&search_layout=grid&type=item&tracking_id=023a336b-3c2a-46b0-b08e-3c945ba4f382, data de acesso: 06/10/2021.



Vela De Ignição

FONTE: MERCADO LIVRE, in: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-802853085-vela-aquecedora-citroen-jumper-fiat-ducato-peugeot-boxer-JM#position=20&search_layout=grid&type=item&tracking_id=5d05330b-d47f-42ae-b0ee-6305e07b69b0, data de acesso: 06/10/2021.

Apêndice D - Tabelas De Cálculos Financeiros

Custo de Mão de Obra

| CUSTO POR HORA TRABALHADA DE ENGENHEIRO | |
|---|--------------|
| SALÁRIO MÍNIMO | R\$ 1.100,00 |
| HORAS DIÁRIAS TRABALHADAS | 8 |
| FATOR MULTIPLICADOR | 8,50 |
| CUSTO MENSAL | R\$ 9.350,00 |
| DIAS ÚTEIS MÊS | 21 |
| HORAS MENSAIS TRABALHADAS | 168 |
| CUSTO POR HORA TRABALHADA | R\$ 55,65 |

Custos de Conversão

Cenário 1

| CUSTO BATERIAS | | | | |
|---------------------------|------------|------|----------------------|-------------------|
| COMPONENTE DE CUSTO | QUANTIDADE | | CUSTO UNITÁRIO (R\$) | CUSTO TOTAL (R\$) |
| Bateria LIFEPO4 3,2V 50Ah | 104 | | 195,44 | 20.325,73 |
| Frete | .- | | .- | 7.480,00 |
| SUBTOTAL | | | | 27.805,73 |
| IPI(%) | .- | 0,6 | .- | 16.683,44 |
| ICMS DF (%) | .- | 0,18 | .- | 33.909,43 |
| SUBTOTAL | | | | 50.592,86 |
| TOTAL | | | 753,8326101 | 78.398,59 |

| CUSTOS DA CONVERSÃO REALIZADA ==> 1 VIAGEM DIA COM PARADAS NO MEIO DA VIAGEM PARA RECARGA | | | | |
|---|--------------------|-------------------|----------------|----------------|
| COMPONENTE | ORIGEM | QUANTIDADE (Un.) | CUSTO UNITÁRIO | CUSTO FINAL |
| COMPONENTES FÍSICOS | | | | |
| Power Train: Motor Elétrico + Inversor | Adquirido | 1 | R\$ 44.400,00 | R\$ 44.400,00 |
| Módulo de Instrumentação | Desenvolvido | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Módulo de Sinalização | Desenvolvido | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Computador de Bordo | Desenvolvido | 1 | R\$ 1.000,00 | R\$ 1.000,00 |
| Cabos de Potência (m) | Adquirido | 4 | R\$ 100,00 | R\$ 400,00 |
| Conectores de Potência KCP 500 | Adquirido | 1 | R\$ 1.633,00 | R\$ 1.633,00 |
| Conectores de Potência KCS 500 | Adquirido | 1 | R\$ 191,00 | R\$ 191,00 |
| Usinagem da Flange de Conexão Motor-Transmissão | Desenvolvido | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Direção Elétrica UP | Adquirido | 1 | R\$ 1.134,87 | R\$ 1.134,87 |
| Chicote Elétrico | Adquirido | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Baterias | Adquirido | 104 | R\$ 753,83 | R\$ 78.398,59 |
| CUSTO PARCIAL | | | | R\$ 129.157,46 |
| MÃO DE OBRA | | | | |
| | TIPO DE TRABALHO | HORAS TRABALHADAS | CUSTO POR HORA | CUSTO FINAL |
| Engenheiros Mecânicos | Projeto e Montagem | 50 | R\$ 55,65 | R\$ 2.782,74 |
| Engenheiro Elétrico | Projeto e Montagem | 25 | R\$ 55,65 | R\$ 1.391,37 |
| Técnicos (Quantidade = 10) | Desenvolvimento | 50 | R\$ 50,00 | R\$ 2.500,00 |
| CUSTO PARCIAL | | | | R\$ 6.674,11 |
| Homologação | | | | R\$ 6.089,00 |
| TOTAL | | | | R\$ 141.920,57 |

Cenário 2

| CUSTO BATERIAS | | | | |
|------------------------------|------------|------|----------------------|-------------------|
| COMPONENTE DE CUSTO | QUANTIDADE | | CUSTO UNITÁRIO (R\$) | CUSTO TOTAL (R\$) |
| Bateria LIFEPD4 3,2V 50Ah | 168 | | 195,44 | 32.833,87 |
| Qtda Baterias Arredondamento | 1 | | | |
| Frete | - | | - | 7.480,00 |
| SUBTOTAL | | | | 40.313,87 |
| IPI (%) | - | 0,6 | - | 24.188,32 |
| ICMS DF (%) | - | 0,18 | - | 49.163,26 |
| SUBTOTAL | | | | 73.351,58 |
| TOTAL | | | 676,5800415 | 113.665,45 |

| CUSTOS DA CONVERSÃO REALIZADA ==> 1 VIAGEM DIA SEM PARADAS NO MEIO DA VIAGEM PARA RECARGA | | | | |
|---|--------------------|-------------------|----------------|----------------|
| COMPONENTE | ORIGEM | QUANTIDADE (Un.) | CUSTO UNITÁRIO | CUSTO FINAL |
| COMPONENTES FÍSICOS | | | | |
| Power Train: Motor Elétrico + Inversor | Adquirido | 1 | R\$ 44.400,00 | R\$ 44.400,00 |
| Módulo de Instrumentação | Desenvolvido | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Módulo de Sinalização | Desenvolvido | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Computador de Bordo | Desenvolvido | 1 | R\$ 1.000,00 | R\$ 1.000,00 |
| Cabos de Potência (m) | Adquirido | 4 | R\$ 100,00 | R\$ 400,00 |
| Conectores de Potência KCP 500 | Adquirido | 1 | R\$ 1.633,00 | R\$ 1.633,00 |
| Conectores de Potência KCS 500 | Adquirido | 1 | R\$ 191,00 | R\$ 191,00 |
| Usinagem da Flange de Conexão Motor-Transmissão | Desenvolvido | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Direção Elétrica UP | Adquirido | 1 | R\$ 1.134,87 | R\$ 1.134,87 |
| Chicote Elétrico | Adquirido | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Baterias | Adquirido | 168 | R\$ 676,58 | R\$ 113.665,45 |
| CUSTO PARCIAL | | | | R\$ 164.424,32 |
| MÃO DE OBRA | | | | |
| | TIPO DE TRABALHO | HORAS TRABALHADAS | CUSTO POR HORA | CUSTO FINAL |
| Engenheiros Mecânicos | Projeto e Montagem | 50 | R\$ 55,65 | R\$ 2.782,74 |
| Engenheiro Elétrico | Projeto e Montagem | 25 | R\$ 55,65 | R\$ 1.391,37 |
| Técnicos (Quantidade = 10) | Desenvolvimento | 50 | R\$ 50,00 | R\$ 2.500,00 |
| CUSTO PARCIAL | | | | R\$ 6.674,11 |
| Homologação | | | | R\$ 6.089,00 |
| TOTAL | | | | R\$ 177.187,42 |

Cenário 3

| CUSTO BATERIAS | | | | |
|----------------------------|------------|------|----------------------|-------------------|
| COMPONENTE DE CUSTO | QUANTIDADE | | CUSTO UNITÁRIO (R\$) | CUSTO TOTAL (R\$) |
| Bateria LIFEPD4 3,2V 150Ah | 144 | | 363,66 | 52.367,04 |
| Frete | - | | - | 7.480,00 |
| SUBTOTAL | | | | 59.847,04 |
| IPI (60%) | - | 0,6 | - | 35.908,22 |
| ICMS DF (18%) | - | 0,18 | - | 72.984,20 |
| SUBTOTAL | | | | 108.892,42 |
| TOTAL | | | 1171,801739 | 168.739,46 |

| CUSTOS DA CONVERSÃO REALIZADA ==> 3 VIAGENS DIA COM PARADAS ENTRE AS VIAGENS PARA RECARGA | | | | |
|---|--------------------|-------------------|----------------|-----------------------|
| COMPONENTE | ORIGEM | QUANTIDADE (Un.) | CUSTO UNITÁRIO | CUSTO FINAL |
| COMPONENTES FÍSICOS | | | | |
| Power Train: Motor Elétrico + Inversor | Adquirido | 1 | R\$ 44.400,00 | R\$ 44.400,00 |
| Módulo de Instrumentação | Desenvolvido | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Módulo de Sinalização | Desenvolvido | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Computador de Bordo | Desenvolvido | 1 | R\$ 1.000,00 | R\$ 1.000,00 |
| Cabos de Potência (m) | Adquirido | 4 | R\$ 100,00 | R\$ 400,00 |
| Conectores de Potência KCP 500 | Adquirido | 1 | R\$ 1.633,00 | R\$ 1.633,00 |
| Conectores de Potência KCS 500 | Adquirido | 1 | R\$ 191,00 | R\$ 191,00 |
| Usinagem da Flange de Conexão Motor-Transmissão | Desenvolvido | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Direção Elétrica UP | Adquirido | 1 | R\$ 1.134,87 | R\$ 1.134,87 |
| Chicote Elétrico | Adquirido | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Baterias | Adquirido | 144 | R\$ 1.171,80 | R\$ 168.739,46 |
| CUSTO PARCIAL | | | | R\$ 219.498,33 |
| MÃO DE OBRA | | | | |
| | TIPO DE TRABALHO | HORAS TRABALHADAS | CUSTO POR HORA | CUSTO FINAL |
| Engenheiros Mecânicos | Projeto e Montagem | 50 | R\$ 55,65 | R\$ 2.782,74 |
| Engenheiro Elétrico | Projeto e Montagem | 25 | R\$ 55,65 | R\$ 1.391,37 |
| Técnicos (Quantidade = 10) | Desenvolvimento | 50 | R\$ 50,00 | R\$ 2.500,00 |
| CUSTO PARCIAL | | | | R\$ 6.674,11 |
| Homologação | | | | R\$ 6.089,00 |
| TOTAL | | | | R\$ 232.261,44 |

Cenário 4

| CUSTO BATERIAS | | | | |
|------------------------------|------------|------|----------------------|-------------------|
| COMPONENTE DE CUSTO | QUANTIDADE | | CUSTO UNITÁRIO (R\$) | CUSTO TOTAL (R\$) |
| Bateria LIFEPO4 3,2V 150Ah | 176 | | 363,66 | 64.004,16 |
| Qtda Baterias Arredondamento | 5 | | | |
| Frete | - | | - | 7.480,00 |
| SUBTOTAL | | | | 71.484,16 |
| IPI (%) | - | 0,6 | - | 42.890,50 |
| ICMS DF (%) | - | 0,18 | - | 87.175,80 |
| SUBTOTAL | | | | 130.066,30 |
| TOTAL | | | | 1145.173073 |
| | | | | 201.550,46 |

| CUSTOS DA CONVERSÃO REALIZADA ==> 3 VIAGENS DIA SEM PARADAS ENTRE AS VIAGENS PARA RECARGA | | | | |
|---|--------------------|-------------------|----------------|-----------------------|
| COMPONENTE | ORIGEM | QUANTIDADE (Un.) | CUSTO UNITÁRIO | CUSTO FINAL |
| COMPONENTES FÍSICOS | | | | |
| Power Train: Motor Elétrico + Inversor | Adquirido | 1 | R\$ 44.400,00 | R\$ 44.400,00 |
| Módulo de Instrumentação | Desenvolvido | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Módulo de Sinalização | Desenvolvido | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Computador de Bordo | Desenvolvido | 1 | R\$ 1.000,00 | R\$ 1.000,00 |
| Cabos de Potência (m) | Adquirido | 4 | R\$ 100,00 | R\$ 400,00 |
| Conectores de Potência KCP 500 | Adquirido | 1 | R\$ 1.633,00 | R\$ 1.633,00 |
| Conectores de Potência KCS 500 | Adquirido | 1 | R\$ 191,00 | R\$ 191,00 |
| Usinagem da Flange de Conexão Motor-Transmissão | Desenvolvido | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Direção Elétrica UP | Adquirido | 1 | R\$ 1.134,87 | R\$ 1.134,87 |
| Chicote Elétrico | Adquirido | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Baterias | Adquirido | 176 | R\$ 1.145,17 | R\$ 201.550,46 |
| CUSTO PARCIAL | | | | R\$ 252.309,33 |
| MÃO DE OBRA | | | | |
| | TIPO DE TRABALHO | HORAS TRABALHADAS | CUSTO POR HORA | CUSTO FINAL |
| Engenheiros Mecânicos | Projeto e Montagem | 50 | R\$ 55,65 | R\$ 2.782,74 |
| Engenheiro Elétrico | Projeto e Montagem | 25 | R\$ 55,65 | R\$ 1.391,37 |
| Técnicos (Quantidade = 10) | Desenvolvimento | 50 | R\$ 50,00 | R\$ 2.500,00 |
| CUSTO PARCIAL | | | | R\$ 6.674,11 |
| Homologação | | | | R\$ 6.089,00 |
| TOTAL | | | | R\$ 265.072,44 |

Cenário 5

| CUSTO BATERIAS | | | | |
|----------------------------|------------|------|----------------------|-------------------|
| COMPONENTE DE CUSTO | QUANTIDADE | | CUSTO UNITÁRIO (R\$) | CUSTO TOTAL (R\$) |
| Bateria LIFEPO4 3,2V 150Ah | 144 | | 363,66 | 52.367,04 |
| Frete | - | | - | 7.480,00 |
| SUBTOTAL | | | | 59.847,04 |
| IPI (%) | - | 0,6 | - | 35.908,22 |
| ICMS DF (%) | - | 0,18 | - | 72.984,20 |
| SUBTOTAL | | | | 108.892,42 |
| TOTAL | | | 1171,801799 | 168.739,46 |

| CUSTOS DA CONVERSÃO REALIZADA ==> 3 VIAGENS DIA COM PARADAS ENTRE AS VIAGENS PARA RECARGA | | | | |
|---|--------------------|-------------------|----------------|----------------|
| COMPONENTE | ORIGEM | QUANTIDADE (Un.) | CUSTO UNITÁRIO | CUSTO FINAL |
| COMPONENTES FÍSICOS | | | | |
| Power Train: Motor Elétrico + Inversor | Adquirido | 1 | R\$ 44.400,00 | R\$ 44.400,00 |
| Módulo de Instrumentação | Desenvolvido | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Módulo de Sinalização | Desenvolvido | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Computador de Bordo | Desenvolvido | 1 | R\$ 1.000,00 | R\$ 1.000,00 |
| Cabos de Potência (m) | Adquirido | 4 | R\$ 100,00 | R\$ 400,00 |
| Conectores de Potência KCP 500 | Adquirido | 1 | R\$ 1.633,00 | R\$ 1.633,00 |
| Conectores de Potência KCS 500 | Adquirido | 1 | R\$ 191,00 | R\$ 191,00 |
| Usinagem da Flange de Conexão Motor-Transmissão | Desenvolvido | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Direção Elétrica UP | Adquirido | 1 | R\$ 1.134,87 | R\$ 1.134,87 |
| Chicote Elétrico | Adquirido | 1 | R\$ 500,00 | R\$ 500,00 |
| Baterias | Adquirido | 144 | R\$ 1.171,80 | R\$ 168.739,46 |
| CUSTO PARCIAL | | | | R\$ 219.498,33 |
| MÃO DE OBRA | | | | |
| | TIPO DE TRABALHO | HORAS TRABALHADAS | CUSTO POR HORA | CUSTO FINAL |
| Engenheiros Mecânicos | Projeto e Montagem | 50 | R\$ 55,65 | R\$ 2.782,74 |
| Engenheiro Elétrico | Projeto e Montagem | 25 | R\$ 55,65 | R\$ 1.391,37 |
| Técnicos (Quantidade = 10) | Desenvolvimento | 50 | R\$ 50,00 | R\$ 2.500,00 |
| CUSTO PARCIAL | | | | R\$ 6.674,11 |
| Homologação | | | | R\$ 6.089,00 |
| TOTAL | | | | R\$ 232.261,44 |

Cálculos dos Custos de Operação

Cenários 1 e 2

| | |
|---|------|
| KM PERCORRIDOS POR DIA LETIVO PELA VAN ESCOLAR PESQUISADA | 34 |
| KM PERCORRIDOS POR ANO PELA VAN ESCOLAR PESQUISADA | 6800 |

| VARIÁVEIS | VAN A DIESEL | | | | | |
|--------------------------|--------------|-----------|----------------------|-------------------|-----------------|----------------|
| | QTD/ANO | Km RODADO | CUSTO UNITÁRIO (R\$) | MÃO DE OBRA (20%) | CUSTO ANO (R\$) | CUSTO Km (R\$) |
| Troca de Óleo | 1,00 | | 200,00 | 40,00 | 240,00 | 0,04 |
| Filtro de Óleo | 1,00 | | 47,50 | 9,50 | 57,00 | 0,01 |
| Escapamento + Peças | 0,33 | | 487,00 | 97,40 | 192,85 | 0,03 |
| Catalisador + Peças | 0,33 | | 260,00 | 52,00 | 102,96 | 0,02 |
| Filtro de Combustível | 1,00 | | 72,00 | 14,40 | 86,40 | 0,01 |
| Filtro de Ar | 1,00 | | 55,00 | 11,00 | 66,00 | 0,01 |
| Bomba de Combustível | 0,07 | 100.000 | 4.990,00 | 998,00 | 407,18 | 0,06 |
| Radiador | 0,10 | | 735,00 | 147,00 | 88,20 | 0,01 |
| Correia Motor | 0,23 | 30.000 | 195,00 | 39,00 | 53,04 | 0,01 |
| Correia Alternador | 0,23 | 30.000 | 50,00 | 10,00 | 13,60 | 0,00 |
| Líquido de Arrefecimento | 1,36 | 5.000 | 272,00 | 54,40 | 443,90 | 0,07 |
| Velas de Ignição | 0,14 | 50.000 | 97,00 | 19,40 | 15,83 | 0,00 |
| Embreagem | 0,10 | | 1.138,00 | 227,60 | 136,56 | 0,02 |
| Sonda Lambda | 0,10 | | 455,00 | 91,00 | 54,60 | 0,01 |
| Revisão Motor Diesel | 1,00 | | 700,00 | 140,00 | 840,00 | 0,12 |
| Bateria Chumbo-Ácido | 0,33 | | 642,00 | 128,40 | 254,23 | 0,04 |
| TOTAL | | | | | 3.052,36 | 0,45 |

| | VAN CONVERTIDA PARA ELÉTRICA | | | | | |
|------------------------------|------------------------------|-----------|-------------|-------------------|-----------------|----------------|
| | CENÁRIO 1 | | | | | |
| | FREQUÊNCIA ANUAL | Km RODADO | CUSTO (R\$) | MÃO DE OBRA (20%) | CUSTO ANO (R\$) | CUSTO Km (R\$) |
| Conjunto de Baterias Troca | | | 78.398,59 | | | |
| Revisão Motor Elétrico | 0,20 | | 350,00 | 70,00 | 84,00 | 0,01 |
| Revisão Baterias + Troca 10% | 0,10 | | 7.839,86 | 1.567,97 | 940,78 | 0,14 |
| TOTAL | | | | | 1.024,78 | 0,15 |
| | CENÁRIO 2 | | | | | |
| | FREQUÊNCIA ANUAL | Km RODADO | CUSTO (R\$) | MÃO DE OBRA (20%) | CUSTO ANO (R\$) | CUSTO Km (R\$) |
| Conjunto de Baterias Troca | | | 113.665,45 | | | |
| Revisão Motor Elétrico | 0,20 | | 350,00 | 70,00 | 84,00 | 0,01 |
| Revisão Baterias + Troca 10% | 0,10 | | 11.366,54 | 2.273,31 | 1.363,99 | 0,20 |
| TOTAL | | | | | 1.447,99 | 0,21 |

Cenários 3 e 4

| | |
|---|-------|
| KM PERCORRIDOS POR DIA LETIVO PELA VAN ESCOLAR PESQUISADA | 102 |
| KM PERCORRIDOS POR ANO PELA VAN ESCOLAR PESQUISADA | 20400 |

| VARIÁVEIS | QTDA/ANO | Km RODADO | CUSTO UNITÁRIO (R\$) | MÃO DE OBRA (20%) | CUSTO ANO (R\$) | CUSTO Km (R\$) |
|--------------------------|----------|-----------|----------------------|-------------------|-----------------|----------------|
| Troca de Óleo | 2,00 | | 200,00 | 40,00 | 480,00 | 0,02 |
| Filtro de Óleo | 2,00 | | 47,50 | 9,50 | 114,00 | 0,01 |
| Escapamento + Peças | 0,33 | | 487,00 | 97,40 | 192,85 | 0,01 |
| Catalisador + Peças | 0,33 | | 260,00 | 52,00 | 102,96 | 0,01 |
| Filtro de Combustível | 2,00 | | 72,00 | 14,40 | 172,80 | 0,01 |
| Filtro de Ar | 2,00 | | 55,00 | 11,00 | 132,00 | 0,01 |
| Bomba de Combustível | 0,20 | 100.000 | 4.990,00 | 998,00 | 1.221,55 | 0,06 |
| Radiador | 0,10 | | 735,00 | 147,00 | 88,20 | 0,00 |
| Correia Motor | 0,68 | 30.000 | 195,00 | 39,00 | 159,12 | 0,01 |
| Correia Alternador | 0,68 | 30.000 | 50,00 | 10,00 | 40,80 | 0,00 |
| Líquido de Arrefecimento | 4,08 | 5.000 | 272,00 | 54,40 | 1.331,71 | 0,07 |
| Velas de Ignição | 0,41 | 50.000 | 97,00 | 19,40 | 47,49 | 0,00 |
| Embreagem | 0,10 | | 1.138,00 | 227,60 | 136,56 | 0,01 |
| Sonda Lambda | 0,10 | | 455,00 | 91,00 | 54,60 | 0,00 |
| Revisão Motor Diesel | 1,00 | | 700,00 | 140,00 | 840,00 | 0,04 |
| Bateria Chumbo-Ácido | 0,33 | | 642,00 | 128,40 | 254,23 | 0,01 |
| TOTAL | | | | | 5.368,88 | 0,26 |

| VAN CONVERTIDA PARA ELÉTRICA | | | | | | |
|------------------------------|------------------|-----------|-------------|-------------------|-----------------|----------------|
| CENÁRIO 3 | | | | | | |
| | FREQUÊNCIA ANUAL | Km RODADO | CUSTO (R\$) | MÃO DE OBRA (20%) | CUSTO ANO (R\$) | CUSTO Km (R\$) |
| Conjunto de Baterias | | | 168.739,46 | | | |
| Revisão Motor Elétrico | 0,20 | | 350,00 | 70,00 | 84,00 | 0,00 |
| Revisão Baterias + Troca 10% | 0,10 | | 16.873,95 | 3.374,79 | 2.024,87 | 0,10 |
| TOTAL | | | | | 2.108,87 | 0,10 |
| CENÁRIO 4 | | | | | | |
| | FREQUÊNCIA ANUAL | Km RODADO | CUSTO (R\$) | MÃO DE OBRA (20%) | CUSTO ANO (R\$) | CUSTO Km (R\$) |
| Conjunto de Baterias | | | 201.550,46 | | | |
| Revisão Motor Elétrico | 0,20 | | 350,00 | 70,00 | 84,00 | 0,00 |
| Revisão Baterias + Troca 10% | 0,10 | | 20.155,05 | 4.031,01 | 2.418,61 | 0,12 |
| TOTAL | | | | | 2.502,61 | 0,12 |

Cenário 5

| | |
|---|-------|
| KM PERCORRIDOS POR DIA LETIVO PELA VAN ESCOLAR PESQUISADA | 102 |
| KM PERCORRIDOS POR ANO PELA VAN ESCOLAR PESQUISADA | 25704 |

| VAN A DIESEL | | | | | | |
|--------------------------|----------|-----------|----------------------|-------------------|-----------------|----------------|
| VARIÁVEIS | QTDA/ANO | Km RODADO | CUSTO UNITÁRIO (R\$) | MÃO DE OBRA (20%) | CUSTO ANO (R\$) | CUSTO Km (R\$) |
| Troca de Óleo | 2,00 | | 200,00 | 40,00 | 480,00 | 0,02 |
| Filtro de Óleo | 2,00 | | 47,50 | 9,50 | 114,00 | 0,00 |
| Escapamento + Peças | 0,33 | | 487,00 | 97,40 | 192,85 | 0,01 |
| Catalisador + Peças | 0,33 | | 260,00 | 52,00 | 102,96 | 0,00 |
| Filtro de Combustível | 2,00 | | 72,00 | 14,40 | 172,80 | 0,01 |
| Filtro de Ar | 2,00 | | 55,00 | 11,00 | 132,00 | 0,01 |
| Bomba de Combustível | 0,26 | 100.000 | 4.990,00 | 998,00 | 1.539,16 | 0,06 |
| Radiador | 0,10 | | 735,00 | 147,00 | 88,20 | 0,00 |
| Correia Motor | 0,86 | 30.000 | 195,00 | 39,00 | 200,49 | 0,01 |
| Correia Alternador | 0,86 | 30.000 | 50,00 | 10,00 | 51,41 | 0,00 |
| Líquido de Arrefecimento | 5,14 | 5.000 | 272,00 | 54,40 | 1.677,96 | 0,07 |
| Velas de Ignição | 0,51 | 50.000 | 97,00 | 19,40 | 59,84 | 0,00 |
| Embreagem | 0,10 | | 1.138,00 | 227,60 | 136,56 | 0,01 |
| Sonda Lambda | 0,10 | | 455,00 | 91,00 | 54,60 | 0,00 |
| Revisão Motor Diesel | 1,00 | | 700,00 | 140,00 | 840,00 | 0,03 |
| Bateria Chumbo-Ácido | 0,33 | | 642,00 | 128,40 | 254,23 | 0,01 |
| TOTAL | | | | | 6.097,05 | 0,24 |

| VAN CONVERTIDA PARA ELÉTRICA | | | | | | |
|------------------------------|------------------|-----------|-------------|-------------------|-----------------|----------------|
| CENÁRIO 3 | | | | | | |
| | FREQUÊNCIA ANUAL | Km RODADO | CUSTO (R\$) | MÃO DE OBRA (20%) | CUSTO ANO (R\$) | CUSTO Km (R\$) |
| Conjunto de Baterias | | | 168.739,46 | | | |
| Revisão Motor Elétrico | 0,20 | | 350,00 | 70,00 | 84,00 | 0,00 |
| Revisão Baterias + Troca 10% | 0,10 | | 16.873,95 | 3.374,79 | 2.024,87 | 0,08 |
| TOTAL | | | | | 2.108,87 | 0,08 |
| CENÁRIO 4 | | | | | | |
| | FREQUÊNCIA ANUAL | Km RODADO | CUSTO (R\$) | MÃO DE OBRA (20%) | CUSTO ANO (R\$) | CUSTO Km (R\$) |
| Conjunto de Baterias | | | 201.550,46 | | | |
| Revisão Motor Elétrico | 0,20 | | 350,00 | 70,00 | 84,00 | 0,00 |
| Revisão Baterias + Troca 10% | 0,10 | | 20.155,05 | 4.031,01 | 2.418,61 | 0,09 |
| TOTAL | | | | | 2.502,61 | 0,10 |

Comparação dos Custos de Operação

Cenários 1 e 2

| CENÁRIOS 1 E 2 | | | |
|----------------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|
| VEÍCULO DIESEL | | VEÍCULO ELÉTRICO | |
| PARÂMETRO | VALOR | PARÂMETRO | VALOR |
| (Km/l) | 9 | (Km/kWh) | 2,5 |
| Consumo de Diesel por km (l) | 0,1111111111 | Consumo de Energia por km (kWh) | 0,4 |
| Custo do Diesel no DF (R\$/l) | R\$ 5,26 | Custo da Energia no DF (R\$/kWh) | R\$ 1,13 |
| Custo de Rodagem por km (R\$) | R\$ 0,58 | Custo de Rodagem por Km (R\$) | R\$ 0,45 |
| Dias Letivos por Mês | 21 | Dias Letivos por Mês | 21 |
| Dias Letivos por Ano | 200 | Dias Letivos por Ano | 200 |
| Quilometragem Diária Rodada (km) | 34 | Quilometragem Diária Rodada (km) | 34 |
| Quilometragem Mensal Rodada (km) | 714 | Quilometragem Mensal Rodada (km) | 714 |
| Quilometragem Anual Rodada (km) | 6.800 | Quilometragem Anual Rodada (km) | 6.800 |
| CUSTO SEM MANUTENÇÃO | | CUSTO SEM MANUTENÇÃO | |
| Custo por Dia (R\$) | R\$ 19,87 | Custo por Dia (R\$) | R\$ 15,43 |
| Custo por Mês (R\$) | R\$ 417,29 | Custo por Mês (R\$) | R\$ 324,11 |
| Custo por Ano (R\$) | R\$ 3.974,22 | Custo por Ano (R\$) | R\$ 3.086,75 |
| CUSTO ANUAL DE MANUTENÇÃO | | CUSTO ANUAL DE MANUTENÇÃO | |
| Cenário 1 | R\$ 3.052,36 | Cenário 1 | R\$ 1.024,78 |
| Cenário 2 | R\$ 3.052,36 | Cenário 2 | R\$ 1.447,99 |
| CENÁRIO 1 | | | |
| CUSTO TOTAL COM MANUTENÇÃO | | CUSTO TOTAL COM MANUTENÇÃO | |
| Custo por Ano (R\$) | R\$ 7.026,58 | Custo por Ano (R\$) | R\$ 4.111,53 |
| CENÁRIO 2 | | | |
| CUSTO TOTAL COM MANUTENÇÃO | | CUSTO TOTAL COM MANUTENÇÃO | |
| Custo por Ano (R\$) | R\$ 7.026,58 | Custo por Ano (R\$) | R\$ 4.534,74 |

Cenários 3 e 4

| CENÁRIOS 3 E 4 | | | | |
|----------------------------------|---------------|--|----------------------------------|---------------|
| VEÍCULO DIESEL | | | VEÍCULO ELÉTRICO | |
| PARÂMETRO | VALOR | | PARÂMETRO | VALOR |
| (Km/l) | 9 | | (Km/kwh) | 2,5 |
| Consumo de Diesel por km (l) | 0,11111111 | | Consumo de Energia por km (kwh) | 0,4 |
| Custo do Diesel no DF (R\$/l) | R\$ 5,26 | | Custo da Energia no DF (R\$/kwh) | R\$ 1,13 |
| Custo de Rodagem por km (R\$) | R\$ 0,58 | | Custo de Rodagem por Km (R\$) | R\$ 0,45 |
| Dias Letivos por Mês | 21 | | Dias Letivos por Mês | 21 |
| Dias Letivos por Ano | 200 | | Dias Letivos por Ano | 200 |
| Quilometragem Diária Rodada (km) | 102 | | Quilometragem Diária Rodada (km) | 102 |
| Quilometragem Mensal Rodada (km) | 2.142 | | Quilometragem Mensal Rodada (km) | 2.142 |
| Quilometragem Anual Rodada (km) | 20.400 | | Quilometragem Anual Rodada (km) | 20.400 |
| CUSTO SEM MANUTENÇÃO | | | CUSTO SEM MANUTENÇÃO | |
| Custo por Dia (R\$) | R\$ 59,61 | | Custo por Dia (R\$) | R\$ 46,30 |
| Custo por Mês (R\$) | R\$ 1.251,88 | | Custo por Mês (R\$) | R\$ 972,33 |
| Custo por Ano (R\$) | R\$ 11.922,67 | | Custo por Ano (R\$) | R\$ 9.260,25 |
| CUSTO ANUAL DE MANUTENÇÃO | | | CUSTO ANUAL DE MANUTENÇÃO | |
| Cenário 3 | R\$ 5.368,88 | | Cenário 3 | R\$ 2.108,87 |
| Cenário 4 | R\$ 5.368,88 | | Cenário 4 | R\$ 2.502,61 |
| CENÁRIO 3 | | | | |
| CUSTO TOTAL COM MANUTENÇÃO | | | CUSTO TOTAL COM MANUTENÇÃO | |
| Custo por Ano (R\$) | R\$ 17.291,55 | | Custo por Ano (R\$) | R\$ 11.369,12 |
| CENÁRIO 4 | | | | |
| CUSTO TOTAL COM MANUTENÇÃO | | | CUSTO TOTAL COM MANUTENÇÃO | |
| Custo por Ano (R\$) | R\$ 17.291,55 | | Custo por Ano (R\$) | R\$ 11.762,86 |

Cenário 5

| CENÁRIO 5 | | | | |
|----------------------------------|---------------|--|----------------------------------|---------------|
| VEÍCULO DIESEL | | | VEÍCULO ELÉTRICO | |
| PARÂMETRO | VALOR | | PARÂMETRO | VALOR |
| (Km/l) | 9 | | (Km/kwh) | 2,5 |
| Consumo de Diesel por km (l) | 0,11111111 | | Consumo de Energia por km (kwh) | 0,4 |
| Custo do Diesel no DF (R\$/l) | R\$ 5,26 | | Custo da Energia no DF (R\$/kwh) | R\$ 1,13 |
| Custo de Rodagem por km (R\$) | R\$ 0,58 | | Custo de Rodagem por Km (R\$) | R\$ 0,45 |
| Dias Letivos por Mês | 21 | | Dias Letivos por Mês | 21 |
| Dias Úteis por Ano | 252 | | Dias Letivos por Ano | 252 |
| Quilometragem Diária Rodada (km) | 102 | | Quilometragem Diária Rodada (km) | 102 |
| Quilometragem Mensal Rodada (km) | 2.142 | | Quilometragem Mensal Rodada (km) | 2.142 |
| Quilometragem Anual Rodada (km) | 25.704 | | Quilometragem Anual Rodada (km) | 25.704 |
| CUSTO SEM MANUTENÇÃO | | | CUSTO SEM MANUTENÇÃO | |
| Custo por Dia (R\$) | R\$ 59,61 | | Custo por Dia (R\$) | R\$ 46,30 |
| Custo por Mês (R\$) | R\$ 1.251,88 | | Custo por Mês (R\$) | R\$ 972,33 |
| Custo por Ano (R\$) | R\$ 15.022,56 | | Custo por Ano (R\$) | R\$ 11.667,92 |
| CUSTO ANUAL DE MANUTENÇÃO | | | CUSTO ANUAL DE MANUTENÇÃO | |
| Cenário 5 | R\$ 5.368,88 | | Cenário 5 | R\$ 2.108,87 |
| CENÁRIO 5 | | | | |
| CUSTO TOTAL COM MANUTENÇÃO | | | CUSTO TOTAL COM MANUTENÇÃO | |
| Custo por Ano (R\$) | R\$ 20.391,44 | | Custo por Ano (R\$) | R\$ 13.776,79 |

Cálculo do PIS e Cofins

| MÊS/ANO | PIS | CONFINS |
|---------|-------|---------|
| out/21 | 1,34% | 6,16% |
| set/21 | 0,81% | 3,72% |
| ago/21 | 0,75% | 3,45% |
| jul/21 | 0,57% | 2,62% |
| jun/21 | 0,52% | 2,40% |
| mai/21 | 0,71% | 3,27% |
| abr/21 | 0,88% | 4,07% |
| mar/21 | 1,16% | 5,33% |
| fev/21 | 0,88% | 4,06% |
| jan/21 | 0,56% | 2,60% |
| dez/20 | 0,58% | 2,66% |
| nov/20 | 0,85% | 3,89% |
| MÉDIA | 0,80% | 3,69% |

Fluxos de Caixa

Cenário 1

| VAN A DIESEL | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------|------------------|-------------------|----------------------|
| Saída | | | R\$ | - | | VP CUSTO |
| km Rodados Dia | | | | 34 | | TOTAL SOMA |
| Tempo (anos) | | | | 10 | | 72.253,71 |
| Juros (%) (TJLP) | | | | 5,32% | | |
| km Rodados Ano Letivo | | | | 6.800 | | |
| Autonomia (Km/l) | | | | 9,00 | | |
| Consumo de Diesel por km (l) | | | | 0,11 | | |
| Custo do Diesel no DF (R\$/l) | | | | 5,26 | | |
| ANO | INFLAÇÃO ANUAL PROJETADA | PREÇO MÉDIO DIESEL PROJETADO (R\$/L) | CUSTO DE MANUTENÇÃO | CUSTO DE RODAGEM | CUSTO TOTAL (R\$) | VALOR PRESENTE (R\$) |
| 0 | | 5,2600 | 3.052,36 | 3.974,22 | 7.026,58 | |
| 1 | 8,2680% | 5,6949 | 3.304,73 | 4.302,81 | 7.607,54 | 7.223,26 |
| 2 | 6,3513% | 6,0566 | 3.514,62 | 4.576,09 | 8.090,72 | 7.293,99 |
| 3 | 5,8433% | 6,4105 | 3.719,99 | 4.843,49 | 8.563,48 | 7.330,24 |
| 4 | 4,0429% | 6,6697 | 3.870,39 | 5.039,31 | 8.909,70 | 7.241,35 |
| 5 | 3,5246% | 6,9047 | 4.006,81 | 5.216,92 | 9.223,73 | 7.117,90 |
| 6 | 5,3165% | 7,2718 | 4.219,83 | 5.494,28 | 9.714,10 | 7.117,67 |
| 7 | 5,7206% | 7,6878 | 4.461,23 | 5.808,58 | 10.269,81 | 7.144,74 |
| 8 | 6,2335% | 8,1671 | 4.739,32 | 6.170,66 | 10.909,98 | 7.206,71 |
| 9 | 6,5225% | 8,6997 | 5.048,44 | 6.573,14 | 11.621,58 | 7.288,99 |
| 10 | 5,3180% | 9,1624 | 5.316,91 | 6.922,70 | 12.239,61 | 7.288,85 |

| VANELETRICA | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--|
| Saída | | | R\$ | 11320,57 | | VP CUSTO TOTAL SOMA | 42.278,51 | PAYBACK SIMPLES | 35,21 |
| km Rodados Dia | | | | 34 | | VP DIFERENÇA CUSTO ELET-COMB | 29.975,20 | PAYBACK DESCONTADO | 47,35 |
| Tempo (anos) | | | | 10 | | VP TOTAL | R\$29.975,20 | | |
| Juros (%) (TJLP) | | | | 5,32% | | VPL | -R\$11.945,37 | | |
| km Rodados Ano Letivo | | | | 6800 | | | | | |
| Autonomia (Km/kV) | | | | 2,50 | | | | | |
| Consumo de Energia por km (kV) | | | | 0,40 | | | | | |
| Custo da Energia no DF (R\$/kVh) | | | | 113 | | | | | |
| ANO | INFLAÇÃO ANUAL PROJETADA | PREÇO MÉDIO ENERGIA PROJETADO (R\$/L) | CUSTO DE CONVERSÃO (R\$) | CUSTO DE MANUTENÇÃO (R\$) | CUSTO DE RODAGEM (R\$) | CUSTO TOTAL (R\$) | DIFERENÇA CUSTO ELET-COMB (R\$) | VALOR PRESENTE CUSTO TOTAL (R\$) | VALOR PRESENTE DIFERENÇA CUSTO ELET-COMB (R\$) |
| 0 | | 1,348 | -11320,57 | 1024,78 | 3.086,75 | 4.111,53 | -2.916,05 | | |
| 1 | 8,2680% | 1,2287 | | 1109,51 | 3.241,96 | 4.351,47 | -3.156,07 | 4.226,62 | 2.396,65 |
| 2 | 6,3513% | 1,3067 | | 1179,98 | 3.554,22 | 4.734,20 | -3.356,52 | 4.268,01 | 3.025,99 |
| 3 | 5,8433% | 1,3831 | | 1248,93 | 3.761,90 | 5.010,83 | -3.552,65 | 4.289,21 | 3.041,02 |
| 4 | 4,0423% | 1,4390 | | 1299,49 | 3.933,39 | 5.233,42 | -3.696,28 | 4.237,20 | 3.004,15 |
| 5 | 3,5246% | 1,4897 | | 1345,22 | 4.091,65 | 5.397,17 | -3.823,56 | 4.164,87 | 2.952,94 |
| 6 | 5,3165% | 1,5689 | | 1416,74 | 4.267,37 | 5.684,11 | -4.030,00 | 4.164,83 | 2.952,84 |
| 7 | 5,7206% | 1,6586 | | 1497,79 | 4.511,49 | 6.009,27 | -4.260,54 | 4.180,67 | 2.964,07 |
| 8 | 6,2335% | 1,7620 | | 1591,15 | 4.792,71 | 6.383,86 | -4.526,12 | 4.216,93 | 2.989,78 |
| 9 | 6,5225% | 1,8770 | | 1694,89 | 5.105,31 | 6.800,25 | -4.821,33 | 4.265,08 | 3.023,81 |
| 10 | 5,3180% | 1,9768 | | 1765,07 | 5,376,81 | 7,161,68 | -5,077,73 | 4,265,08 | 3,023,86 |

Cenário 2

| VAN A DIESEL | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------|------------------|-------------------|----------------------|-----------|
| Saída | | | | R\$ | - | VP SOMA | 72.253,71 |
| km Rodados Dia | | | | | 34 | | |
| Tempo (anos) | | | | | 10 | | |
| Juros (%) (TJLP) | | | | | 5,32% | | |
| km Rodados Ano Letivo | | | | | 6.800 | | |
| Autonomia (Km/l) | | | | | 9,00 | | |
| Consumo de Diesel por km (l) | | | | | 0,11 | | |
| Custo do Diesel no DF (R\$/l) | | | | | 5,26 | | |
| ANO | INFLAÇÃO ANUAL PROJETADA | PREÇO MÉDIO DIESEL PROJETADO (R\$/L) | CUSTO DE MANUTENÇÃO | CUSTO DE RODAGEM | CUSTO TOTAL (R\$) | VALOR PRESENTE (R\$) | |
| 0 | | 5,2600 | 3,052,36 | 3,974,22 | 7,026,58 | | |
| 1 | 8,2680% | 5,6949 | 3,304,73 | 4,302,81 | 7,607,54 | 7,223,26 | |
| 2 | 6,3513% | 6,0566 | 3,514,62 | 4,576,09 | 8,090,72 | 7,293,99 | |
| 3 | 5,8433% | 6,4105 | 3,719,99 | 4,843,49 | 8,563,48 | 7,330,24 | |
| 4 | 4,0423% | 6,6637 | 3,870,39 | 5,039,31 | 8,909,70 | 7,241,35 | |
| 5 | 3,5246% | 6,9047 | 4,006,81 | 5,216,92 | 9,223,73 | 7,117,90 | |
| 6 | 5,3165% | 7,2718 | 4,219,83 | 5,494,28 | 9,714,10 | 7,117,67 | |
| 7 | 5,7206% | 7,6878 | 4,461,23 | 5,808,58 | 10,269,81 | 7,144,74 | |
| 8 | 6,2335% | 8,1671 | 4,739,32 | 6,170,66 | 10,909,98 | 7,206,71 | |
| 9 | 6,5225% | 8,6997 | 5,048,44 | 6,573,14 | 11,621,58 | 7,288,99 | |
| 10 | 5,3180% | 9,1624 | 5,316,91 | 6,922,70 | 12,239,61 | 7,288,85 | |

| VANELETRICA | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------|--|
| Saída | | | R\$ | 177.187,42 | | VP CUSTO TOTAL SOMA | 46.630,26 | PAYBACK SIMPLES | 51,43 |
| km Rodados Dia | | | | 34 | | VP DIFERENÇA CUSTO ELET-COMB | 25.623,45 | PAYBACK DESCONTADO | 69,15 |
| Tempo (anos) | | | | 10 | | VP TOTAL | R\$25.623,45 | | |
| Juros (%) (TJLP) | | | | 5,32% | | VPL | -R\$151.563,98 | | |
| km Rodados Ano Letivo | | | | 6800 | | | | | |
| Autonomia (Km/kV) | | | | 2,50 | | | | | |
| Consumo de Energia por km (kV) | | | | 0,40 | | | | | |
| Custo da Energia no DF (R\$/kVh) | | | | 113 | | | | | |
| ANO | INFLAÇÃO ANUAL PROJETADA | PREÇO MÉDIO ENERGIA PROJETADO (R\$/L) | CUSTO DE CONVERSÃO (R\$) | CUSTO DE MANUTENÇÃO (R\$) | CUSTO DE RODAGEM (R\$) | CUSTO TOTAL (R\$) | DIFERENÇA CUSTO ELET-COMB (R\$) | VALOR PRESENTE (R\$) | VALOR PRESENTE DIFERENÇA CUSTO ELET-COMB (R\$) |
| 0 | | 1,348 | -177.187,42 | 1.447,99 | 3.086,75 | 4.534,74 | -2.491,85 | | |
| 1 | 8,2680% | 1,2287 | | 1.567,70 | 3.241,96 | 4.809,67 | -2.637,87 | 4.561,67 | 2.561,60 |
| 2 | 6,3513% | 1,3067 | | 1.667,27 | 3.554,22 | 5.221,49 | -2.869,23 | 4.707,31 | 2.596,68 |
| 3 | 5,8433% | 1,3831 | | 1.764,70 | 3.761,90 | 5.526,60 | -3.036,88 | 4.730,70 | 2.599,53 |
| 4 | 4,0423% | 1,4390 | | 1.836,04 | 3.933,39 | 5.769,44 | -3.159,66 | 4.673,24 | 2.568,01 |
| 5 | 3,5246% | 1,4897 | | 1.900,76 | 4.091,65 | 5.992,70 | -3.271,03 | 4.593,67 | 2.524,23 |
| 6 | 5,3165% | 1,5689 | | 2.001,81 | 4.267,37 | 6.269,17 | -3.444,93 | 4.593,52 | 2.524,15 |
| 7 | 5,7206% | 1,6586 | | 2.116,32 | 4.511,49 | 6.627,81 | -3.642,00 | 4.610,99 | 2.533,75 |
| 8 | 6,2335% | 1,7620 | | 2.248,25 | 4.792,71 | 7.040,95 | -3.869,02 | 4.650,88 | 2.555,73 |
| 9 | 6,5225% | 1,8770 | | 2.394,89 | 5.105,31 | 7.500,20 | -4.121,38 | 4.704,08 | 2.584,91 |
| 10 | 5,3180% | 1,9768 | | 2.522,25 | 5,376,81 | 7,899,06 | -4,340,55 | 4,703,99 | 2,584,86 |

Cenário 3

| VAN A DIESEL | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------|------------------|-------------------|----------------------|
| Saída | | | R\$ | - | VP SOMA | 177.807,33 |
| km Rodados Dia | | | | 102 | | |
| Tempo (anos) | | | | 10 | | |
| Juros [%] (TJLP) | | | | 5,32% | | |
| km Rodados Ano Letivo | | | | 20.400 | | |
| Autonomia (Km/l) | | | | 9,00 | | |
| Consumo de Diesel por km (l) | | | | 0,11 | | |
| Custo do Diesel no DF (R\$/l) | | | | 5,26 | | |
| ANO | INFLAÇÃO ANUAL PROJETADA | PREÇO MÉDIO DIESEL PROJETADO (R\$/L) | CUSTO DE MANUTENÇÃO | CUSTO DE RODAGEM | CUSTO TOTAL (R\$) | VALOR PRESENTE (R\$) |
| 0 | | 5,2600 | 5.368,88 | 11.922,67 | 17.291,55 | |
| 1 | 8,2680% | 5,6949 | 5.812,78 | 12.908,43 | 18.721,21 | 17.775,55 |
| 2 | 6,3513% | 6,0566 | 6.181,96 | 13.728,28 | 19.910,25 | 17.949,61 |
| 3 | 5,8433% | 6,4105 | 6.543,19 | 14.530,47 | 21.073,66 | 18.038,79 |
| 4 | 4,0429% | 6,6697 | 6.807,73 | 15.117,92 | 21.925,65 | 17.820,06 |
| 5 | 3,5246% | 6,9047 | 7.047,67 | 15.650,76 | 22.698,44 | 17.516,27 |
| 6 | 5,3165% | 7,2718 | 7.422,36 | 16.482,83 | 23.905,19 | 17.515,68 |
| 7 | 5,7206% | 7,6878 | 7.846,97 | 17.425,75 | 25.272,72 | 17.582,31 |
| 8 | 6,2335% | 8,1671 | 8.336,10 | 18.511,98 | 26.848,09 | 17.734,81 |
| 9 | 6,5225% | 8,6997 | 8.879,82 | 19.719,42 | 28.599,25 | 17.937,29 |
| 10 | 5,3180% | 9,1624 | 9.352,05 | 20.768,10 | 30.120,15 | 17.936,95 |

| VANELETRICA | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------------|----------------------|--|
| Saída | | | R\$ | 232.261,44 | VP CUSTO TOTAL SOMA | 116.907,63 | PAYBACK SIMPLES | | |
| km Rodados Dia | | | | 102 | VP DIFERENÇA CUSTO ELET. | 60.899,71 | PAYBACK DESCONTADO | 28,36 | |
| Tempo (anos) | | | | 10 | VP TOTAL | R\$60.899,71 | | 38,14 | |
| Juros [%] (TJLP) | | | | 5,32% | VPL | -R\$171.361,73 | | | |
| km Rodados Ano Letivo | | | | 20400 | | | | | |
| Autonomia (Km/kV) | | | | 2,50 | | | | | |
| Consumo de Energia por km (kV) | | | | 0,40 | | | | | |
| Custo da Energia no DF (R\$/kVh) | | | | 1,13 | | | | | |
| ANO | INFLAÇÃO ANUAL PROJETADA | PREÇO MÉDIO ENERGIA PROJETADO (R\$/L) | CUSTO DE CONVERSÃO (R\$) | CUSTO DE MANUTENÇÃO (R\$) | CUSTO DE RODAGEM (R\$) | CUSTO TOTAL (R\$) | DIFERENÇA CUSTO ELET-COMB (R\$) | VALOR PRESENTE (R\$) | VALOR PRESENTE DIFERENÇA CUSTO ELET-COMB (R\$) |
| 0 | | 1,1348 | -232.261,44 | 2.108,87 | 9.260,25 | 11.369,12 | -9.922,42 | | |
| 1 | 8,2680% | 1,2287 | | 2.283,23 | 10.025,89 | 12.309,12 | -6.412,09 | 11.687,35 | 6.088,19 |
| 2 | 6,3513% | 1,3067 | | 2.426,25 | 10.662,66 | 13.088,91 | -8.819,34 | 11.801,60 | 6.147,81 |
| 3 | 5,8433% | 1,3531 | | 2.570,14 | 11.295,71 | 13.865,85 | -7.217,81 | 11.850,44 | 6.178,36 |
| 4 | 4,0429% | 1,4390 | | 2.674,05 | 11.741,98 | 14.416,03 | -7.509,62 | 11.716,62 | 6.103,44 |
| 5 | 3,5246% | 1,4897 | | 2.768,30 | 12.195,84 | 14.964,13 | -7.774,30 | 11.516,88 | 5.999,39 |
| 6 | 5,3165% | 1,5689 | | 2.915,47 | 12.802,10 | 15.717,57 | -8.187,62 | 11.516,49 | 5.999,19 |
| 7 | 5,7206% | 1,6586 | | 3.082,26 | 13.534,46 | 16.616,71 | -8.656,00 | 11.660,30 | 6.022,01 |
| 8 | 6,2335% | 1,7620 | | 3.274,39 | 14.378,13 | 17.652,51 | -9.195,57 | 11.660,97 | 6.074,24 |
| 9 | 6,5225% | 1,8770 | | 3.487,96 | 15.335,93 | 18.823,89 | -9.795,35 | 11.793,70 | 6.143,69 |
| 10 | 5,3180% | 1,9768 | | 3.673,45 | 16.190,43 | 19.863,88 | -10.316,27 | 11.793,48 | 6.143,48 |

Cenário 4

| VAN A DIESEL | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------|------------------|-------------------|----------------------|------------|
| Saída | | | R\$ | - | | VP SOMA | 177.807,33 |
| km Rodados Dia | | | | 102 | | | |
| Tempo (anos) | | | | 10 | | | |
| Juros (%) (TJLP) | | | | 5,32% | | | |
| km Rodados Ano Letivo | | | | 20.400 | | | |
| Autonomia (Km/l) | | | | 9,00 | | | |
| Consumo de Diesel por km (l) | | | | 0,11 | | | |
| Custo do Diesel no DF (R\$/l) | | | | 5,26 | | | |
| ANO | INFLAÇÃO ANUAL PROJETADA | PREÇO MÉDIO DIESEL PROJETADO (R\$/L) | CUSTO DE MANUTENÇÃO | CUSTO DE RODAGEM | CUSTO TOTAL (R\$) | VALOR PRESENTE (R\$) | |
| 0 | | 5,2600 | 5,368,88 | 11,922,67 | 17,291,55 | | |
| 1 | 8,2680% | 5,6949 | 5,812,78 | 12,908,43 | 18,721,21 | 17,775,55 | |
| 2 | 6,3513% | 6,0566 | 6,181,96 | 13,728,28 | 19,910,25 | 17,949,61 | |
| 3 | 5,8433% | 6,4105 | 6,543,19 | 14,530,47 | 21,073,66 | 18,038,79 | |
| 4 | 4,0429% | 6,6697 | 6,807,73 | 15,117,92 | 21,925,65 | 17,820,06 | |
| 5 | 3,5246% | 6,9047 | 7,047,67 | 15,650,76 | 22,698,44 | 17,516,27 | |
| 6 | 5,3165% | 7,2718 | 7,422,36 | 16,482,83 | 23,905,19 | 17,515,68 | |
| 7 | 5,7206% | 7,6878 | 7,846,97 | 17,425,75 | 25,272,72 | 17,582,31 | |
| 8 | 6,2335% | 8,1671 | 8,336,10 | 18,511,98 | 26,848,09 | 17,734,81 | |
| 9 | 6,5225% | 8,6997 | 8,879,82 | 19,719,42 | 28,599,25 | 17,937,29 | |
| 10 | 5,3180% | 9,1624 | 9,352,05 | 20,768,10 | 30,120,15 | 17,936,95 | |

| VAN ELÉTRICA | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------|--|-------|
| Saída | | | R\$ | 265.072,44 | | VP CUSTO TOTAL SOMA | 120.956,34 | | PAYBACK SIMPLES | 34,68 |
| km Rodados Dia | | | | 102 | | VP DIFERENÇA CUSTO ELET- | 56.851,00 | | PAYBACK DESCONTADO | 46,63 |
| Tempo (anos) | | | | 10 | | VP TOTAL | R\$56.851,00 | | | |
| Juros (%) (TJLP) | | | | 5,32% | | VPL | -R\$208.221,44 | | | |
| km Rodados Ano Letivo | | | | 20400 | | | | | | |
| Autonomia (Km/kV) | | | | 2,50 | | | | | | |
| Consumo de Energia por km (kVh) | | | | 0,40 | | | | | | |
| Custo da Energia no DF (R\$/kVh) | | | | 1,13 | | | | | | |
| ANO | INFLAÇÃO ANUAL PROJETADA | PREÇO MÉDIO ENERGIA PROJETADO (R\$/L) | CUSTO DE CONVERSÃO (R\$) | CUSTO DE MANUTENÇÃO (R\$) | CUSTO DE RODAGEM (R\$) | CUSTO TOTAL (R\$) | DIFERENÇA CUSTO ELET-COMB (R\$) | VALOR PRESENTE (R\$) | VALOR PRESENTE DIFERENÇA CUSTO ELET-COMB (R\$) | |
| 0 | | 1,1348 | -265,072,44 | 2,902,61 | 3,260,25 | 11,762,86 | -5,528,63 | | | |
| 1 | 8,2680% | 1,2287 | | 2,709,52 | 10,025,89 | 12,735,41 | -5,985,80 | 12,032,11 | 6,683,44 | |
| 2 | 6,3513% | 1,3067 | | 2,881,61 | 10,662,66 | 13,544,27 | -6,365,98 | 12,210,51 | 6,739,09 | |
| 3 | 5,8433% | 1,3831 | | 3,049,99 | 11,295,71 | 14,345,70 | -6,737,96 | 12,271,18 | 6,787,61 | |
| 4 | 4,0429% | 1,4390 | | 3,173,20 | 11,741,99 | 14,915,20 | -7,090,37 | 12,122,39 | 6,837,67 | |
| 5 | 3,5246% | 1,4897 | | 3,285,14 | 12,195,84 | 15,480,98 | -7,267,46 | 11,915,73 | 6,890,54 | |
| 6 | 5,3165% | 1,5689 | | 3,459,80 | 12,802,10 | 16,261,90 | -7,643,23 | 11,915,33 | 6,900,35 | |
| 7 | 5,7206% | 1,6586 | | 3,657,72 | 13,534,46 | 17,192,18 | -8,080,54 | 11,960,65 | 6,921,66 | |
| 8 | 6,2335% | 1,7620 | | 3,885,72 | 14,378,13 | 18,263,85 | -8,584,24 | 12,064,39 | 6,970,42 | |
| 9 | 6,5225% | 1,8770 | | 4,133,17 | 15,316,93 | 19,450,10 | -9,144,14 | 12,202,14 | 6,735,16 | |
| 10 | 5,3180% | 1,9768 | | 4,399,29 | 16,130,43 | 20,489,72 | -9,630,43 | 12,201,80 | 6,735,05 | |

Cenário 5

| VAN A DIESEL | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------|------------------|-------------------|----------------------|------------|
| Saída | | | R\$ | - | | VP SOMA | 217.171,00 |
| km Rodados Dia | | | | 102 | | | |
| Tempo (anos) | | | | 10 | | | |
| Juros (%) (TJLP) | | | | 5,32% | | | |
| km Rodados Ano em Dias Úteis | | | | 25.704 | | | |
| Autonomia (Km/l) | | | | 9,00 | | | |
| Consumo de Diesel por km (l) | | | | 0,11 | | | |
| Custo do Diesel no DF (R\$/l) | | | | 5,26 | | | |
| ANO | INFLAÇÃO ANUAL PROJETADA | PREÇO MÉDIO DIESEL PROJETADO (R\$/L) | CUSTO DE MANUTENÇÃO | CUSTO DE RODAGEM | CUSTO TOTAL (R\$) | VALOR PRESENTE (R\$) | |
| 0 | | 5,2600 | 6,097,05 | 15,022,56 | 21.119,61 | | |
| 1 | 8,2680% | 5,6949 | 6,601,16 | 16.264,62 | 22.865,78 | 21.710,77 | |
| 2 | 6,3513% | 6,0566 | 7,020,42 | 17.297,64 | 24.318,06 | 21.923,36 | |
| 3 | 5,8433% | 6,4105 | 7,430,64 | 18.308,39 | 25.739,03 | 22.032,29 | |
| 4 | 4,0429% | 6,6697 | 7,731,06 | 19.048,58 | 26.779,64 | 21.785,13 | |
| 5 | 3,5246% | 6,9047 | 8,003,54 | 19.719,96 | 27.723,50 | 21.394,09 | |
| 6 | 5,3165% | 7,2718 | 8.429,05 | 20.768,37 | 29.197,41 | 21.393,37 | |
| 7 | 5,7206% | 7,6878 | 8.911,24 | 21.956,45 | 30.867,69 | 21.474,75 | |
| 8 | 6,2335% | 8,1671 | 9.466,72 | 23.325,10 | 32.791,82 | 21.661,01 | |
| 9 | 6,5225% | 8,6997 | 10.084,19 | 24.846,47 | 34.930,66 | 21.908,32 | |
| 10 | 5,3180% | 9,1624 | 10.620,46 | 26.167,80 | 36.788,27 | 21.907,90 | |

Faz paradas durante a realização das rotas? Quantas? Por quanto tempo?

_____ Realiza nove (9) paradas para embarque de alunos e outras nove (9) paradas para desembarque de alunos nos seguintes colégios: Colégio do DVO, Colégio 7, Colégio 22, Colégio CEMI, Colégio CEM 2, Colégio CED 8, Colégio CEF 11, Colégio CEM 3 e Colégio Escola Classe 29

Quanto gasta com combustível?

_____ R\$ 200,00 por semana. O veículo faz 10 km/l.

Quanto gasta com manutenção mensal do veículo?

_____ R\$ 200,00 troca óleo a cada 6 meses _____

Se tivesse oportunidade, converteria o veículo em elétrico?

Sim Não

E se a conversão significasse redução de custos com combustível e manutenção e menor emissão de poluentes?

Sim Não

Quanto cobra por aluno com valor mensal?

_____ R\$ 200,00 _____

Quantos alunos carrega por turno/viagem?

_____ 15 alunos _____

Tem alguma necessidade que gostaria de ver sanada com uso de tecnologia?

Sim. Gostaria que houvesse um aplicativo para configurar rota e reunir motoristas de transporte escolar, para compartilharem alunos, calcular distância percorrida e consumo de combustível durante realização de uma rota, mostrar imagem de câmera instalada dentro do veículo.

