

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE ENERGIA**

BRUNO SCHURAU

**ASPECTOS GERAIS REFERENTES À CONVERSÃO DE
MOTOCICLETA À COMBUSTÃO EM ELÉTRICA**

**FLORIANÓPOLIS
2022**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE ENERGIA**

BRUNO SCHURAUS

**ASPECTOS GERAIS REFERENTES À CONVERSÃO DE
MOTOCICLETA À COMBUSTÃO EM ELÉTRICA**

Monografia apresentada ao Curso Superior em Tecnólogo em Sistemas de Energia do Câmpus Florianópolis do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Tecnólogo em Sistemas de Energia.

Orientador:
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Padilha

Coorientadora:
Prof.^a Dra. Lisandra Kittel Ries

FLORIANÓPOLIS, 2022.

ASPECTOS GERAIS REFERENTES À CONVERSÃO DE MOTOCICLETA À COMBUSTÃO EM ELÉTRICA

BRUNO SCHURAUS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnólogo em Sistemas de Energia, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Florianópolis, 21, novembro de 2022.

Prof. Juliano Bitencourt Padilha, Dr
Orientador

Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)

Prof. Lisandra Kittel Ries, Dra.

Coorientador

Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)

Prof. Adriano de Andrade Bresolin, Dr

Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)

Prof. Andre Luiz Fuerback, Dr
Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)

Prof. Rafael Henrique Eckstein, Dr
Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)

RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso visa abordar aspectos gerais referentes à conversão de motocicleta à combustão em elétrica. Nos dias atuais, a motocicleta à combustão representa um dos veículos mais utilizados, representando parcela significativa dos veículos responsáveis pela emissão de gases poluentes. Em vista disso, é evidente a necessidade de desenvolver tecnologias alternativas, que sejam menos degradantes ao meio ambiente e, ao mesmo tempo, sejam econômicas e eficientes. Neste contexto, no desenvolvimento deste trabalho, primeiramente uma fundamentação teórica é apresentada, a qual aborda a motocicleta à combustão (seu histórico e principais componentes), a motocicleta elétrica (seu histórico e motores utilizados), o motor de corrente contínua sem escovas (BLDC), o acionamento de motores elétricos e os tipos de baterias utilizadas em veículos elétricos (com destaque para uma breve análise da bateria de lítio). Após a primeira etapa de fundamentação teórica, é avaliada a viabilidade técnica e econômica da conversão de uma motocicleta específica.

Palavras-chave: Motocicleta à combustão. Conversão. Motocicleta elétrica.

ABSTRACT

This course conclusion work aims to address general aspects regarding the conversion of a combustion motorcycle into an electric one. Nowadays, the combustion motorcycle represents one of the most used vehicles, representing a significant portion of the vehicles responsible for the emission of polluting gases. In view of this, it is evident the need to develop alternative technologies that are less degrading to the environment and, at the same time, are economical and efficient. In this context, in the development of this work, first a theoretical foundation is presented, which addresses the combustion motorcycle (its history and main components), the electric motorcycle (its history and used motors), the brushless direct current motor (BLDC), the drive of electric motors and the types of batteries used in electric vehicles (especially a brief analysis of the lithium battery). After the first stage of theoretical foundation, the technical and economic feasibility of converting a specific motorcycle is evaluated.

Keywords: Combustionmotorcycle. Conversion. Electric motorcycle.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Os quatro tempos do motor alternativo..... | 17 |
| Figura 2 – Primeira bicicleta elétrica patenteada..... | 19 |
| Figura 3 – Moto elétrica publicada na revista Popular Mechanics em 1911..... | 19 |
| Figura 4 – Tipos de motores para veículos elétricos..... | 22 |
| Figura 5 – Motor BLDC simplificado..... | 23 |
| Figura 6– Tabela motocicleta, modelo “city”, mais emplacadas..... | 29 |
| Figura 7 – Motocicleta CG 160 Titan da Honda..... | 30 |
| Figura 8 – Forças aplicadas no centro de pressão (CP), centro de gravidade (CG) e na roda traseira..... | 31 |
| Figura 9 – Variação da força de arrasto aerodinâmico em função da velocidade para cada tipo de motocicleta..... | 33 |
| Figura 10 – Valores de tensão, corrente, eficiência (considerando conversor), potência de entrada, potência de saída e torque do motor do brushless em função da rotação..... | 39 |
| Figura 11 – Força de tração versus velocidade do motor elétrico com a relação de 5,09 em comparação às curvas de cada marcha da cg 160 original..... | 40 |
| Figura 12 – Torque dos motores elétrico e à combustão sem cambio ou reduções.. | 41 |
| Figura 13 – Velocidade em km/h em relação ao tempo do ciclo FTP padrão..... | 51 |
| Figura 14 – Modelo equivalente do circuito de uma bateria composta por seis células | 53 |
| Figura 15 – Curva de descarga para determinada corrente de descarga considerando (1.0 A)..... | 53 |
| Figura 16 – Constante de Peukert de várias baterias de íons de lítio com design de célula, químicas e capacidades diferentes..... | 56 |
| Figura 17 – Descarga constante para um banco de baterias de Lithium-ion INR 18650-35-E..... | 57 |
| Figura 18 – Profundidade de descarga de uma célula..... | 58 |
| Figura 19 – Profundidade de descarga em função da distância percorrida..... | 59 |
| Figura 20 – Curva de eficiência..... | 61 |

| | |
|---|----|
| Figura 21 – Potência do motor em função do tempo para uma inclinação de 0° | 62 |
| Figura 22 – Profundidade de descarga em função da distância percorrida para a inclinação de 0° | 63 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Especificações CG 160 Titan..... | 30 |
| Tabela 2 – Características motor 10KW BLDC..... | 37 |
| Tabela 3 – Dados do teste para 96V..... | 38 |
| Tabela 4 – Parâmetros do inversor..... | 42 |
| Tabela 5 – Especificações da célula..... | 45 |
| Tabela 6 –Especificações Orion BMS..... | 49 |
| Tabela 7 – Potência do motor em função do tempo, aplicada pelo ciclo com uma inclinação de 5 graus..... | 60 |
| Tabela 8 – Resultados para diferentes inclinações..... | 64 |
| Tabela 9 – Custos para conversão da motocicleta..... | 65 |
| Tabela 10 – Consumo anual de gasolina..... | 67 |
| Tabela 11 – Consumo anual elétrico..... | 67 |
| Tabela 12 – Retorno do investimento para a conversão para quem roda 1000km por mês..... | 68 |
| Tabela 13 – Viabilidade conforme a quilometragem mensal rodada..... | 69 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BLDC – *Brushless dc motor*

CA – Corrente alternada

CC – Corrente contínua

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ME – Motor elétrico

PM – Imãs permanentes

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 Justificativa | 13 |
| 1.2 Definição do Problema | 14 |
| 1.3 Objetivo Geral | 15 |
| 1.4 Objetivos Específicos | 15 |
| 2 BREVE ANÁLISE ACERCA DAS MOTOCICLETAS À COMBUSTÃO E DAS MOTOCICLETAS ELÉTRICAS | 16 |
| 2.1 Definição de motocicleta à combustão | 16 |
| 2.2 Definição de motocicleta elétrica | 18 |
| 2.3 Motores elétricos | 21 |
| 2.3.1 Motores de Corrente Contínua sem Escovas (BLDC) | 23 |
| 2.4 Acionamento | 25 |
| 2.5 Baterias | 25 |
| 2.5.1 Bateria de Lítio | 27 |
| 3 ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA | 29 |
| 3.1 Escolha do modelo de motocicleta | 29 |
| 3.2 Escolha do motor elétrico | 31 |
| 3.3 Escolha do controlador | 43 |
| 3.4 Definição da bateria | 43 |
| 3.5 Bateria escolhida | 46 |
| 3.6 Sistema de gestão da bateria | 49 |
| 3.7 Sistemas de Carregamento de Baterias | 50 |
| 4 CICLO DE ENSAIOS | 50 |
| 4.1 Escolha do ciclo de ensaio | 51 |
| 4.2.1 Resistência equivalente do arranjo das baterias | 54 |
| 4.2.2 Tensão de circuito aberto | 55 |
| 4.2.3 A potência e a energia consumida | 59 |
| 4.3 Resultados obtidos com a aplicação dos ciclos de ensaios | 62 |
| 5 VIABILIDADE ECONÔMICA | 66 |
| 5.1 Custos para a realização da conversão | 66 |
| 5.2 Comparação econômica entre desempenho da motocicleta original e da motocicleta convertida | 67 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 71 |
| REFERÊNCIAS | 73 |

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a motocicleta é um dos veículos mais utilizados pelos brasileiros (IBGE, 2021), com quase totalidade da frota movida por motores à combustão, responsável por significativa emissão de gases poluentes. Dessa forma, a necessidade de desenvolver tecnologias alternativas, que sejam menos degradantes ao meio ambiente e, ao mesmo tempo, sejam econômicas e eficientes, é fonte relevante de pesquisa.

É notório que o desenvolvimento de veículos movidos por energia elétrica pode contribuir com a diminuição da emissão de gases poluentes, porém a utilização desses veículos ainda é pouco significativa no cenário atual, embora a tecnologia que envolva sua fabricação apresente grandes avanços. Além disso, tais veículos podem ser mais econômicos, já que a energia elétrica é mais barata que a proveniente dos combustíveis fósseis (LAFUENTE, 2011).

Neste contexto, o presente trabalho apresenta aspectos gerais referentes à conversão de motocicletas à combustão em elétrica, onde primeiramente é descrita uma fundamentação teórica para posterior avaliação da viabilidade técnica e econômica da conversão de uma motocicleta.

1.1 Justificativa

A busca por meios de transportes mais rápidos, seguros e eficientes tem sido um dos grandes desafios da humanidade ao longo de séculos. Nos dias atuais, a motocicleta revela-se como um dos veículos de transporte mais utilizados no Brasil (IBGE, 2021), seja pela sua versatilidade, economia, menor custo de manutenção (FIGUERÊDO, 2013), bem como pela facilidade de locomoção.

No Brasil, segundo a Associação Brasileira de Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares (2021), o país tem uma frota circulante de duas rodas a motor de 29.094.770 unidades. Em 2020 foram vendidas internamente no atacado 932.618 novos produtos.

Contudo, apesar das grandes vantagens que a motocicleta apresenta, a imensa maioria da frota desse veículo é fabricada com motores à combustão, esses alimentados com combustível fóssil derivado do petróleo, um produto não renovável e de grande impacto ambiental.

Ademais, devido ao gradativo aumento da frota de veículos em circulação com o passar dos anos, totalizando no Brasil cerca de 46,2 milhões de unidades no ano de 2020 contra 45,9 milhões em 2019 (SINDIPEÇAS, 2021), constata-se que a adição de novos veículos, mesmo aqueles cujos modelos são mais eficientes, aumenta o volume das emissões. Ainda, tais veículos representam parte significativa das emissões totais dos centros urbanos, quando não são os maiores responsáveis pela poluição atmosférica (SZAWARCFITER, 2004).

É justamente diante deste cenário que se justifica a pesquisa e desenvolvimento de veículos cuja fonte de energia seja mais limpa, sustentável e econômica, com o desenvolvimento de veículos elétricos uma solução possível de ser aplicada.

Assim, o desenvolvimento de motocicletas elétricas de forma que sejam acessíveis a todas as camadas da sociedade, é de suma importância tanto para o desenvolvimento social e econômico quanto para o meio ambiente.

1.2 Definição do Problema

A busca por soluções eficientes, econômicas e em congruência com boas práticas ambientais tem sido um desafio nos mais diversos ramos da engenharia. Em particular, a utilização de motores elétricos em detrimento a motores à combustão tem alcançado grande destaque na indústria de veículos e vislumbra-se um futuro no qual a tração elétrica seja dominante.

Diante desse cenário, e considerando a enorme frota hoje circulante de motocicletas à combustão, é lógico pensar na possibilidade de conversão dessas motocicletas à combustão para elétrica.

Logo, quais seriam os aspectos gerais a serem considerados na conversão de uma motocicleta à combustão em elétrica e seria economicamente viável a conversão?

1.3 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo apresentar e compreender os aspectos gerais referentes à conversão de motocicletas à combustão em elétrica e avaliar a viabilidade técnica e econômica da conversão de uma motocicleta específica.

1.4 Objetivos Específicos

Com o propósito de alcançar o objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- a)** Apresentar o funcionamento de motocicletas à combustão, destacando os principais componentes que as compõem;
- b)** Apresentar particularidades referentes às baterias utilizadas em veículos elétricos;
- c)** Apresentar uma possível escolha de motor elétrico como solução para substituição do motor à combustão;
- d)** Apresentar uma possível solução ao acionamento do motor elétrico escolhido;
- e)** Destacar as vantagens e desvantagens de motocicletas elétricas em relação às à combustão;
- f)** Avaliar a viabilidade econômica desta conversão.

2 BREVE ANÁLISE ACERCA DAS MOTOCICLETAS À COMBUSTÃO E DAS MOTOCICLETAS ELÉTRICAS

Neste capítulo uma descrição histórica sobre os componentes que constituem as motocicletas à combustão e elétrica é apresentada. Outros tópicos abordados são: motores elétricos, acionamentos e baterias.

2.1 Definição de motocicleta à combustão

As motocicletas incluem-se nos meios de locomoção mais antigos e que ainda encontram-se sendo utilizados de forma significativa em praticamente todas as cidades do globo, posto que configuram veículos versáteis (SARAIVA, 2016).

O primeiro registro da construção de uma motocicleta data de 1867, quando Ernest Michaux inseriu um motor a vapor em uma das bicicletas produzidas por seu pai (SARAIVA, 2016).

Já a primeira motocicleta à combustão foi criada em 1885, pelo alemão Gottlieb Daimler. Contudo, a invenção também é atribuída ao inglês Edward Butler, que construiu um triciclo com motor no ano de 1884 (SENAI, 2002).

Por outro lado, somente em 1894 foi produzida a primeira motocicleta de produção de série, a Hildebrand&Wolfmüller, que aliás, foi a primeira a ser denominada por “motocicleta” (SARAIVA, 2016).

Em torno de 1905, os automóveis movidos à gasolina ganharam destaque, diante das grandes descobertas de poços de petróleo, que o tornou em um combustível de custo mais barato, bem como por outros fatores. Assim, o desenvolvimento de automóveis cujos motores eram à combustão tiveram um significativo aumento (LOUREIRO, 2012).

Em vista disso, atualmente os veículos movidos à combustível são os mais utilizados no mundo, dentre esses, os mais empregados são movidos a combustíveis de origem fóssil (petróleo) e em seguida os movidos a combustíveis de origem orgânica (biocombustíveis) (BOTELHO, 2015).

A situação não é outra para as motocicletas, as quais o componente principal que as definem é o motor, ainda é predominantemente à combustão (FIN, 2017).

Assim, trata-se o motor à combustão interna de um dos instrumentos utilizados para produzir trabalho mediante a queima de combustível (PASSOS, 2017). Para que a combustão ocorra de forma perfeita é essencial que se meça a dosagem de três elementos primordiais, são eles: o ar, o calor e o combustível, também conhecidos por “triângulo de fogo”. A combustão é um processo químico, o qual se faz necessário a presença desses três elementos que, se combinados de maneira eficiente, promovem a explosão (SANTOS, 2020).

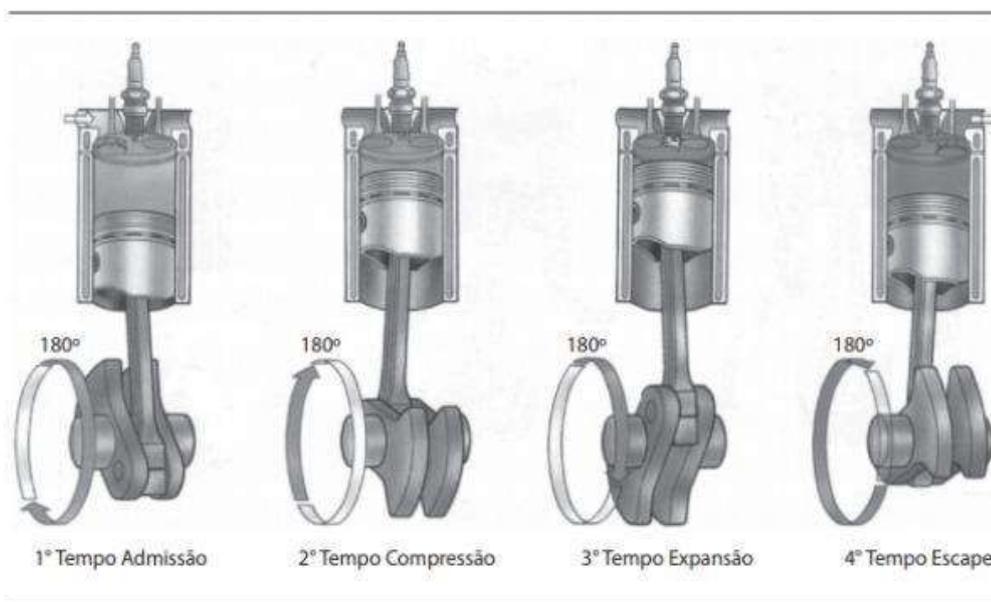
Portanto, segundo Santos (2020, p. 91):

[...]um motor de combustão interna tem uma câmara (um ou vários cilindros), que tem combustível adicionado a ela e que inflama, a fim de elevar a temperatura do gás, tornando possível movimentar uma peça móvel capaz de realizar trabalho. Quando o calor é adicionado ao sistema, ele força o gás interno a se expandir. Com um motor a pistão, isso faz com que o pistão suba, com as partes moveis pistão e biela acoplada ao virabrequim em um movimento para cima e para baixo, girando o virabrequim.

Segundo Brunetti (2012 apud PASSOS, 2017, p. 2), o invento dos motores de combustão por faísca de 4 tempos dá-se a Nicolaus Otto, em 1876, o qual nomeia até os dias atuais os motores Otto.

No modelo de motor a 4 tempos, “o pistão percorre quatro cursos, correspondendo a duas voltas da manivela do motor, para que seja completado um ciclo” (BRUNETTI, 2018, p. 30). Na Figura 1 estão representados os quatro tempos.

Figura 1 – Os quatro tempos do motor alternativo



Fonte: Brunetti (2018, p. 30).

A respeito do motor 4 tempos, acrescenta Tillmann (2013, p. 16-17):

Apresentado pela primeira vez na Exposição Industrial de Paris, em 1867, o motor concebido por Nicolaus Otto e Eugen Langen, tinha características bem melhores de desempenho. O conceito desse motor era o de “pistão livre”, impulsionado pela explosão dos gases no cilindro, o pistão estava ligado a um volante através de uma cremalheira e uma engrenagem. No retorno do pistão, produzia-se trabalho mecânico.

O movimento do volante produzia, por sua vez, a abertura e fechamento de uma válvula de admissão e de ignição. Também neste caso não havia compressão dos gases antes da combustão, e sua eficiência correspondia a 11%. [...]

Por fim, as partes das motocicletas podem ser resumidas em chassi, um sistema de suspensão composto na maior parte dos casos por um amortecedor traseiro e um dianteiro, sistema de direção acoplado à suspensão dianteira, sistema elétrico, sistema de transmissão e motor (PASSOS, 2017).

2.2 Definição de motocicleta elétrica

O veículo elétrico é um tipo de meio de transporte, o qual utiliza motores elétricos como propulsores, formado por um sistema primário de energia, por uma ou mais máquinas elétricas e por um sistema de acionamento e controle de velocidade (LOUREIRO, 2012).

Já quanto às motocicletas elétricas, Vasconcelos (2019, p. 4), assim as conceitua:

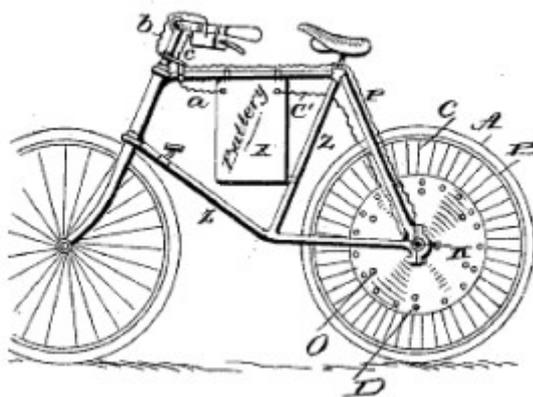
Uma moto elétrica é um veículo constituído essencialmente por um motor elétrico, uma unidade de armazenamento de energia (ex. baterias) e uma unidade de monitorização e controle de parâmetros importantes do motor (ex. corrente, tensão, velocidade) apta para mantê-los dentro dos limites de segurança.

Apesar de parecerem inovadores, os veículos elétricos existem há muito tempo, considerando que o primeiro veículo movido a motor elétrico foi desenvolvido em 1837, pelo escocês Robert Davidson (BOTTURA; BARRETO, 1989).

No entanto, sua ampliação se deu nos meados do século XIX, somente após o aperfeiçoamento da bateria recarregável de chumbo-ácido, sendo que em seus anos de ouro (1900) possuíam recordes de velocidade (FREITAS, 2012).

No caso da motocicleta elétrica, a pioneira a ser desenvolvida, trata-se de uma bicicleta com motor elétrico, patenteada em 1895, por Ogden Bolton Jr., nos Estados Unidos da América, a qual apresentava um motor CC de seis polos no interior do cubo da roda traseira e uma bateria de 10 V (ARAÚJO, 2012), conforme ilustra a Figura 2.

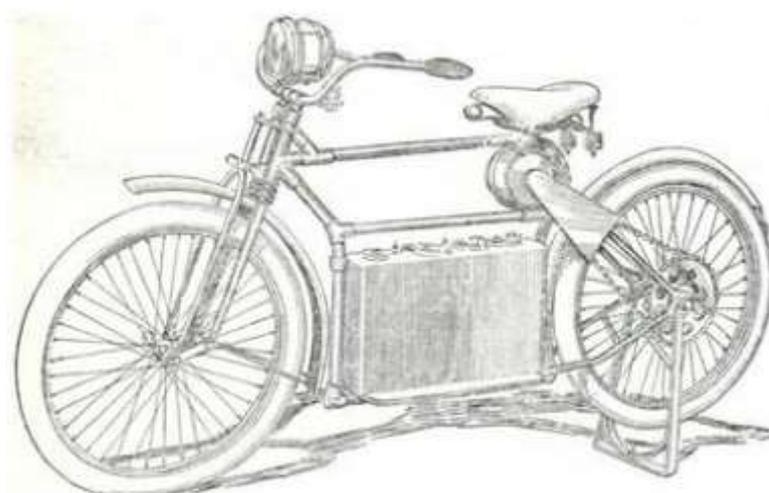
Figura 2 – Primeira bicicleta elétrica patenteada



Fonte: Bolton Junior (1895).

Por volta de 1911, foi publicado a respeito de uma motocicleta elétrica com autonomia entre 121 km a 160 km, com capacidade de atingir a velocidade de 56 km/h, nesse caso a bateria utilizada era de 12 V com peso aproximado de 91 kg (VASCONCELOS, 2019). Sua representação é ilustrada na Figura 3.

Figura 3 – Moto elétrica publicada na revista Popular Mechanics em 1911



Simplicity, Ease of Starting and Noiselessness in Operation are the Features of This Electric Motorcycle

Fonte: ODGEN (1911 apud VASCONCELOS, 2019).

Todavia, em torno do ano 1905 os veículos à combustível foram se destacando, posto que sua autonomia de 100 km era mais que o dobro da autonomia alcançada por veículos elétricos. Ademais, o custo inicial e operacional dos veículos elétricos era superior aos movidos à gasolina. Somando-se a isso, tem-se o fato de que nesse período foram descobertos grandes poços de petróleo fazendo cair os custos do mesmo. Diante disso, é que o desenvolvimento de veículos à combustão alcançara grandes proporções, arruinando, naquele tempo, o progresso dos veículos elétricos (LOUREIRO, 2012).

Somente a partir dos anos 70 é que a questão ambiental passou a ser incluída no debate sobre geração e consumo de energia. Assim, visando a necessidade de se elaborar tecnologias renováveis para a produção de energia, o desenvolvimento dos veículos elétricos tornou-se propício, uma vez que esses combinavam emissão nula de poluentes, além da possibilidade de utilizar fontes de energia renováveis. Entretanto, a essa época, os protótipos desenvolvidos não chegaram às linhas de produção (BARAN; LEGEY, 2011). Apenas a partir do final da década de 1980 é que os veículos elétricos ganharam destaque, com vista a redução da poluição nas grandes cidades.

2.3 Motores elétricos

O motor elétrico (ME) tem como função converter eletricidade em energia mecânica, podendo ser utilizado para propulsionar veículos eletrificados (VE) (SANTOS, 2020).

Reforça Bento (2015, p. 47):

O motor elétrico tem a função de converter energia elétrica em energia mecânica para propulsionar o veículo e quando o ME está na função de gerador ele recupera parte da energia da frenagem carregando as baterias.

De forma bastante ampla, o motor elétrico é capaz de produzir elevados torques, inclusive quando em baixas rotações, e mais, consegue mantê-los constantes, quase que completamente, durante uma ampla faixa de rotação. Essa característica é uma grande vantagem quando comparado a um motor de combustão interna, que apresentam picos de torque e potência em valores mais baixos de rotação. Ademais, os motores elétricos são mais eficientes, visto que podem ultrapassar 90% de rendimento, a depender do ponto de operação (SARAIVA, 2016).

O motor é um item extremamente simples, no entanto, existem vários tipos de motores, havendo, portanto, inúmeras classificações, são essas especificações que podem tornar o motor mais eficiente diante da aplicação em que será usado (SARAIVA, 2016).

Os motores elétricos são divididos de acordo com a fonte de alimentação empregada, ou seja, motores CA (corrente alternada) ou motores CC (corrente contínua) (COSTA, 2014).

Complementa Costa (2014, p.4):

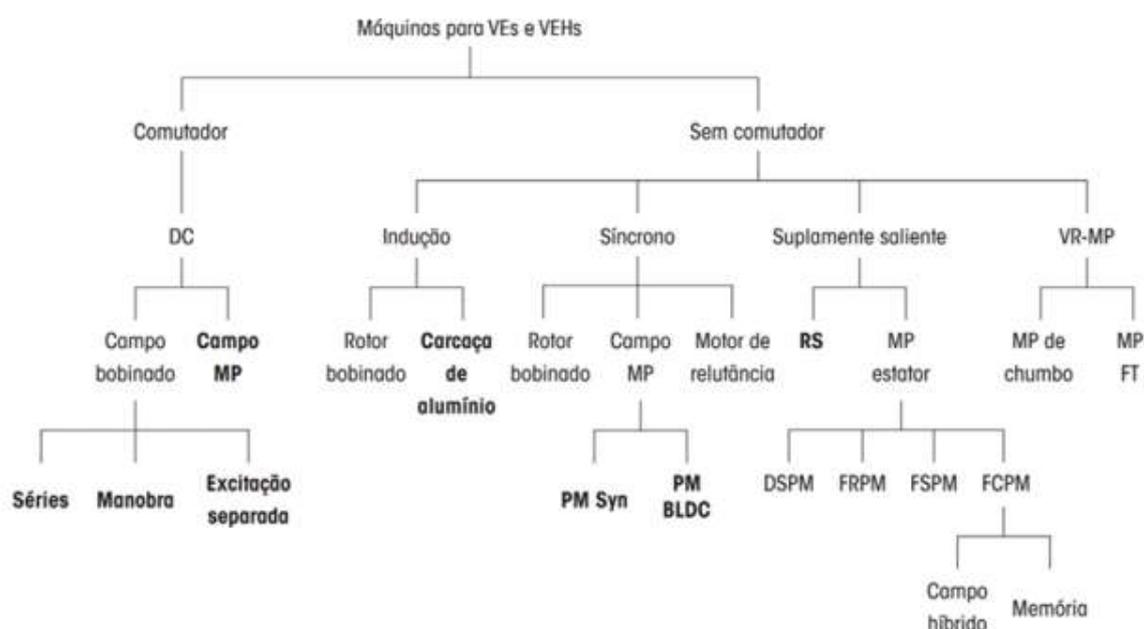
Todas as máquinas de rotação elétricas são constituídas por uma parte fixa, denominada de estator ou armadura, e por uma parte móvel denominada de rotor. Por norma, no estator encontram-se um conjunto de enrolamentos, denominado de indutor, e no rotor encontra-se outro conjunto de enrolamentos, denominado de induzido, sendo que é a interação entre os campos eletromagnéticos criados entre estes dois conjuntos de enrolamentos que fazem com que a parte móvel da máquina elétrica gire.

De acordo com NASSER; BEHZAD (2008 *apud* Freitas, 2012, p. 7), os cinco tipos de motores mais usados em veículos elétricos são: motor de corrente contínua (CC), motor de indução, motor síncrono de ímãs permanentes (MSIP), motor de relutância comutado (MRC) e motor CC sem escovas, também conhecido como BLDC (*brushless dc motor*).

Diante dessa grande escala de opções de motores elétricos, com diferentes especificações e aplicações, é imprescindível escolher a que melhor se adequa ao projeto de conversão de veículo elétrico, de forma que satisfaça os requisitos de performance esperado, tais como, velocidade, potência, custo, dimensões, etc (VASCONCELOS, 2019).

Aliás, esses tipos de motores podem ser classificados em dois grupos principais: motores elétricos com comutador e sem comutador (ver Figura 4). O comutador é um dispositivo que modifica o sentido da corrente elétrica de um circuito em um motor elétrico ou gerador, o qual permite a inversão do sentido da força que move a espira e promove rotação (SANTOS, 2020).

Figura 4 – Tipos de motores para veículos elétricos



Fonte: SANTOS (2020, p. 125).

Complementa, Santos (2020, p. 126):

Os motores comutados são os tradicionais motores de corrente contínua (motor CC), que incluem os de excitação série, excitação shunt, excitação composta, excitação separada e com excitação de ímãs permanentes (*permanentmagnets* – PM). Os motores CC precisam de comutadores e escovas para alimentar a corrente na armadura, tornando-os menos confiáveis e inadequados para operação livre de manutenção e alta velocidade. Além disso, os motores de corrente contínua com enrolamento apresentam baixa densidade de potência específica. No entanto, haja vista sua tecnologia madura e controle simples, os drives de motor CC têm se destacado nos sistemas de propulsão elétrica.

2.3.1 Motores de Corrente Contínua sem Escovas (BLDC)

Primeiramente, há que se frisar que os motores síncronos de ímãs permanentes (MSIP) são muito utilizados em veículos elétricos, isso porque sua performance revela-se de maneira bastante eficiente, apresentando elevada densidade de potência, alto rendimento, baixa manutenção, alta confiabilidade, reduzido nível de ruídos, sem contar que podem ser desenvolvidos em modelos compactos além de formatos distintos (SIQUEIRA; ANDRADE, 2008).

Os motores síncronos de ímãs permanentes têm como característica principal a ausência de comutador mecânico, ou seja, não contêm escovas (DREHER; ROSA, 2014). Ainda, podem ser categorizados em dois tipos: Brushless AC (BLAC) e Brushless DC (BLDC).

Os motores BLDC diferenciam-se do motor de corrente contínua convencional por conta da sua estrutura mecânica, uma vez que é constituído de enrolamentos de armadura no estator, que é geralmente trifásico tal como uma máquina de corrente alternada, e com ímãs permanentes no rotor em substituição ao enrolamento de campo. Isso dispensa a utilização das escovas e comutadores, que são a grande desvantagem das máquinas de corrente contínua (FERNANDES, 2015).

Nesse sentido, a maior vantagem desse motor é a remoção das escovas. Além da capacidade de produzir grande torque, diante da interação retangular entre corrente e fluxo (SANTOS, 2020). E da eficiência que é maior que as máquinas de corrente contínua convencionais, visto que não apresentam perdas referentes aos enrolamentos dos motores (FERNANDES, 2015).

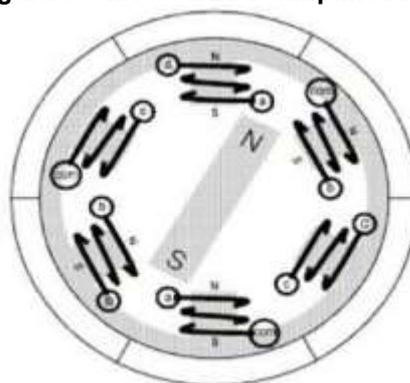
Mais que isso, acrescenta Sampaio (2012, p. 18):

[...] Outros aspetos a destacar são que o motor brushless DC tem maior capacidade para produzir binário que qualquer outro motor nos mesmos valores de corrente e tensão, apresenta elevadas densidades de potência (superiores à dos motores síncronos de ímanes permanentes) e altos rendimentos. A combinação de todas estas características faz com que este motor tenha bastante potencial para aplicações em sistemas de tração elétrica. [...]

Tratam-se de motores síncronos, em que o campo magnético gerado pelo estator e o campo magnético formado pelo rotor giram na mesma frequência (ARAÚJO, 2012).

Para que ocorra seu funcionamento, deve-se partir do princípio de alinhamento dos campos magnéticos, conforme Figura 5, onde o estator é formado pelo enrolamento de fases enquanto o rotor é formado por ímãs permanentes.

Figura 5 – Motor BLDC simplificado



Fonte: Cody et al. (2009).

Segundo Siqueira e Andrade (2008), os ímãs permanentes geram o campo magnético principal da máquina, ao mesmo tempo que as correntes aplicadas nas bobinas do estator criam fluxos magnéticos que reagem com os dos ímãs permanentes no sentido de alinhá-los, resultando em um conjugado eletromecânico.

Desse modo, necessita-se de um circuito eletrônico de controle, considerando que os enrolamentos devem ser energizados seguindo uma sequência, para tanto é imprescindível saber qual é a posição atual do rotor para saber qual enrolamento deve ser energizado em seguida, além da necessidade de sensores de posição, para facilitar o controle do motor (GONZALES, 2014).

Assim, os motores modelo BLDC são muito utilizados na fabricação de veículos elétricos, pois apresentam simplicidade no controle de velocidade que geram, mais que isso possuem menos custo e tamanho, o que se tratam de duas das

considerações mais importantes no projeto de um veículo elétrico (DREHER; ROSA, 2014).

2.4 Acionamento

O sistema de acionamento de um veículo elétrico é formado por uma máquina elétrica e um controlador de velocidade ou torque, sendo que o sistema de controle de velocidade ou torque nada mais é que um sistema de processamento de potência (BOTTURA; BARRETO, 1989).

Ressalta-se que os conversores de potência visam tratar e controlar a energia elétrica entre sistemas, por meio da transformação dos valores de tensão, corrente e/ou frequência (BOTTURA; BARRETO, 1989).

São exemplos de sistemas de processamento de potência elétrica, os conversores: CC – CC (conversores), CC – CA (inversores), CA – CC (retificadores), CA – CA (cicloconversores) (BOTTURA; BARRETO, 1989).

A respeito do funcionamento dos conversores de potência, explica HART (2015, p.16):

[...]funcionam usando dispositivos semicondutores como chave, controlando ou modificando desta forma o valor da tensão ou da corrente de um circuito. Aplicações de circuitos eletrônicos de potência incluem desde equipamentos de conversão de alta potência, tais como linhas de transmissão de potência CC, até aplicações de circuito do nosso cotidiano como ferramentas elétricas portáteis, fontes de alimentação para computadores, carregadores de bateria de celulares e bateria de automóveis híbridos. Eletrônica de potência inclui aplicações em circuitos que processam potência desde a faixa de miliwatts até megawatts. Aplicações típicas de circuitos eletrônicos de potência incluem conversão CA em CC, conversão de CC em CA, conversão de uma tensão CC não regulada em uma tensão CC regulada e conversão de uma fonte de alimentação CA com determinada amplitude e frequência em uma outra com amplitude e frequências diferentes.

2.5 Baterias

A bateria é um dos componentes mais importantes do veículo elétrico, sendo o elemento que mais influência na elaboração do projeto, concepção, viabilidade e comercialização do mesmo (LOUREIRO, 2012).

Sua criação data do ano 1800, por Alessandro Volta, em que consistia em discos de zinco e cobre separados por camadas em um tecido embebido em ácido sulfúrico, do qual o zinco era o polo negativo e o cobre o polo positivo (CHAGAS, 2007).

Segundo Revoredo (2007, p. 21), as baterias são compostas por uma ou mais células que se convertem em energia elétrica, nesse caso a célula deve ser entendida como dois eletrodos, sendo um positivo e um negativo, que se encontram ligados por meio de um eletrólito, o qual a reação química deles produz a eletricidade. Essa reação química pode ser revertida com a inversão da corrente elétrica fazendo com que a bateria retorne a um determinado estado de carga, isso, no caso de baterias recarregáveis.

Destaca-se que no caso de veículos elétricos, ela constitui a única fonte de energia (CORRÊA, 2013). Em vista disso, Machado (2015, p. 44-45) lista os elementos mais importantes das baterias para o uso em um veículo elétrico:

- Segurança: esse aspecto é de relevante importância, sendo a fuga térmica uma preocupação expressiva. As baterias possuem dispositivos de segurança e invólucros robustos, para evitar tais problemas, porém há possibilidade de acidentes. Também deve ser projetada para o mau uso e tempo de vida.
- Desempenho: o funcionamento da bateria é afetado pelas condições do clima, pois são sensíveis ao frio e ao calor, havendo a necessidade de controle de temperatura. Sendo que, a energia para este controle de temperatura vem da própria bateria, fato este que acarreta redução no desempenho.
- Ciclo de vida: muitas das baterias utilizadas em VE's possuem garantia entre oito e dez anos ou 100 mil milhas. Principalmente em locais quentes e devido ao envelhecimento, as baterias perdem a capacidade. Não existem dados com relação ao ciclo de vida para usos diferentes e outras temperaturas. Para alcançar o tempo de garantia, os fabricantes super dimensionam os bancos de bateria, com o objetivo de contrabalançar as perdas de capacidade.
- Energia específica: é a densidade de energia, refletindo na autonomia do VE.
- Potência específica: referente à capacidade de fornecer energia ao motor elétrico nas acelerações.
- Custo: para atender os itens de segurança, ciclo de vida, autonomia. Ainda é um entrave na popularização do VE, pois faz com que o valor final do veículo fique elevado.

Logo, a bateria para uma motocicleta elétrica deve ter uma boa densidade energética, a fim de assegurar a autonomia do veículo, pelo menos de forma razoável, boa capacidade de descarga, que se adeque à potência do veículo, ser segura e viável, possuir um longo tempo de vida útil, baixo custo, e causar o menor impacto ambiental possível (FREITAS, 2012).

Elas podem ser classificadas em dois grupos: baterias primárias ou secundárias. Tratam-se as baterias primárias daquelas que não podem ser recarregadas, que são descartáveis em vista do processo de geração de energia que é irreversível, diferentes das secundárias que podem ser recarregadas durante um determinado número de ciclos (ALVES, 2014). Portanto, considerando-se o ponto de vista ambiental, as baterias secundárias são preferíveis (ARAÚJO, 2012).

As baterias diferenciam-se umas das outras em decorrência dos elementos químicos que as constituem, bem como pelo objetivo final a que se propõem (ARAÚJO, 2012). Sendo que as mais utilizadas nos veículos elétricos são: chumbo-ácido (Pb-acid), níquel cádmio (NiCd), níquel-hidreto metálico (NiMh), íons de lítio (Li-ion), polímeros de lítio (Li-Po), sulfureto de sódio (NaS) e ar-zinco (Zn-Air) (LOUREIRO, 2012).

No presente trabalho, será analisada apenas as baterias de íon de lítio.

2.5.1 Bateria de lítio

A primeira pessoa a utilizar esse metal para a construção de uma bateria foi Gilberto Newton Lewis no ano de 1912. Entretanto, apenas depois do início da década de 1970 que se passou a comercializar baterias de lítio não recarregáveis. Já ao longo da década de 1980, tentou-se desenvolver baterias recarregáveis desse material, porém não se obteve êxito diante da instabilidade do lítio metálico utilizado no ânodo (MACHADO, 2015).

Frente a instabilidade do lítio, principalmente durante o seu carregamento, pesquisadores desenvolveram uma solução não metálica com o intuito de substituir o metal lítio pelo íon de lítio, sendo que esse é mais seguro que o metal, apesar de possuir uma energia específica menor (MACHADO, 2015).

As baterias lítio-íon possuem arquitetura análoga as de chumbo e níquel, utilizando um cátodo (eletrodo positivo), um ânodo (eletrodo negativo) e uma substância eletrolítica. Nesse caso, o cátodo constitui-se por um óxido metálico e o ânodo compõe-se de carbono. Quando do processo de descarga, os íons fluem do ânodo para o cátodo, revertendo o sentido quando há recarga de íons (MACHADO, 2015).

A respeito do seu processo químico escreve Araújo (2012, p.28):

O processo químico intrínseco a estas baterias consiste na passagem de íons de lítio de um eletrodo para o outro através de um eletrólito. Esta tecnologia tem sido alvo de grande investigação tecnológica com o intuito de aumentar a sua capacidade de armazenamento, bem como a rapidez do carregamento. Neste sentido, investigadores do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) construíram um protótipo de bateria onde o tempo de carregamento máximo ronda os 20 minutos.

Por se tratar do metal mais leve, o lítio, tem o melhor potencial eletroquímico, além de fornecer a maior energia específica por peso. E mais, as baterias construídas com íon de lítio possuem inúmeras vantagens, como: baixo custo de manutenção, não possuem efeito memória, tampouco necessitam de descarga completa deliberada para manutenção de suas funções (MACHADO, 2015).

É justamente diante de todas essas vantagens que esse tipo de bateria é o mais utilizado na fabricação de bicicletas elétricas, conforme reforça Araújo (2012, p. 27):

As baterias de lítio (Li) são o tipo de baterias mais utilizadas em bicicletas elétricas, pois apresentam maior densidade de energia/volume, são mais leves e possibilitam longos ciclos de vida quando corretamente utilizadas. Contrariamente às baterias à base de níquel, as baterias lítio não necessitam de serem descarregadas totalmente antes de voltarem a ser carregadas, pois não apresentam “efeito de memória”. Tipicamente, o processo de descarregamento das baterias de lítio não deve ser excessivamente rápido para não provocar um sobreaquecimento indevido, rupturas ou mesmo explosões. No entanto, algumas das baterias de lítio já dispõem de proteções incorporadas contra estes efeitos. Quando armazenadas devem estar parcialmente carregadas, tipicamente, os fabricantes recomendam 40% da capacidade de armazenamento total.

Por esses motivos também são consideradas, nos dias atuais, como as mais promissoras para aplicação portátil (NOCE, 2009).

Há que pontuar, entretanto, que esse tipo de bateria também apresenta desvantagens, a ser citadas: preço elevado, altamente instáveis, sistema de controle complexo, necessidade de sistema auxiliar de refrigeração (LOUREIRO, 2012).

Quanto ao processo de carregamento desse tipo de bateria, equivale a um estágio de corrente constante, seguido de um estágio de tensão constante (ARAÚJO, 2012).

Finalmente, dentre as configurações de lítio existentes, as que mais se destacam são as de Lítio-íon-(Nano) Fosfato, Lítio-Ion-óxido de titânio e Lítio Polímero (ALVES, 2014).

3 ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA

Neste capítulo serão apresentados os componentes escolhidos para o presente projeto, levando em consideração as especificações necessárias e suficientes para a conversão.

Além disso, será realizada a análise dinâmica da motocicleta elétrica. Para esse fim, foram utilizados modelos matemáticos para compreender e prever as forças mecânicas envolvidas no movimento da motocicleta.

3.1 Escolha do modelo de motocicleta

Diante dos inúmeros modelos de motocicletas disponíveis no mercado, a escolha de um modelo como base para a conversão torna-se uma tarefa difícil, visto que cada qual apresenta características diferenciadas quanto a dirigibilidade, performance e, sobretudo, o preço.

Sob essa perspectiva, levando-se em consideração a intenção de manter o projeto ao menor custo possível, escolheu-se a motocicleta mais popular no Brasil, conforme os dados publicados pela Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores (FENABRAVE), referente ao resumo mensal de emplacamentos acumulados até novembro de 2021 (Figura 6). Portanto, a motocicleta escolhida é a de modelo CG 160 Titan da Honda (Figura 7).

Figura 6 – Tabela motocicleta, modelo “city”, mais emplacadas

| City | | | | | | |
|-------|-----------------------|-------------|-------------|-------------------|---------|--------|
| | Modelo | 2021 Out | 2021 Nov | 2021 Acumulado | Part. | |
| 1º | HONDA/CG 160 | 27.686 | 28.597 | ▲ | 283.687 | 68,44% |
| 2º | HONDA/CB 250F TWISTER | 3.862 | 4.346 | ▲ | 37.305 | 9,00% |
| 3º | YAMAHA/YBR 150 | 2.206 | 2.883 | ▲ | 29.277 | 7,06% |
| 4º | YAMAHA/FAZER 250 | 1.147 | 2.181 | ▲ | 27.697 | 6,68% |
| 5º | YAMAHA/YS1 50 FAZER | 1.060 | 1.456 | ▲ | 15.039 | 3,63% |
| 6º | YAMAHA/YBR 125 | 1.323 | 1.326 | ▲ | 12.173 | 2,94% |
| 7º | HAQJUE/DK1 50 | 181 | 190 | ▲ | 3.006 | 0,73% |
| 8º | HAQJUE/CHOPPER | 121 | 103 | ▼ | 1.785 | 0,43% |
| 9º | HONDA/CG 150 | 78 | 64 | ▼ | 752 | 0,18% |
| 10º | HONDA/CG 125 | 72 | 78 | ▲ | 689 | 0,17% |
| Total | | 38.195 | 41.605 | ▲ | 414.480 | 100% |

Fonte: FENABRAVE (2021).

Figura 7 – Motocicleta CG 160 Titan da Honda



Fonte: Honda (2021).

O valor de venda dessa motocicleta, ano 2021, 0 km (zero quilômetro), sugerido pela fabricante é de R\$ 13.310,00 (treze mil trezentos e dez reais) (HONDA, 2021).

As principais especificações da CG 160 Titan estão reunidas no Tabela abaixo:

Tabela 1 – Especificações CG 160 Titan

| Modelo | HONDA CG 160 Titan |
|----------------------------|---|
| Largura total | 739 mm |
| Altura total | 1.087 mm |
| Motor | 4 tempos, Arrefecido a ar, Monocilíndrico, OHC |
| Dimensões | 1.996 mm x 739 mm x 1.087 mm |
| Peso | 117 kg |
| Capacidade máxima de carga | 161 kg (piloto, passageiro, bagagem e acessórios) |

| | |
|------------------------------------|---------------------------|
| Potência máxima | 14,9 cv a 8.000 rpm |
| Torque máximo | 1,40 kgf.m a 6.000 rpm |
| Rotação marcha lenta | 1400 +/- 100 rpm |
| Medida pneu traseiro | 100/80 – 18 M/C REINF 59P |
| Redução primária | 3,136 |
| Redução final | 2,933 |
| Relação de transmissão 1º: | 2,785 |
| Relação de transmissão 2º | 1,695 |
| Relação de transmissão 3º | 1,300 |
| Relação de transmissão 4º | 1,066 |
| Relação de transmissão 5º | 0,916 |
| Lâmpada do farol | 12 V – 35 W / 35 W |
| Luz de freio/lanterna traseira | 12 V -21/5 W |
| Lâmpadas das sinaleiras | 12 V – 10 W x 4 |
| Lâmpada da luz da placa de licença | 12 V – 5 W |

Fonte: Elaboração própria(2021).

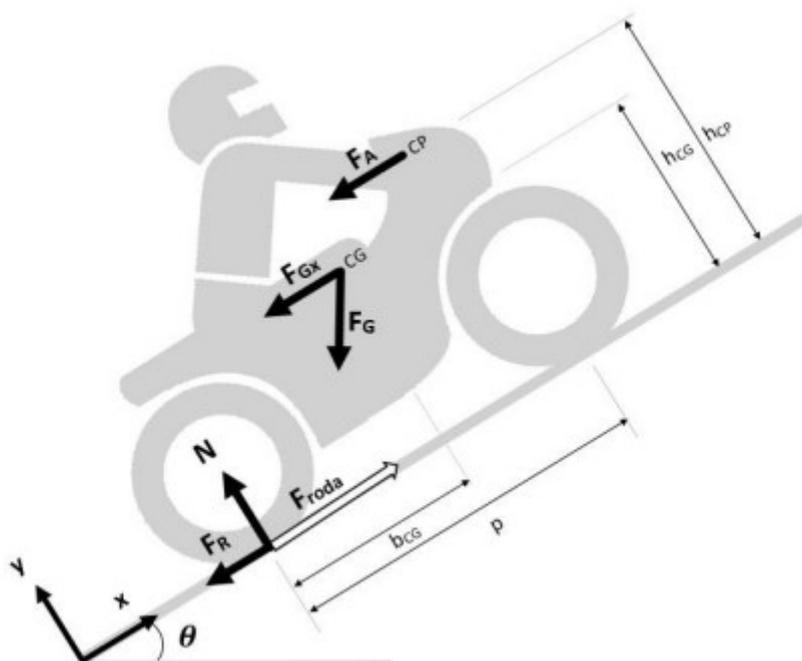
3.2 Escolha do motor elétrico

Para a escolha do motor elétrico, foi levado em consideração as especificações da motocicleta original, buscando-se chegar o mais próximo dessas com a motocicleta convertida. Logo, para os cálculos foram utilizados os dados originais do veículo. Após a escolha do motor elétrico, foi realizada uma breve comparação entre os dois modelos: original e convertido.

É inevitável a atuação de várias forças durante o percurso realizado pelo veículo, podendo ser favoráveis ou, ainda, contrárias ao movimento, ocasionando em um maior gasto de energia. Assim, é importante considerar essas forças de resistência ao movimento do veículo, visto que são responsáveis por boa parte do consumo da potência.

Na Figura 8 podem ser observadas as forças que atuam na motocicleta, quando essa se encontra em um plano inclinado com ângulo θ .

Figura 8 – Forças aplicadas no centro de pressão (CP), centro de gravidade (CG) e na roda traseira.



Fonte: CUNHA (2016, p. 44).

O motor precisa ter potência suficiente para vencer as forças contrárias ao movimento, quais sejam: a resistência aerodinâmica, a resistência de rolagem, a inclinação da pista, além da inércia para que possa aumentar a velocidade em caso de aceleração. Cabe ressaltar que tanto a inércia quanto o peso estão relacionados com a massa total do conjunto, ou seja, a massa útil (piloto, passageiro e carga) juntamente com a massa inútil (veículo) exerce essa influência. Se o veículo for muito pesado, grande parte da energia será usada para movimentar o próprio veículo (CUNHA, 2016).

Logo, ao considerar as forças que exercem resistência ao movimento, podemos chegar a uma força resultante a qual o nosso modelo terá de superar. Elas serão encontradas utilizando algumas equações, iniciando pela resistência à rolagem dos pneus.

A força de rolamento se dá em decorrência do peso do conjunto suspenso, que se deforma quando entra em contato com o solo. Desse modo, diante da histerese particular dos pneus, uma parte da energia empregada na deformação não é restituída, o que ocasiona a resistência ao deslocamento da motocicleta (CARVALHO, 2021).

A resistência de rolagem (F_R) em uma determinada pista pode ser calculada pela equação (2), caracterizada pelo coeficiente da resistência ao rolamento (C_r), o qual, conforme Coco (2013), tem valor típico para motocicletas em cerca de 0,02. Além dessa variável, é necessário conhecer a massa total em kg (considerando a carga e o veículo), que no caso da motocicleta em análise, é equivalente a 278 kg, a aceleração da gravidade (g) em m/s^2 e o $\cos\theta$ (cosseno do ângulo de inclinação da pista), na presente situação utilizado como parâmetro a inclinação do pavimento de 9%, cerca de 5° (a), já que conforme as recomendações do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), a inclinação máxima recomendada em rodovias de baixo volume de tráfego é de 9%, cujo equivalente em radianos é calculado pela equação (1).

$$a_{rad} = a * \frac{\pi}{180} = 0,087 \quad (1)$$

Logo, a resistência de rolamento para a CG 160 em uma pista de inclinação equivalente a 5° é obtida na equação (2).

$$F_R = C_r * m_{max} * g * \cos(a_{rad}) = 54,317N \quad (2)$$

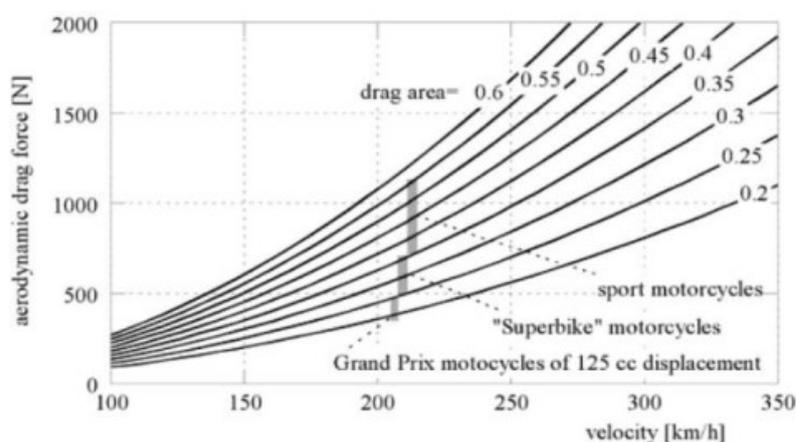
Além da força de resistência ao rolamento, a motocicleta é afetada pela resistência decorrente do deslocamento do ar (F_{ad}), força aerodinâmica modelada pela equação (3).

$$F_{ad} = K_a * (V_c - V_w)^2 = 36,47N \quad (3)$$

O resultado apresentado na equação (3) considera a velocidade de cruzeiro do veículo (V_c) igual a 18,056 m/s (metade da velocidade máxima do veículo à combustão) e a velocidade do vento frontal (V_w) igual a 2,778 m/s (referente aos 10

km/h convertidos em m/s). Já K_a refere-se ao fator de arrasto calculado pela equação (4), onde a densidade do ar (ρ) a 1 atm e 25°C, é equivalente a 1,25 kg/m³. Para a variável $Drag_a$, deve-se considerar que a força aerodinâmica se modifica conforme o produto do coeficiente de arrasto aerodinâmico com a área frontal do conjunto piloto/motocicleta, o referido produto denomina-se *dragarea*, sendo que as motocicletas apresentam valores diferentes, conforme observa-se na Figura 9.

Figura 9 – Variação da força de arrasto aerodinâmico em função da velocidade para cada tipo de motocicleta



Fonte: COSSALTER (2006).

Conforme a Figura 9, podemos considerar o valor de *dragarea* ($Drag_a$) da motocicleta Honda CG 160 é igual a 0,25.

Ressalta-se que, conforme leciona Cunha (2016, p. 32): “os carros possuem melhor aerodinâmica que as motocicletas. Mas, como essas últimas apresentam menor área frontal, o fator de arrasto, k_a , é menor no caso das motocicletas”.

$$k_a = \frac{1}{2} * \rho * Drag_a = 0,156 \frac{kg}{m} \quad (4)$$

Além disso, durante o percurso a motocicleta sofre a ação de outra força, a força peso, a qual está sempre presente quando o veículo está em um plano inclinado. Esta se refere a uma força tangencial ao movimento, logo, seu sentido permanece

inalterado, podendo ser contrária ou favorável ao deslocamento do veículo (CONSTANTINO, 2015). A força da resistência gravitacional (F_G) pode ser obtida por meio da equação (5), onde M_{\max} é massa total, α é o ângulo da inclinação e g é a aceleração da gravidade em m/s^2 . Assim, o resultado da força peso obtido é o apresentado na equação (5).

$$F_G = M_{\max} * g * \sin(\alpha) = 237,608N \quad (5)$$

Há que se considerar, ainda, a força de resistência de inércia (F_{la}) que também interfere no movimento da motocicleta. Considerando que a motocicleta original faz de 0 a 80km/h em 10,2 s, a aceleração do veículo será de 2,179 m/s^2 . Nesse sentido, a força de resistência pode ser obtida pela equação (6).

$$F_{la} = m_{\max} * a = 605,664N \quad (6)$$

Uma vez que a motocicleta precisa vencer essas forças de resistência, a força na roda necessária é obtida por meio da soma das forças contrárias ao movimento, conforme equação (7).

$$F_{roda} = F_r + F_{ad} + F_G + F_{la} = 924,06N \quad (7)$$

Obtida a força necessária para vencer as forças de resistência, pode-se determinar o torque que é preciso nas rodas para que se movimente a motocicleta. Esse pode ser calculado pela equação (8), onde T_r é o torque nas rodas do veículo em N.m e r_{pneu} é o raio do pneu em metros, que é equivalente a 0,309 m.

$$T_r = F_{roda} * r_{pneu} = 288,25Nm \quad (8)$$

Após determinado o torque nas rodas, pode-se estabelecer o torque do motor elétrico (T_m), o qual depende da relação de transmissão do sistema. De acordo com a equação (9), onde R_t é a relação de transmissão, assumiu-se que o pinhão possui 11 dentes e a coroa 56 dentes, portanto, R_t equivale a 5,09. Já η_t é o rendimento de transmissão, assumindo como 98%.

$$T_m = \frac{T_r}{(\eta_t * R_t)} = 57,78Nm \quad (9)$$

Tendo sido calculado o torque necessário no motor, é possível obter a potência de tração em W a ser desenvolvida pela motocicleta, conforme equação (10), na qual V_c é a velocidade de cruzeiro (18 m/s).

$$P_{te} = F_{roda} * V_c = 16,86kW \quad (10)$$

Também é necessário calcular a potência de saída da bateria (Pot_b), que é obtida por meio da divisão da potência exigida na roda (P_{te}), calculada na equação (10), dividida pela eficiência do sistema de tração (η_t), conforme indica a equação (11).

$$Pot_b = \frac{P_{te}}{\eta_t} = 17,20kW \quad (11)$$

Sendo essa a potência exigida do sistema. Assim, calculado os valores de torque e potência do motor elétrico, buscou-se um motor com capacidade de operação de forma adequada e eficiente em relação as condições apresentadas. Além disso, há ainda que se considerar o espaço disponível para sua instalação, o peso e o volume, bem como a sua arquitetura, afim de que se evite modificar a estrutura do veículo original.

Existem diversos tipos de motores elétricos no mercado, entretanto, para o presente trabalho, chegou-se à conclusão que o motor corrente contínua sem escovas

seria o mais adequado diante das especificações pretendidas na conversão da motocicleta elétrica (entre elas a relação peso/potência), sem contar que, conforme já mencionado, trata-se do motor mais utilizado pelos fabricantes de motocicletas elétricas.

Logo, o motor escolhido foi o motor BLDC Motor Liquid Cooled de 10 kW de potência nominal, podendo atingir 20 kW de potência de pico. Esse é um motor compacto, com apenas 17,7 kg, 17 cm de altura e 20 cm de diâmetro (GOLDEN MOTORS, 2022). Em suma, as características do referido motor estão descritas no Tabela 2.

Tabela 2 – Características motor 10KW BLDC

| Motor 10KW BLDC Refrigeração líquida | |
|---|-------------------------------------|
| Fabricante | Golden motor |
| Modelo | HPM10KW Motor BLDC de alta potência |
| Tensões | 48V/72V/96V/120V |
| Potência nominal | 10 kW |
| Potência máxima | 20 kW |
| Torque nominal | 25 Nm |
| Torque máximo | 85 Nm |

| | |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| Eficiência | 91% |
| Peso | 17,7 kg |
| Velocidade | 2000 - 6000 rpm |
| Resistência de fase (Miliohm) | 3.1/48V; 6.0/72V; 18.0/120V |
| Indução de fase (100KHZ) | 34uH/48V; 77uH/72V; 252uH/120v |
| Carcaça | Alumínio |
| Medidas | 17cm(altura), Diâmetro 20 cm |

Fonte: Adaptado de Golden Motors (2022).

Na tabela 3, podem ser observados os dados obtidos pela tabela de testes do motor gerado pelo fabricante para tensão de 96 V (V_{max}), sendo essa foi a tensão de operação escolhida no projeto.

Tabela 3 – Dados do teste para 96V

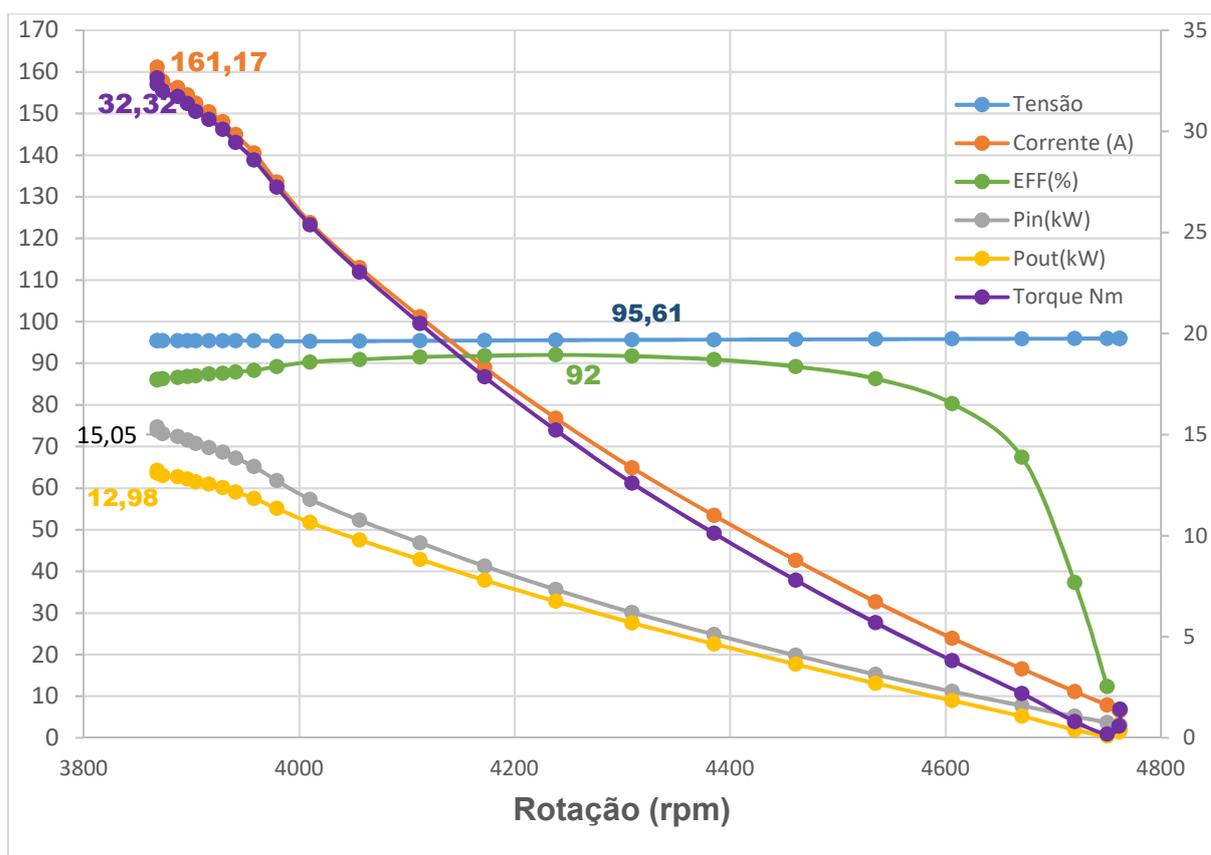
| Itens | Tensão | Corrente | Potência entrada | Fator de potência | Frequência | Torque | Rotação | Potência saída | Eficiência |
|-------|--------|----------|------------------|-------------------|------------|--------|---------|----------------|------------|
| NO, | V | A | W | PF | Hz | mNm | rpm | W | % |
| 1 | 95,97 | 6.494 | 623,18 | 1.000 | 0 | 707,5 | 4762 | 352,79 | 56,6 |
| 2 | 95,97 | 6.693 | 642,36 | 1.000 | 0 | 576,7 | 4761 | 287,49 | 44,8 |
| 3 | 95,96 | 7.897 | 757,8 | 1.000 | 0 | 186,7 | 4750 | 92,84 | 12,3 |
| 4 | 95,93 | 11.112 | 1066,01 | 1.000 | 0 | 803,3 | 4720 | 397,04 | 37,3 |
| 5 | 95,89 | 16.579 | 1589,73 | 1.000 | 0 | 2190 | 4671 | 1071,15 | 67,4 |
| 6 | 95,84 | 23.932 | 2293,6 | 1.000 | 0 | 3820 | 4606 | 1842,4 | 80,3 |
| 7 | 95,78 | 32.692 | 3131,1 | 1.000 | 0 | 5690 | 4535 | 2702,01 | 86,3 |
| 8 | 95,72 | 42.645 | 4081,98 | 1.000 | 0 | 7793,3 | 4461 | 3640,43 | 89,2 |

| | | | | | | | | | |
|----|-------|---------|----------|-------|---|---------|------|----------|------|
| 9 | 95,67 | 53.442 | 5112,65 | 1.000 | 0 | 10116,7 | 4385 | 4645,19 | 90,9 |
| 10 | 95,61 | 64.868 | 6202,06 | 1.000 | 0 | 12603,3 | 4309 | 5686,68 | 91,7 |
| 11 | 95,55 | 76.798 | 7337,76 | 1.000 | 0 | 15220 | 4238 | 6754,17 | 92 |
| 12 | 95,47 | 88.994 | 8496,59 | 1.000 | 0 | 17853,3 | 4172 | 7799,38 | 91,8 |
| 13 | 95,4 | 101.153 | 9650,03 | 1.000 | 0 | 20496,7 | 4112 | 8825,37 | 91,5 |
| 14 | 95,33 | 112.943 | 10767,26 | 1.000 | 0 | 23043,3 | 4056 | 9786,78 | 90,9 |
| 15 | 95,27 | 123.787 | 11793,57 | 1.000 | 0 | 25373,3 | 4010 | 10654,14 | 90,3 |
| 16 | 95,34 | 133.490 | 12726,49 | 1.000 | 0 | 27236,7 | 3979 | 11348,14 | 89,2 |
| 17 | 95,43 | 140.537 | 13411,88 | 1.000 | 0 | 28580 | 3958 | 11844,99 | 88,3 |
| 18 | 95,43 | 144.947 | 13832,26 | 1.000 | 0 | 29450 | 3941 | 12153,14 | 87,9 |
| 19 | 95,42 | 148.040 | 14126,47 | 1.000 | 0 | 30090 | 3929 | 12379,44 | 87,6 |
| 20 | 95,41 | 150.413 | 14350,94 | 1.000 | 0 | 30593,3 | 3916 | 12544,87 | 87,4 |
| 21 | 95,42 | 152.503 | 14551,36 | 1.000 | 0 | 30986,7 | 3904 | 12667,22 | 87 |
| 22 | 95,41 | 154.440 | 14735,12 | 1.000 | 0 | 31370 | 3896 | 12797,65 | 86,8 |
| 23 | 95,41 | 156.203 | 14902,84 | 1.000 | 0 | 31720 | 3887 | 12910,54 | 86,6 |
| 24 | 95,39 | 157.737 | 15047,03 | 1.000 | 0 | 32003,3 | 3873 | 12978,94 | 86,3 |
| 25 | 95,4 | 159.327 | 15199,23 | 1.000 | 0 | 32320 | 3868 | 13090,45 | 86,1 |
| 26 | 95,41 | 161.173 | 15377,01 | 1.000 | 0 | 32646,7 | 3868 | 13222,75 | 86 |

Fonte: Adaptado de Golden Motors (2022).

Na Figura 10, estão representadas as características de desempenho do motor em testes do fabricante para uma tensão aplicada de 96 V. Observa-se um elevado rendimento, típico dos motores elétricos, atingindo um torque de pico de 32,641 Nm em uma rotação de cerca de 3868 rpm. Já a corrente em regime nominal encontra-se entre 113 e 124 A.

Figura 10 – Valores de tensão, corrente, eficiência (considerando conversor), potência de entrada, potência de saída e torque do motor do *brushless* em função da rotação

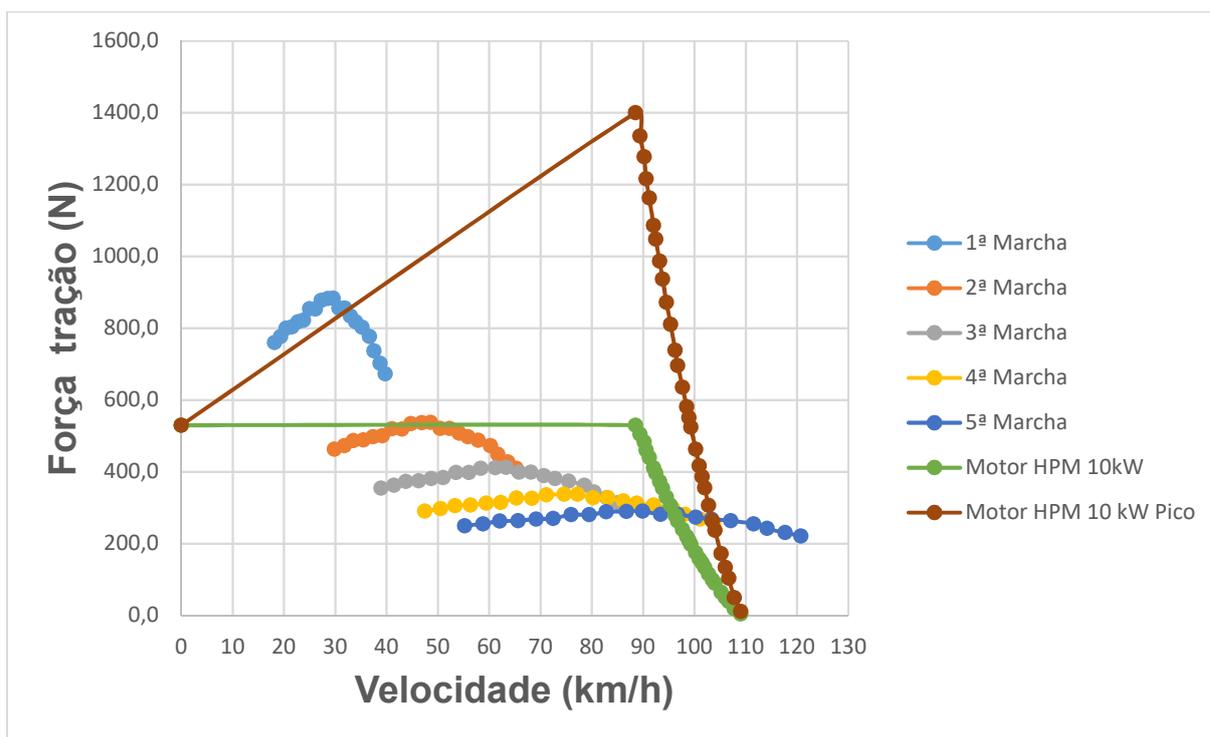


Fonte: Adaptado de Golden Motors (2022).

A comparação entre o desempenho do motor à combustão 160 cc e o motor elétrico de 10 kW, pode ser observada pela elaboração do gráfico “força de tração *versus* velocidade”, como se observa no Figura 11. Com este quadro, podem ser observadas as curvas de cada marcha do veículo à combustão, bem como a curva de pico e nominal do motor elétrico.

A curva nominal do motor elétrico, equivale as curvas do motor à gasolina de 2ª até a 5ª marcha, demonstrando, portanto, um excelente desempenho como apresentados no quadro abaixo (TESLA BRASIL, 2021).

Figura11 – Força de tração *versus* velocidade do motor elétrico com a relação de 5,09 em comparação às curvas de cada marcha da cg 160 original



Fonte: Elaboração própria (2022).

Pode-se observar que a curva da força de tração do motor elétrico com o torque de pico apresenta valores da força de tração superiores àquelas fornecidas pelo motor à combustão em todas as marchas. Entretanto, o motor elétrico atinge a velocidade máxima de apenas 110 km/h, contudo, essa é uma velocidade possível de se trafegar nas vias com segurança (TESLA BRASIL, 2021). Essa velocidade final e a força de tração são inversamente proporcionais e diretamente dependentes da relação de transmissão. Se aumentar o valor da relação à velocidade diminuirá e a tração aumentará, caso diminua a relação à força diminui e a velocidade aumenta. Essa análise pode ser melhor observada ao comparar os Apêndice (A) e (B), onde no Apêndice (A) é aplicando uma relação de 1 para 3, podendo atingir uma velocidade de até 180 km/h e no Apêndice (B) de 1 para 8, com uma velocidade final inferior, porém com um torque superior. Desse modo, observou-se que a relação 1 para 5,09 foi a relação comercial que melhor se adequou para o motor elétrico escolhido.

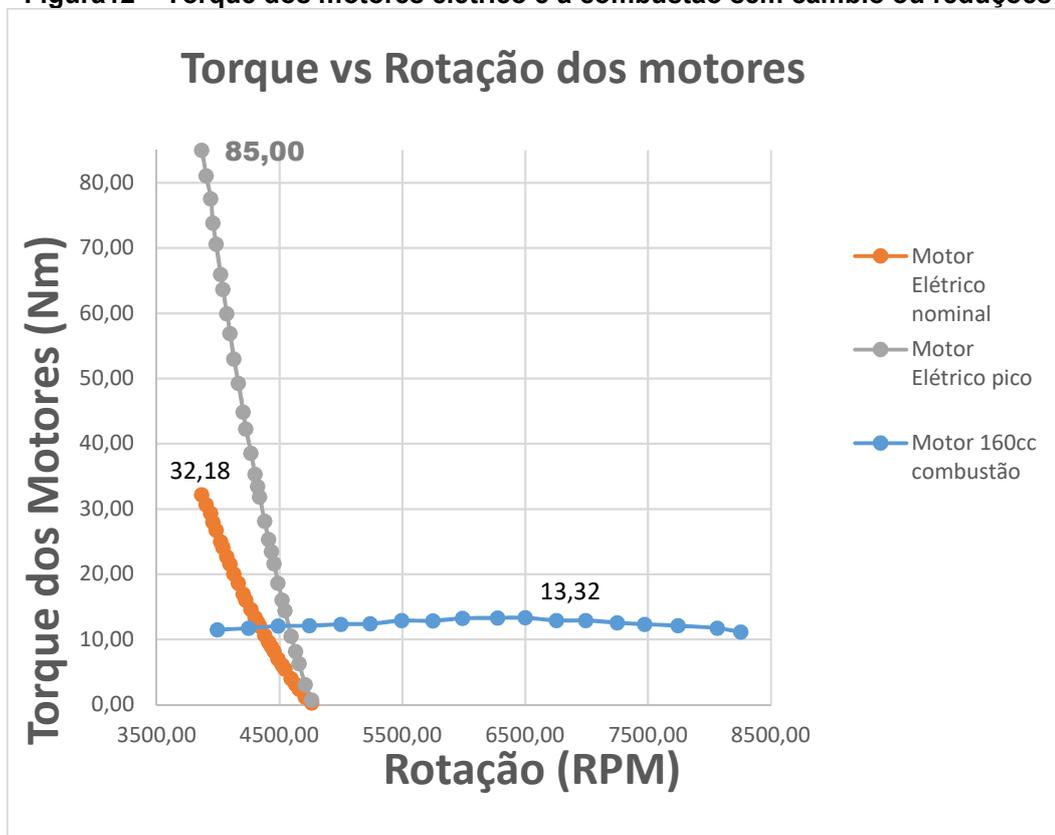
A condição de torque máximo ocorre em casos mais extremos e principalmente para o arranque inicial do veículo.

Ademais, para a escolha do motor elétrico, o ideal seria manter o câmbio da motocicleta original, porém por se tratar de um motor muito mais complexo no quesito mecânico pela quantidade de peças e devido ao fato do câmbio e motor serem

um conjunto de peças único seria de difícil adaptação para o motor elétrico no câmbio original, diante disso foi desconsiderado essa possibilidade. Além disso, como pode-se observar no Quadro 6, o torque do motor elétrico é praticamente instantâneo mesmo em baixas rotações, diferentemente do motor à combustão, para isso, seria necessário um controle de partida, caso fosse mantido o câmbio.

Como pode ser observado na Figura 12, o torque nominal do motor escolhido é muito superior ao torque do veículo original em baixas rotações quando desconsiderando todas as reduções.

Figura12 – Torque dos motores elétrico e à combustão sem cambio ou reduções



Fonte: Elaboração própria (2022).

Definido o motor elétrico, ainda é necessário definir os dispositivos de suprimento de energia e controle. Tais definições são de suma importância, uma vez que com base nelas ficará estabelecido o novo peso total do veículo (COSTA, 2009).

3.3 Escolha do controlador

O controlador refere-se ao equipamento que possibilita o controle da velocidade do motor elétrico, o qual atua na quantidade de energia elétrica oriunda das baterias, que chega ao motor. Sendo assim, o controle é realizado pela comunicação dada pelo acelerador e pelo freio (CONSTANTINO, 2015).

Para o presente trabalho, optou-se pelo inversor da fabricante Golden Motor Technology CO Ltd, modelo VEC500, tendo em vista que esse foi o modelo utilizado para a realização dos testes do motor pelo fabricante. Na Tabela 4 podem ser observadas as especificações do inversor.

Tabela 4 – Parâmetros do inversor

| Parâmetros elétricos do inversor | |
|---|---------------|
| Modelo | VEC500-96 |
| Tensão Nominal | 96 v |
| Corrente Nominal | 120A |
| Corrente de Sobrecarga | 450A |
| Características físicas | |
| Peso | 3,2 kg |
| Dimensões | 200x190x58 mm |

Fonte: Adaptado de Golden motors (2014).

O inversor escolhido utiliza a tecnologia de controle de campo orientado, essa, é utilizada para melhorar o desempenho dinâmico do motor e aumentar a eficiência do sistema de tração elétrica (BAIL, MENDONÇA, PAUKA, FIUZA, VILELA JR., 2019).

O Controle Orientado de Campo nos motores BLDC reduz a ondulação de torque, resultando em um desempenho mais suave do motor e uma operação mais silenciosa.

3.4 Definição da bateria

A energia específica das baterias eletroquímicas é menor que a energia específica fornecida pela gasolina, nesse sentido, para atingir a autonomia original seria necessário um número elevado de baterias, porém deve-se atentar que um

grande número de baterias em uma motocicleta apresenta inúmeras desvantagens (COSTA, 2009).

A autonomia da motocicleta relaciona-se diretamente a sua bateria. No entanto, definir a autonomia para o trânsito em cidades de maneira teórica não é tarefa fácil. Para isso, há que se considerar, conforme anteriormente mencionado, as diversas forças que atuam de maneira contrária ao movimento, bem como as curvas e as frenagens que a motocicleta faz ao longo do trajeto (SARAIVA, 2016). Sob essa perspectiva, buscou-se alcançar o desempenho mais próximo ao da motocicleta original, contudo, considerando que a autonomia da mesma é equivalente a 640 km por tanque de gasolina, atualmente seria impossível atingir essa autonomia com baterias eletroquímicas levando em conta a estrutura original da motocicleta. Por esse motivo, considerou-se como parâmetro o deslocamento médio do brasileiro que gira em torno de 1000 km por mês (KBB, 2019). Supondo então que a motocicleta seja utilizada 20 dias no mês, o deslocamento médio por dia seria de 50 km, assim, foi estabelecido, uma recarga a cada 2 dias.

A partir das considerações descritas no parágrafo anterior, se inicia o cálculo da bateria para atender todo o sistema. Inicialmente deve ser calculada a quantidade de energia necessária para mover a motocicleta por um trajeto de 100 km. A fim de que se possa calcular a energia necessária para esse trajeto, deve-se aferir a energia liberada na queima de um litro de gasolina e após empregar os rendimentos esperados da combustão até a saída do eixo da roda.

Sendo assim, tendo em vista que a autonomia da Cg 160 Titan a cada litro de gasolina é em média de 40 km (ESTADÃO, 2022), e que um litro de gasolina possui 0,715 kg (gm) (PETROBRAS, 2020) e 12,89 kWh/kg de energia específica (E_{es}) (STRINGFIXER, 2021), para a distância almejada de 100 km, a Cg 160 Titan à combustão consome 2,5 litros de gasolina, ou seja, uma massa aproximada de 1,79 kg de combustível. Então a energia consumida no percurso de 100 km (E_{100km}), pode ser obtida pela equação (12), conforme Waltrich e Heldwein (2015, p. 257),

$$E_{100km} = E_{es} * g_m * 2,5 = 23,07kWh \quad (12)$$

Considerando que os rendimentos da motocicleta à combustão giram em torno de 15%, sendo esse o rendimento total do processo, levando em conta a

transformação da energia contida na gasolina para energia mecânica na saída do eixo do motor e o rendimento dos componentes da transmissão, ou seja, a eficiência do conjunto de tração motor a combustão será equivalente a 0,15 (SARAIVA, 2016).

Pode-se calcular a energia entregue nas rodas pela equação (13), conforme Waltrich e Heldwein (2015, p. 257), a qual aplica todos os rendimentos do sistema multiplicado pela energia disponível na gasolina para os 100 km.

$$E_e = E_{100km} * 0,15 = 3,46kWh \quad (13)$$

Dessa forma, considerando-se a massa original da motocicleta juntamente com as exigências energéticas encontradas ao longo do percurso, é necessário 3,46kWh de energia para que a motocicleta à combustão percorra 100km.

De modo diverso, a energia requerida na roda para a motocicleta elétrica no mesmo percurso de 100 km é a mesma. Então deve-se percorrer o ciclo inverso, partindo da roda, considerando as perdas da transmissão e motor elétrico, para encontrar a energia que a bateria terá que fornecer ao sistema. Assumindo que a eficiência do motor elétrico é de 85% e que a eficiência do controlador é de 98%, isso significa que 83,3% (η_{mc}) da energia entregue pela bateria chegará na roda. Então, a energia de saída da bateria é obtida considerando a energia requerida na roda mais as perdas do motor e controlador, o que equivale a 4,15 kwh.

Tendo conhecimento da energia necessária que a bateria terá que fornecer ao sistema, é então dimensionado o banco de baterias. Inicia-se pelo cálculo da corrente do banco e para isso é preciso encontrar a capacidade mínima do banco (C_b) em Ah, que é equivalente a energia necessária no veículo (E_v), dividida pela tensão do motor (V_{max}), conforme se Equação (14).

$$C_b = \frac{E_v}{V_{max}} = 43,22Ah \quad (14)$$

Também é necessário calcular a potência exigida pelo veículo a bateria (Pot_b), que é obtida por meio da divisão da potência de saída do motor (P_{ie}), calculada

na equação (11), pela eficiência do motor e inversor (η_{mc}), de 83,3%, conforme equação (15).

$$Pot_b = \frac{P_{te}}{\eta_{mc}} = 17,20kW \quad (15)$$

Também é necessário o cálculo da corrente máxima de pico (I_{max}) necessária para o banco de baterias, obtida dividindo-se a potência de pico do banco pela tensão do motor, conforme equação (16).

$$I_{max} = \frac{Pot_b}{V_{max}} = 179,17A \quad (16)$$

Obtidas a corrente de pico e a corrente máxima de descarga, pode-se escolher as baterias que irão compor o banco.

3.5 Bateria escolhida

Optou-se pela bateria recarregável de Íon-Lítio Samsung Inr18650-35e. As especificações da mesma estão presentes no Quadro 8.

**Tabela 5 – Especificações da célula
Bateria SAMSUNG INR18650-35E**

| Tabela 5 – Especificações da célula Bateria SAMSUNG INR18650-35E | |
|---|------------------------------------|
| Fabricante | Samsung |
| Modelo | SAMSUNG INR18650-35E 3500mAh(Pink) |
| Tensão de recarga | 4,2 V |
| Tensão nominal | 3,6 V - 3,7 V |
| Tensão final de descarga | 2,65 V |
| Código do fabricante | INR18650-35E |
| Corrente de carga | 0,6C 2000 mA |
| Capacidade da Célula da bateria | 3500 mAh |
| Capacidade mínima | 3350 mAh |
| Corrente de descarga | 8 A |
| Máxima corrente de descarga continua (A) | 13 A |
| Massa da célula (kg) | 0,048 kg |

| | |
|------------------|------------------------|
| Datasheet | Datasheet INR18650-35E |
| Diâmetro | 18,55 mm ± 0,1 |
| Altura | 65,25 mm ± 0,15 |
| Química | LiNiCoAlO2 |

Fonte: Adaptado de (LYGTE-INFO, 2012).

Uma vez escolhida a bateria, obtém-se o número de células em série dividindo a tensão de operação motor (V_{\max}) pela tensão fornecida pela célula escolhida (V_{cel}). Portanto, teremos vinte e sete células em série para atender a tensão necessária para o motor escolhido, conforme equação (16).

$$N_s = \frac{V_{\max}}{V_{cel}} = 26,67 \quad (16)$$

Dessa forma, na equação (17), a tensão máxima do banco de baterias é obtida multiplicando-se a tensão máxima das células (V_{mcel}) pelo número de células em série (N_s).

$$V_{\max b} = V_{mcel} * N_s = 116,4V \quad (17)$$

Também é preciso encontrar o número de baterias em paralelo (N_p). Para ser encontrado o número de células mínimo em paralelo (N_{pc}), divide-se a capacidade mínima do banco de baterias por hora (C_b) pela capacidade de célula da bateria (C_{el}), conforme equação (18).

$$N_{pc} = \frac{C_b}{C_{el}} = 12,9 \quad (18)$$

Conforme a equação (18), quanto maior a capacidade da célula, menos células serão necessárias em paralelo. Chegou-se a um valor de 13 células em paralelo, porém é preciso confirmar se essa quantidade mínima de células tem capacidade de fornecer potência suficiente para o motor escolhido. Sabendo que a máxima corrente de descarga contínua da célula é 8 A (I_{des}) (SAMSUNG, 2015), é

possível calcular a potência de pico do banco de baterias (Pp_{banco}), conforme equação (19).

$$Pp_{banco} = V_{max} * N_{pc} * I_{des} = 9,98kW \quad (19)$$

Pode-se observar que a potência fornecida por esse número de células não seria suficiente para atender a potência de pico que é exigida pelo modelo ao banco de baterias de 17,20 kW (Pot_b), logo, foi necessário elevar o número de células em paralelo (N_p) para 23 células e assim atender a relação de potência ($Pot_b < Pp_{banco}$), conforme equação (20).

$$Pp_{banco} = V_{max} * N_p * I_{des} = 17,66kW \quad (20)$$

Logo, para o cálculo do número de total de células (N_{total}) necessárias para o banco de baterias, considerou-se o número de células em série (N_s) de 27, as quais atendem a tensão exigida pelo o sistema e o número de células em paralelo (N_p) de 23, que também atende a potência de pico que o motor pode exigir em determinadas situações. Dessa forma, tem-se o total de células conforme equação (21).

$$N_{total} = N_p * N_s = 621células \quad (21)$$

Com essas informações pode ser calculada a massa inserida no veículo começando com o motor escolhido, que conforme anteriormente mencionado tem a massa de 17,7 kg. Já a massa do banco de baterias (M_{banco}) é calculada com o auxílio da equação (22), na qual o número de células total (N_{total}) é multiplicado pela massa unitária (M_{cel}) de 0,048 kg. Neste último cálculo, considerou-se mais 20% da massa para possíveis adaptações, carcaça de proteção, contatos, cabos, entre outros.

$$M_{banco} = N_{total} * M_{cel} * 1,2 = 35,77kg \quad (22)$$

Assim, a massa total do conjunto motor e bateria é de 53,47 kg.

Para a conversão pretendida, foi considerada a retirada total do conjunto tração original da motocicleta CG 160 cc. Dessa forma, temos de considerar a retirada da massa desse conjunto e considerar a massa do conjunto elétrico. A massa de todo o conjunto de tração da CG 160 cc é de aproximadamente 44 kg e o tanque de combustível tem capacidade de 16 litros (o equivalente a 11,44 kg de gasolina). Portanto, a massa total retirada do veículo é de 55,44 kg. Assim, podemos concluir que o modelo final terá uma massa aproximadamente 2 kg menor que a original.

3.6 Sistema de gestão da bateria

Considerando que as motocicletas elétricas utilizam as baterias como sua fonte de energia, faz-se necessária a utilização de um sistema que monitore o funcionamento das células que compõe o *pack* de baterias, de modo que haja uma gestão adequada da energia armazenada, evitando, assim, que haja células com valores de tensão diferentes durante o processo de carga e descarga (CONSTANTINO, 2015). As baterias tratam-se de um dos itens mais caros empregados na conversão e sua associação em série pode ocasionar diversos problemas que influenciam de forma negativa no rendimento das mesmas, o que pode levá-las ao fim de sua vida útil de forma precoce (SILVA, 2013). Para tanto, é importante a utilização de um bom Sistema de Gestão de Baterias (BMS), capaz de garantir o cumprimento dos requisitos da motocicleta elétrica. Um BMS pode ser definido, de maneira sucinta, como *“um sistema de gestão e monitorização de baterias, utilizado para a gestão energética das mesmas”* (SILVA, 2013, p. 2).

O monitoramento realizada pelo BMS é feita usando a informação relativa ao estado de carga, à tensão, à temperatura e à corrente que entra e sai do conjunto de baterias, o que auxilia no funcionamento correto e na longevidade das baterias (CONSTANTINO, 2015).

No presente estudo foi escolhido o Orion BMS 2, visto que são desenvolvidos propriamente para veículos elétricos, para proteção, monitorização e gestão de baterias (ALVES, 2015). Como há 27 células em série para monitorar, foi escolhido o modelo que suporta até 36 células.

O referido BMS utiliza do método de equalização passivo, esse sistema também permite calcular o limite de corrente de descarga (DCL) e o limite de corrente de carga (CCL) e o estado de carga (SoC) e também permite medir tensões de células entre 0,5 V e 5,0 V. Ademais, realiza comunicação por meio do protocolo CANBUS 2.0B (ORION, 2022). No quadro 9 podem ser observadas as especificações do Orion BMS.

Tabela 6 – Especificações Orion BMS

| Especificação Elétrica | Mínimo | Típico | Máximo | Unidade |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Tensão de Alimentação | 8 | | 30 | VCC |
| Corrente de Alimentação –Ativo | | 200 | | mA |
| Corrente de Alimentação – Modo Sono | | 450 | | uA |
| Temperatura de Operação | -40 | | 80 | °C |
| Faixa de Monitoramento Tensão | 0,5 | | 5 | V |
| Erro de Monitoramento Tensão | | | 0,25 | % |
| Corrente de Balanceamento Célula | | | 200 | mA |

Fonte: Orion (2022).

3.7 Sistemas de Carregamento de Baterias

Com base no BMS escolhido, optou-se por um modelo de carregador de bateria com configurações programadas para diferentes tipos de carregadores, com a finalidade de atender a tensão da bateria e a corrente de carregamento da bateria escolhida. Em vista disso, escolheu-se o modelo de carregador de bateria de lítio HK-H-H132-16, corrente máxima de saída 16 A, faixa de tensão de saída 34-132 VCC, hardware 96 V 16 A (SOURCE, 202-).

Já para alimentar o sistema de 12 Vcc da motocicleta é necessário utilizar um conversor cc-cc para essa função foi escolhido o conversor modelo HY-J1351205GL1, marca HYCO, Corrente de saída: 5A MAX.

4 CICLO DE ENSAIOS

Após definidos os elementos que serão utilizados no modelo é necessário submetê-lo a testes para verificar os limites especificados na conversão.

É necessário a criação de um modelo que inclua o comportamento de torque do motor em função de sua velocidade, a eficiência do conjunto e a capacidade energética da bateria. Assim, a simulação do comportamento do veículo pode ser realizada por meio de uma velocidade fixa ou, ainda, mediante aplicação em um ciclo de ensaio. Existem ciclos de ensaio que simulam as situações em que a motocicleta será submetida, por exemplo, cidades com muitos ou poucos cruzamentos, viagens em rodovias em velocidade de cruzeiro, entre outros (LARMINIE e LOWRY, 2012).

Os diversos códigos de programação que utilizam os ciclos de ensaios para testar veículos geralmente simulam um conjunto de pontos de velocidade do veículo em relação ao tempo. Assim, tais programas são muito utilizados na conversão de veículos, pois dispensam inicialmente a construção de protótipos (LARMINIE e LOWRY, 2012).

Para implementação dos programas de simulação, escolheu-se o *software* Scilab, um software livre, destinado a realização de análises matemáticas. Esse *software* permite a realização de diversos cálculos e aceita uma grande variedade de dados, baseando-se, principalmente, na manipulação de vetores e matrizes (SILVA et al, 2013).

Uma vez que não será confeccionado um protótipo da motocicleta, os ciclos de teste se apresentam como uma importante ferramenta para avaliar desempenho e a provável autonomia da motocicleta.

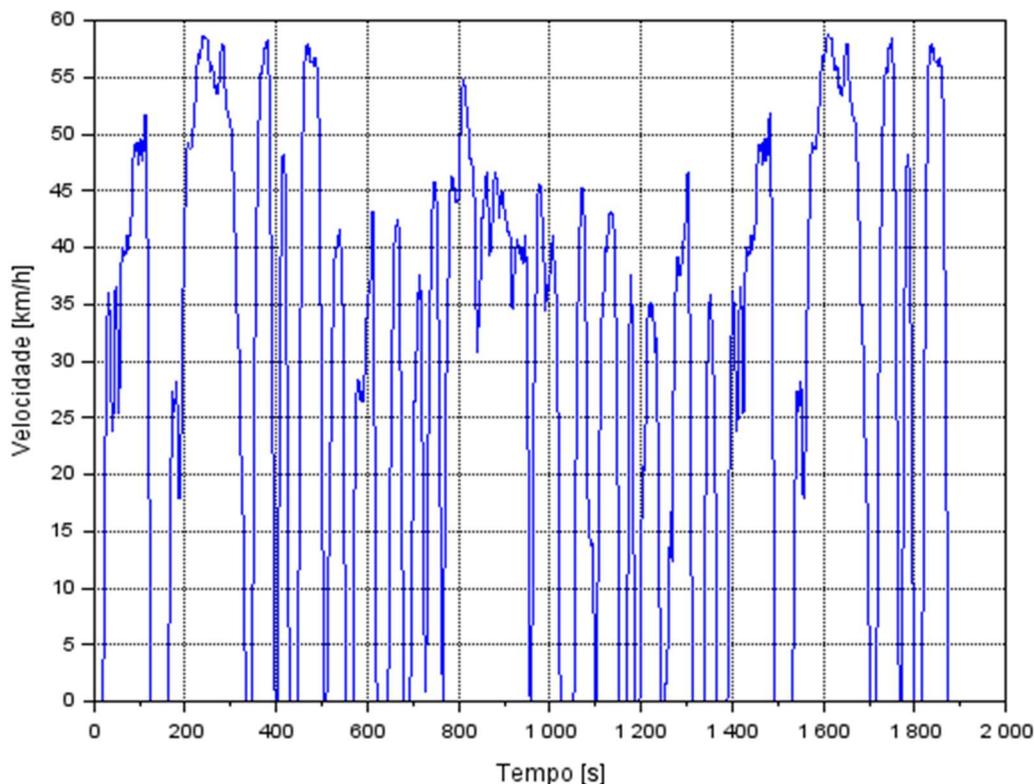
4.1 Escolha do ciclo de ensaio

Diante da diversidade dos ciclos encontrados, procurou-se escolher o ciclo que representasse adequadamente o perfil de condução do veículo. Os ciclos geralmente utilizados para motocicletas são os ciclos de ensaios WMTC e FTP-75, onde por meio deles podem ser analisados o veículo e o consumo de energia (ANDRADE, 2020).

Assim, iniciou-se os testes com a escolha do ciclo FTP padrão, que é utilizado com a velocidade reduzida para motocicletas que possuem menos de 170 cilindradas (EPA, 2022). O arquivo FTP padrão no formato texto, com os vetores de tempo e velocidade, é aplicado no Apêndice (C), o qual importa o ciclo de ensaio. Na

Figura 13 é representado o ciclo de ensaio (*drive schedule*) escolhido, onde pode ser observado a velocidade em função do tempo com intervalos de aceleração e paradas.

Figura 13 – Velocidade em km/h em relação ao tempo do ciclo FTP padrão



Fonte: Elaboração própria (2022).

Esse é o ciclo que o programa reproduz quantas vezes for necessário até atingir o limite indicado na variável de descarga da bateria.

4.2 Aplicação do programa de ciclos de ensaio

Depois de escolhido o *Scilab* para compilar os programas e determinada a bateria e o motor para atingir a força de tração anteriormente definida, poderá ser criado um modelo da motocicleta no ciclo de testes.

Para se visualizar até onde um veículo pode ir antes da bateria ficar descarregada, é feito um processo passo a passo ao longo do ciclo de condução.

Desse modo, após escolhido o ciclo de ensaio, passa-se a fazer sua aplicação, que se inicia com o cálculo da tensão da bateria de circuito aberto, o qual

depende do estado de carga da bateria. Em seguida, faz-se o cálculo da corrente da bateria. Depois disso, é preciso fazer o registro de carga retirada da bateria, corrigindo a corrente usando o coeficiente de Peukert. Após, deve-se atualizar o nível de descarga da bateria. Caso a bateria não esteja descarregada até o ponto pretendido, o processo continua sendo repetido 1 segundo depois, na próxima velocidade do ciclo.

Assim, no programa principal *honda_CG160*, demonstrado no Apêndice (D), insere-se os dados constantes da motocicleta, inclinação, velocidade do vento frontal, entre outras especificações que não irão se modificar ao longo da execução dos ciclos.

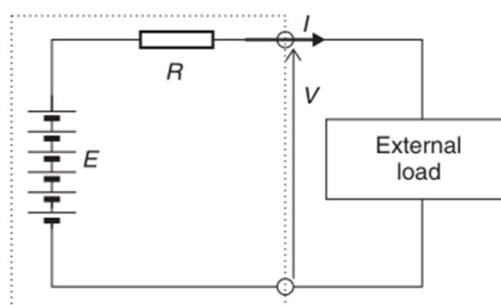
De outro modo, além das constantes, há variáveis que durante a compilação do programa se alteram, a exemplo a capacidade do *pack* de baterias, sendo alterada e atualizada a cada ciclo rodado.

Dentre os resultados do programa principal, pode se extrair a autonomia da bateria, a qual é obtida para diferentes valores de profundidade de descarga, dependentes da velocidade (Figura 13), inclinação e eficiência do conjunto convertido.

No entanto, para que se encontre a capacidade do *pack* de baterias, necessita-se do modelo da bateria, tendo sido escolhido, no presente trabalho, o modelo de *Peukert* para calcular a descarga da bateria nos ciclos de ensaios.

O modelo da bateria foi desenvolvido levando-se em consideração a Figura 14 e os coeficientes disponibilizados pelo fabricante. Na Figura 14 a constante “E” é a tensão de circuito aberto do *pack* de baterias e “R” o valor da resistência equivalente do arranjo das baterias. Ainda, para aplicação do ciclo de ensaios é necessário encontrar a eficiência do motor que juntamente com o modelo da bateria para uma profundidade de descarga limite, determinará a autonomia.

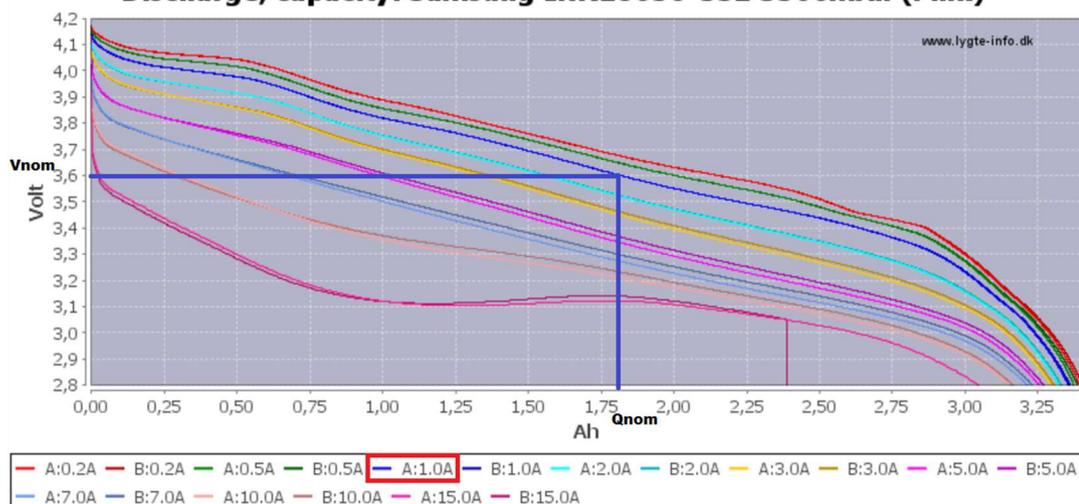
Figura 14 – Modelo equivalente do circuito de uma bateria composta por seis células



4.2.1 Resistência equivalente do arranjo das baterias

Para determinar a resistência total do *pack* de baterias é necessário encontrar a resistência interna de uma célula, que é alcançada utilizando-se a Equação (23) explicada por Tremblay e Dessaint (2007). As variáveis podem ser encontradas considerando a curva representada na Figura 15. Por meio da curva, obtém-se os parâmetros de tensão nominal de descarga (V_{nom}) em relação à capacidade (Q_{nom}).

**Figura 15 – Curva de descarga da bateria escolhida para determinadas correntes de descarga
Discharge, capacity: Samsung INR18650-35E 3500mAh (Pink)**



Fonte: LYGTE INFO, 2021.

Os valores extraídos da capacidade de descarga fornecido pelo fabricante, considerando a curva para corrente de descarga de 1 A, foram tensão nominal de 3,6

V, eficiência média (η) igual a 99% (GENOVESE, LOULI, WEBER, HAMES, 2018) e o valor da capacidade nominal de aproximadamente 1,8 Ah.

$$R_{ic} = V_{nom} * \frac{1-\eta}{0,2 * Q_{nom}} = 0,1\Omega \quad (23)$$

Após encontrada resistência interna de uma célula (R_{ic}), parte-se para o cálculo da resistência total do *pack* de baterias. Desse modo, a resistência da célula calculada na equação (23) é aplicada na Equação (24), onde é encontrado a resistência total do *pack* de bateria (R_{ip}). Das variáveis necessárias para a equação, ainda não citada ao longo do texto é a capacidade nominal da célula de 3,35 ha (C_n) retirada de catálogo.

$$R_{ip} = N_s * \frac{R_{ic}}{C_n * N_p} = 35,04m\Omega \quad (24)$$

Da equação (24) pode-se concluir sobre a resistência total do *pack* de bateria, que o número de células em série aumenta o valor da resistência e em paralelo diminui, ou seja, a resistência é inversamente proporcional a capacidade da bateria (LARMINIE e LOWRE, 2012).

4.2.2 Tensão de circuito aberto

Considerando que a tensão de circuito aberto não é constante, foi considerada uma equação polinomial em função da profundidade de descarga medida em catálogos dos fabricantes.

A profundidade de descarga da bateria precisa ser analisada, tendo em vista que a capacidade de uma bateria é reduzida se a corrente for drenada mais rapidamente. Assim, mostra-se de suma importância essa análise diante dos veículos

elétricos, pois nesta aplicação as correntes drenadas são geralmente mais altas, com o resultado de que a capacidade pode ser menor do que a esperada. Logo, é importante ser capaz de prever o efeito da corrente de descarga (LARMINIE e LOWRY, 2012).

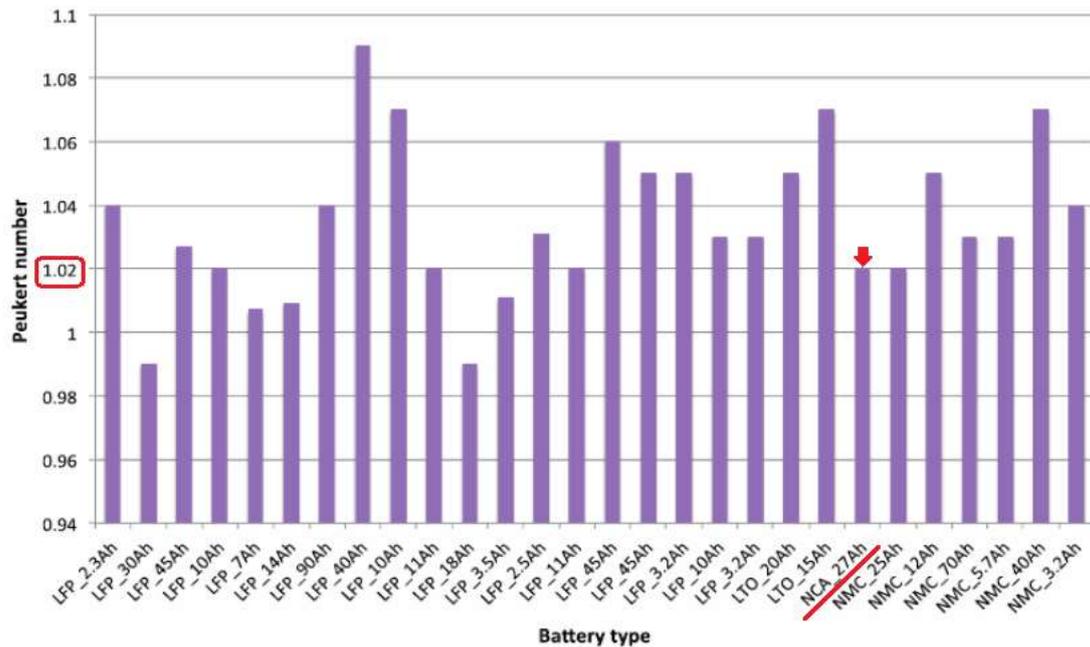
Conhecer a profundidade de descarga da bateria é essencial para encontrar a tensão de circuito aberto, porém para que a profundidade de descarga seja definida é preciso, anteriormente, encontrar a corrente de descarga (I_d) que é calculada na equação (25).

$$I_d = \frac{C_n * N_p}{T_{dc}} = 23A \quad (25)$$

Nessa equação, a capacidade nominal da bateria de 77,05 Ah ($C_n * N_p$) é dividida pelo tempo de descarga 3,35 h (T_{dc}).

Então, após definir a corrente de descarga (I_d), para o cálculo da capacidade de *Peukert* da bateria escolhida, com Equação (26), é necessário ainda encontrar a constante de *Peukert*, que altera de acordo com a composição química da célula. Para a célula escolhida de Lítio níquel cobalto alumínio (NCA), o coeficiente foi extraído com o auxílio da Figura 16.

Figura 16 – Constante de *Peukert* para baterias de íons de lítio, de acordo com suas composições químicas



Fonte: OMAR; BOSSCHE; COOSEMANS e MIERLO (2013, P. 5627).

Conforme a Figura 16, o coeficiente de *Peukert* (k) é 1,02 para a composição da bateria escolhida. Após encontradas as variáveis, a Equação (26) pode ser utilizada, resultando na capacidade de *Peukert* (Peu_{cap}). Essa equação faz a simulação da descarga da bateria, que conforme já mencionado, varia conforme a execução do programa, a cada ciclo rodado até a bateria ficar totalmente descarregada.

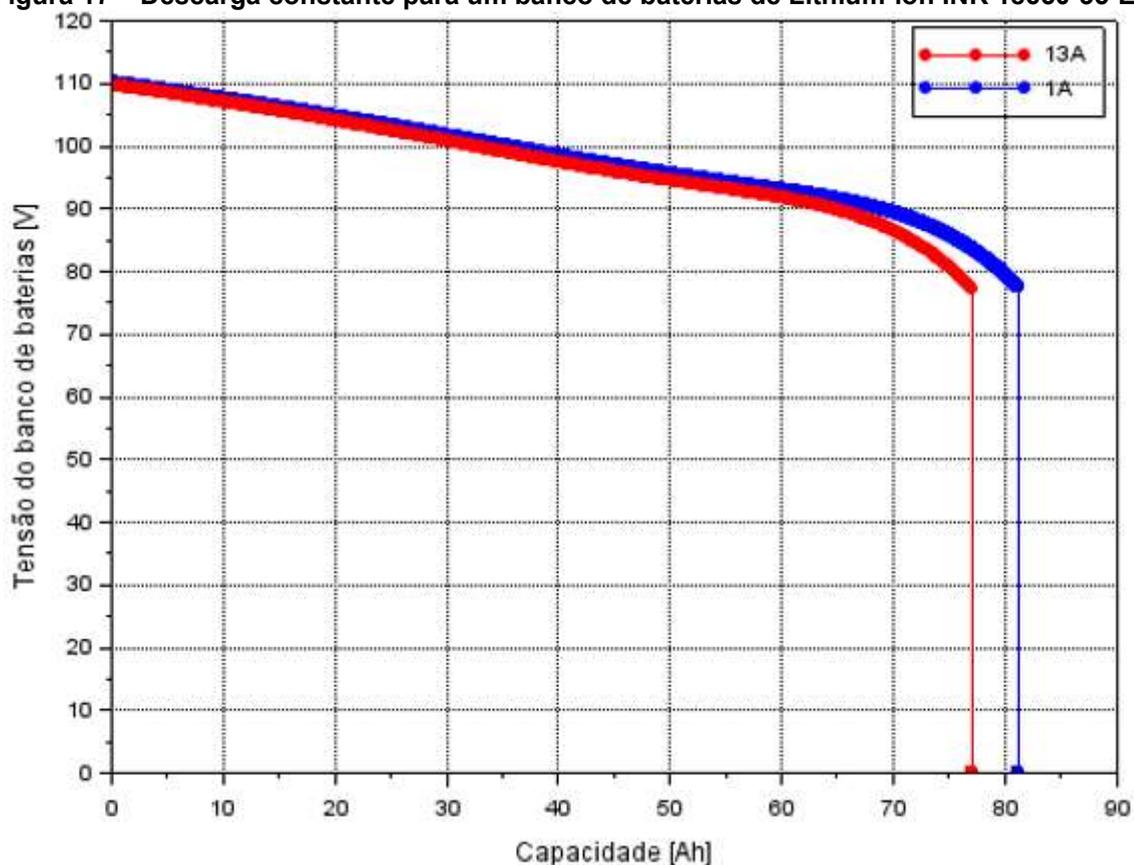
$$Peu_{cap} = I_d^k * T_{dc} = 82,03 Ah \quad (26)$$

Agora se pode usar a Equação (26), reorganizada, para encontrar o tempo que a bateria durará para qualquer corrente de descarga, conforme equação (27).

$$T_{dc} = \frac{Peu_{cap}}{I_d^k} \quad (27)$$

A Figura 17 mostra como a capacidade é afetada para uma descarga constante se a carga for removida mais rapidamente ou mais lentamente.

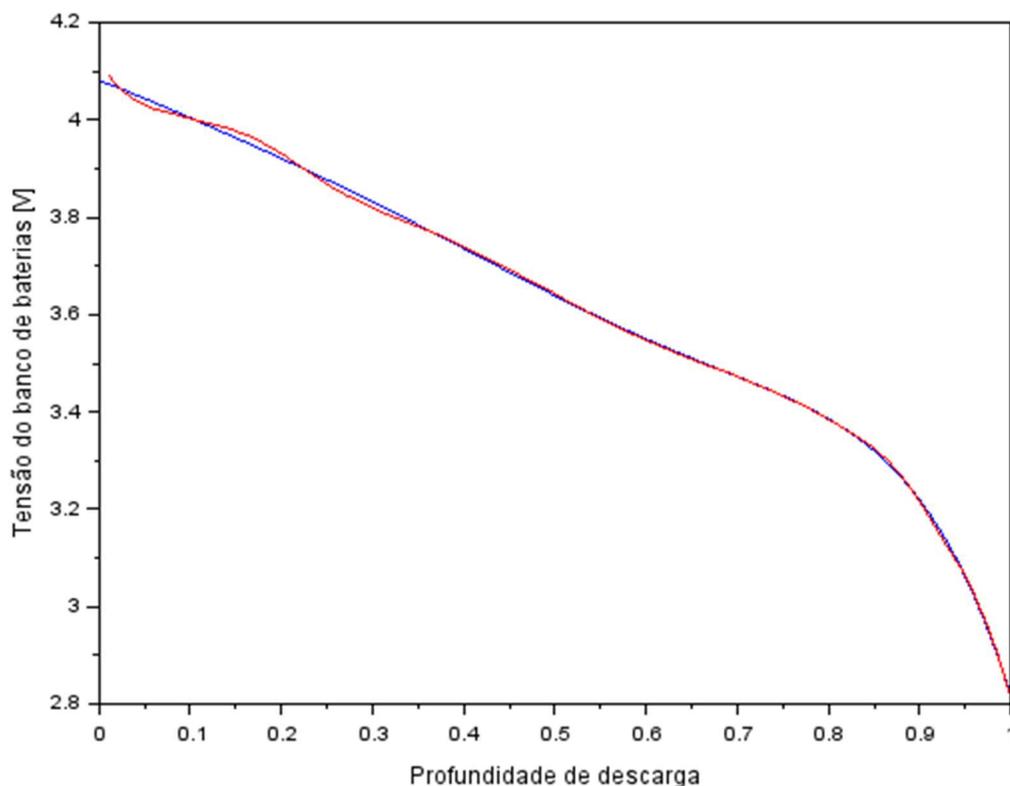
Figura 17 – Descarga constante para um banco de baterias de Lithium-ion INR 18650-35-E



Fonte: Elaboração própria (2022).

Pode-se notar na Figura 17 que quanto maior for a corrente de descarga menor será a capacidade em Ah e conseqüentemente menor será a autonomia.

Obtidas essas informações, é possível encontrar a profundidade da descarga da bateria de uma célula, por meio do Apêndice (E) referente a um ciclo Na Figura 18 está representada a tensão em função da profundidade de descarga de uma célula, onde a linha azul é referente aos dados do fabricante e a linha em vermelho referente ao modelo do ciclo de teste.

Figura 18 – Profundidade de descarga de uma célula

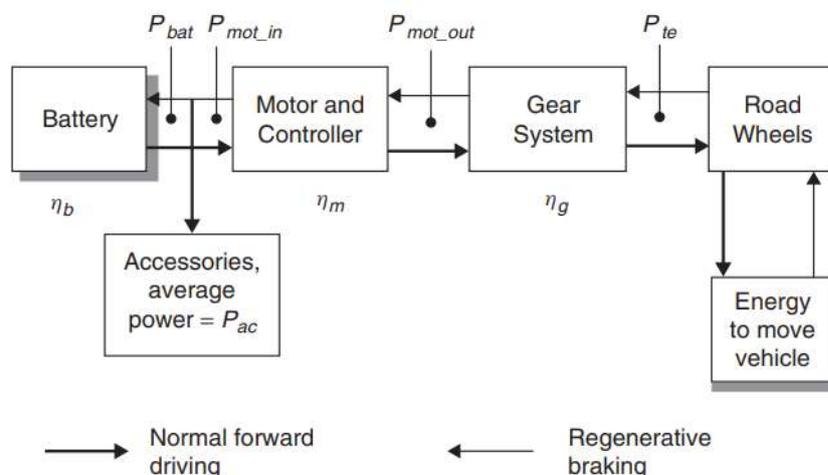
Fonte: Elaboração própria (2022).

Assim, o programa principal apresentado no apêndice (D) importa informações do apêndice (F) tensão de circuito aberto, que aplica a equação para a tensão de circuito aberto considerando a profundidade de descarga da bateria de Lithium-ion e atualiza a variação da tensão do circuito aberto para cada ciclo.

4.2.3 A potência e a energia consumida

Os fluxos de energia em um veículo elétrico à bateria são mostrados na Figura 19.

Figura 19 – Fluxo da energia em um modelo clássico de bateria de um veículo elétrico



Fonte: LARMINIE e LOWRY (2012)

Para que se possa prever o alcance, calcula-se o ciclo da energia necessária para mover o veículo para cada segundo da condução, repete-se esse processo até que a bateria esteja descarregada.

Nesse caso, considerando-se que foram usados intervalos de tempo de 1 segundo, a potência e a energia consumida são iguais.

Assim, o ponto de partida nestes cálculos é encontrar o esforço de tração, que é encontrado na Equação 7.

A potência é igual ao esforço de tração multiplicado pela velocidade.

Usando as várias eficiências no diagrama de fluxo de energia, pode ser calculada a energia necessária para mover o veículo por 1 segundo. A energia necessária para mover o veículo por 1 segundo é a mesma que a potência, então a energia necessária a cada segundo é igual a $P_{te} = F_{te} \times v$, representado na Equação 10.

Em vista disso, para se encontrar a energia retirada da bateria para fornecer essa energia na estrada, evidente que é necessário encontrar as várias eficiências em todos os pontos de operação.

Desse modo, a eficiência do sistema de engrenagens (η_g) foi assumida como constante, pois no modelo há apenas uma marcha. A eficiência é normalmente alta, visto que o sistema de engrenagens é simples.

Além disso, as eficiências do motor e de seu controlador foram consideradas em conjunto, a eficiência do motor varia consideravelmente com a

potência, torque e também com o tamanho do motor. A eficiência foi modelada com o auxílio da Equação 28:

$$\eta_m = \frac{T_\omega}{T_\omega + k_c T^2 + k_i \omega + k_w \omega^3 + C} \quad (28)$$

Onde a potência de saída é T_ω (torque vezes velocidade em rad/s), a Potência de entrada é $P_{saída}$ mais Perdas, onde Perdas são modeladas por 4 coeficientes: k_c é o coeficiente de perdas no cobre, k_i é o coeficiente de perdas no ferro, k_w é o coeficiente de perdas por atrito e ventilação e C é uma constante de perdas para qualquer ponto de torque e velocidade ela está presente. Essas constantes foram calculadas por meio de uma regressão polinomial múltipla, considerando os valores fornecidos pelo catálogo do fabricante (Tabela 3). Os coeficientes utilizados para o motor são:

Tabela 7 – Valores dos coeficientes do motor

| Ciclos de ensaios | | |
|--------------------------|-----------|-----------------------|
| Variável | Valor | Coeficiente de perdas |
| C | 44.031102 | Motor |
| k_i | 0.012900 | Ferro |
| k_w | 0.000002 | Ventilação |
| k_c | 1.613871 | Cobre |

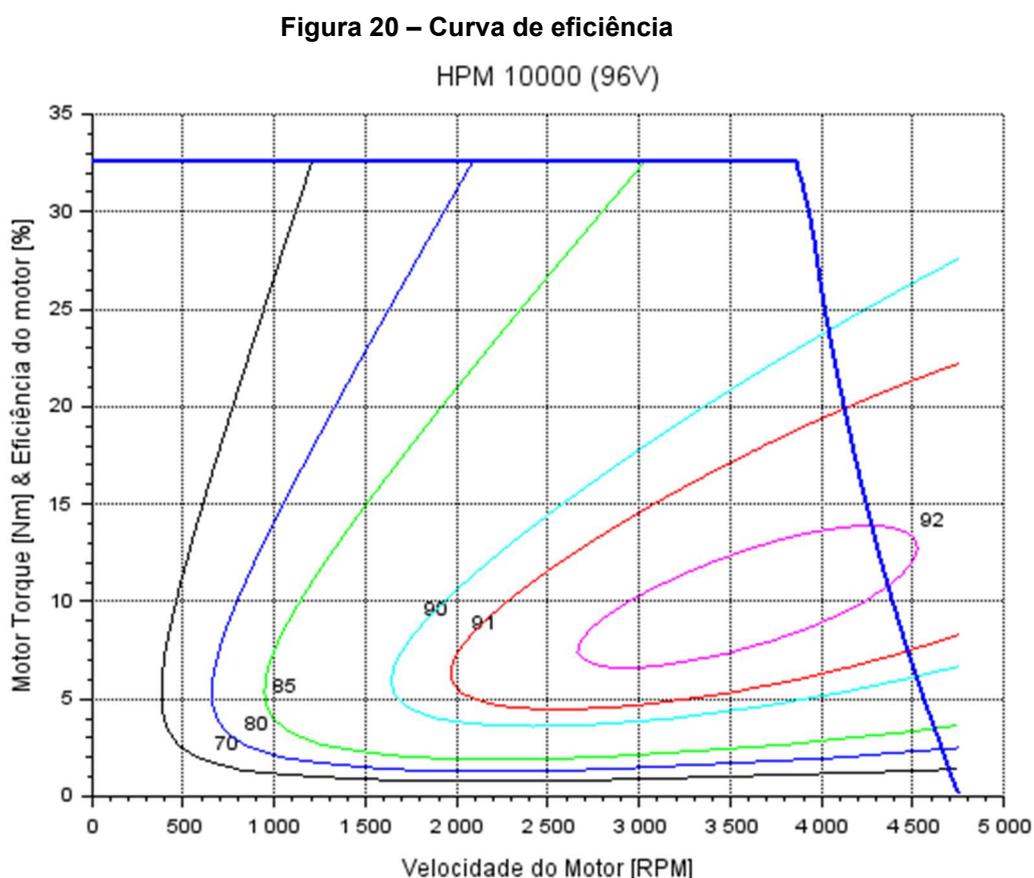
Fonte: Elaboração própria, 2022.

As ineficiências do motor, do controlador e do sistema de engrenagens significam que a potência não é a mesma que a potência de tração, e a potência elétrica exigida pelo motor é maior do que a potência de saída mecânica.

Perceba que ao utilizar a equação (28) de rendimento do motor, para qualquer valor de entrada de torque e velocidade, pode-se calcular a eficiência do motor, ou seja, dentro do “driving Schedule” é possível calcular a potência de entrada exigida pela bateria. Em função de diferentes pontos de aceleração, novos valores de torque e velocidade são necessários para o motor e assim diferentes valores de potência são exigidos pela bateria.

Para conferir a modelagem das constantes de perdas, utiliza-se a equação (28) para calcular a eficiência considerando diferentes valores de torque e velocidade

de entrada. Os resultados são mostrados na Figura (20), onde se apresenta seis curvas de contorno de eficiência ($eff = f(T,N)$). A curva destacada em azul é a curva de torque VS velocidade do motor fornecida pelo catálogo do fabricante (Tabela 3). Ao comparar com a eficiência apresentada pela Tabela 3, nota-se que o ponto de maior eficiência seria o ponto número 11 de eficiência 92%, de 15,220 Nm e 4238 RPM. Os resultados estão muito próximos ao apresentado pelo fabricante, demonstrando uma correta abordagem na regressão polinomial utilizada.



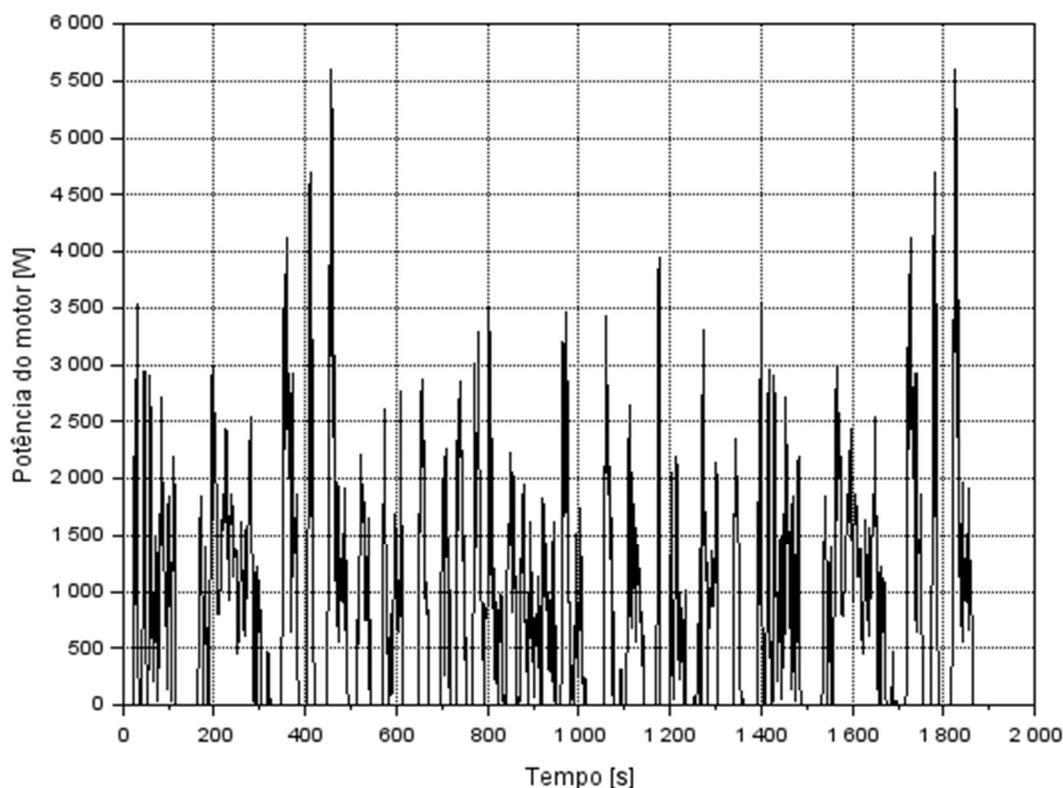
Fonte: Elaboração própria, 2022.

4.3 Resultados obtidos com a aplicação dos ciclos de ensaios

Com a aplicação dos ciclos de ensaio pode-se encontrar os resultados apresentados a seguir.

A Figura 19 ilustra a potência do motor em função do tempo, aplicando os testes e considerando uma inclinação de 0°. Como se observa, durante o ciclo FTP padrão, a potência máxima exigida do veículo será de 5,5 kW. Assim, verifica-se que essa potência está abaixo da potência nominal que o motor pode fornecer.

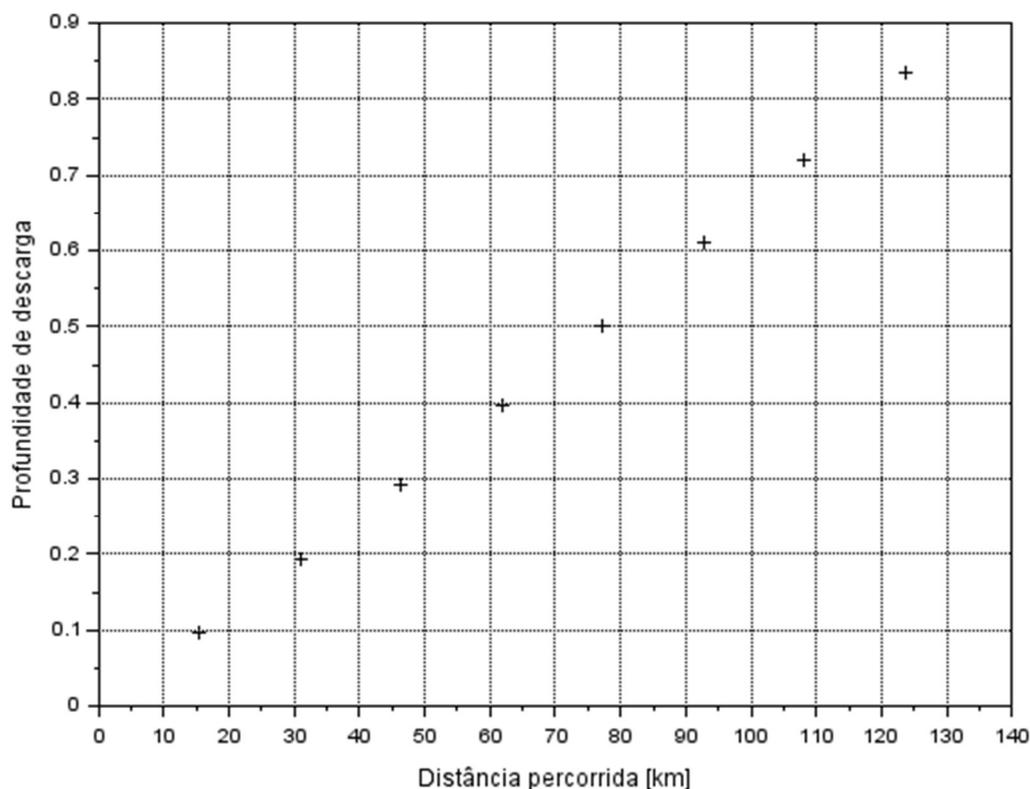
Figura 21 – Potência do motor em função do tempo para uma inclinação de 0°



Fonte: Elaboração própria (2022).

Para que se verifique a distância que a motocicleta poderá alcançar antes da bateria estar descarregada, faz-se um processo passo a passo ao longo do ciclo de condução, obtendo-se um gráfico que relaciona a profundidade de descarga e a distância percorrida pelo veículo com a bateria estipulada, conforme a Figura 20. Cada ponto presente na figura representa um ciclo do *drive schedule*. Para os dados fornecidos ao *software* e o ciclo escolhido, a bateria adotada, quando estiver 80% descarregada, terá atingido uma autonomia de aproximadamente 120 km.

Figura 22 – Profundidade de descarga em função da distância percorrida para a inclinação de 0°



Fonte: Elaboração Própria (2022).

Diante disso, observa-se que a modelagem da conversão corresponde aos parâmetros técnicos, não ultrapassando a potência nominal que pode ser fornecida pelo motor, bem como a bateria calculada atenderá a quilometragem desejada.

Resultados para diferentes inclinações são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados para diferentes inclinações

| Ciclos de ensaios | | |
|-------------------|---------------|----------------------|
| Inclinação | Autonomia(km) | Potência do motor(W) |
| 0° | 120 | 5500 |
| 5° | 45 | 8500 |

Fonte: Elaboração própria, 2022.

De acordo com a Tabela 8, fica claro a influência negativa na autonomia para um percurso longo com uma inclinação constante, quanto maior for a porcentagem dessa inclinação menor será a autonomia do veículo e mais potência será exigida da motorização.

5 VIABILIDADE ECONÔMICA

O presente capítulo pretende analisar a estimativa de custos da conversão da motocicleta, fazendo um comparativo econômico entre a motocicleta à combustão e a motocicleta convertida.

5.1 Custos para a realização da conversão

Os gastos para a realização da conversão estão previstos na Tabela 9.

Tabela 9 – Custos para conversão da motocicleta

| Custos - Motocicleta elétrica | |
|---------------------------------------|----------------------|
| Componentes | Preço (R\$) |
| Células da bateria | R\$ 5.762,88 |
| Motor | R\$ 4.045,83 |
| Controlador | R\$ 3.350,05 |
| Conversor | R\$ 46,33 |
| Sistema de gestão da bateria | R\$ 4.586,99 |
| Carregador | R\$ 2.906,81 |
| Valor dos equipamentos para conversão | R\$ 20.698,89 |
| Valor motocicleta nova | R\$ 14.620,00 |
| Total | R\$ 35.318,89 |

Fonte: Elaboração própria, 2022.

Desse modo, considerando-se que foi escolhida a motocicleta Honda CG 160, que original de fábrica, custa, atualmente, R\$14.620,00, o custo total para a realização da conversão, desconsiderando-se a mão de obra e o frete da entrega dos componentes, será de R\$35.318,89.

Como se vê, o custo para conversão da motocicleta mostra-se bastante superior ao preço da motocicleta à combustão escolhida, entretanto, como se verá no próximo subtítulo, o custo por quilômetro percorrido pela motocicleta elétrica é muito mais baixo que o da motocicleta original.

5.2 Comparação econômica entre desempenho da motocicleta original e da motocicleta convertida

Para realização da comparação econômica do desempenho da motocicleta original e da motocicleta convertida deve-se analisar a distância média percorrida mensalmente. Para o presente caso assumiu-se o quantitativo de 1000 km por mês.

Assim, para se obter o custo anual de consumo de combustível do veículo original deve-se multiplicar a distância média percorrida mensalmente (1000 km), vezes os meses do ano (12 meses) , vezes o consumo médio de combustível que se refere a 25 litros de gasolina, vezes o preço médio de combustível, em setembro de 2022, de R\$ 4,81 (G1, 2022), conforme na equação (28):

$$1000 \times 12 \times 25 \times 4,81 = \text{R\$ } 1.443,00 \quad (28)$$

Já, para estipular o custo anual do consumo de energia do veículo convertido deve-se multiplicar a distância média percorrida mensalmente (1000 km), vezes os meses do ano (12 meses) , vezes o consumo médio de energia para percorrer a distância estipulada que se refere a 41,5 kWh, vezes o preço da tarifa de energia de R\$ 0,57 por kWh, conforme equação (29):

$$1000 \times 12 \times 41,5 \times 0,57 = \text{R\$ } 283,86 \quad (29)$$

Logo, de acordo com o que se observa, o custo para percorrer o percurso de 1000 km por mês revela-se muito mais econômico se realizado com a motocicleta elétrica convertida, tendo-se com isso o gasto mensal de aproximadamente de R\$ 23,66, enquanto que o gasto com combustível para o mesmo trajeto seria de R\$ 120,25. É que se observa nas Tabelas 10 e 11.

| Consumo anual gasolina | |
|-------------------------------------|----------------|
| Quilômetros rodados mensal (km) | 1000 |
| Autonomia Cg 160cc (km/L) | 40 |
| Valor da gasolina (R\$/L) | 4,81 |
| Consumo Total mensal (L) | 25 |
| Valor do consumo mensal (R\$) | 120,25 |
| Valor do consumo anual (R\$) | 1443,00 |

Fonte: Elaboração própria (2022).

Tabela 11 – Consumo anual elétrico

| Consumo anual elétrico | |
|--|---------------|
| Quilômetros rodados mensal(km) | 1000 |
| Energia elétrica consumida em 100 km (kWh) | 4,15 |
| Valor do kWh (R\$/kWh) | 0,57 |
| Consumo Total mensal (kWh) | 41,5 |
| Valor do consumo mensal (R\$) | 23,66 |
| Valor do consumo anual (R\$) | 283,86 |

Fonte: Elaboração própria (2022).

No entanto, este não pode ser o único parâmetro para se verificar a viabilidade da conversão, visto que para a realizar a conversão um alto custo deve ser desembolsado, sendo assim, para verificar se essa conversão trará benefícios econômicos é necessário verificar a amortização do investimento será restituído e em quanto tempo.

Assim, calculando-se o *payback* do investimento realizado para a conversão. Verificou-se, em uma situação em que foi considerada a desvalorização do dinheiro no tempo para uma inflação de 8,9% prevista para o ano de 2022 (VALOR INVESTE, 2022), e o retorno do investimento se daria em 17 anos e 9 meses e meio, o que se observa no Tabela 12.

Tabela 12 – Retorno do investimento para a conversão para quem roda 1000km por mês

| Veículo a combustão | | | |
|--|--------------|-----------------------|-------------------|
| Consumo de combustível anual (L) | Custo Ano | Custo Mês | Valor da gasolina |
| 300 | R\$ 1.443,00 | R\$ 120,25 | R\$ 4,81 |
| Veículo elétrico | | | |
| Consumo de energia anual(kWh) | Custo Ano | Custo Mês | Tarifa |
| 498 | R\$ 283,86 | R\$ 23,66 | R\$ 0,57 |
| Economia Mês | | Economia anual | |
| R\$ 96,595 | | R\$ 1.159,140 | |
| | | TMA(a.a) | |
| | | 8,73% | |
| O projeto deve proporcionar uma redução Mensal no valor de R\$ 96,59 | | | |
| Payback Descontado | | 17,9 | anos |

Fonte: Elaboração própria (2022).

Em vista disso, obtém-se que conversão pretendida não demonstra vantagens econômicas, visto que apesar de representar uma significativa diminuição dos gastos mensais para condução, esta economia só pagaria o investimento despendido para conversão depois de aproximadamente 18 anos.

No entanto, é importante simular outras situações para se verificar o tempo de estorno do dinheiro investido na conversão, considerando um uso maior da motocicleta, resultando em um tempo de *payback* menor. Para isso, foi realizada análise de custos para situações em que o motorista percorre 1500 km e 2000 km mensais, como pode se observar a Tabela 13.

Tabela 13 – Viabilidade conforme a quilometragem mensal rodada

| Viabilidade de acordo com a quilometragem mensal rodada | | | |
|---|---------------------|-------------------|------------------|
| | Quilômetros mensais | | |
| | 1000 km | 1500 km | 2000 km |
| Gasolina mensal | 25 L | 37,5 L | 50 L |
| Energia elétrica mensal | 41,5 kWh | 62,25 kWh | 83 kWh |
| Gasolina anual | 300 L | 450 L | 600 L |
| Energia elétrica anual | 498 kWh | 747 kWh | 996 kWh |
| Custo anual de gasolina | R\$ 1.443,00 | R\$ 2.164,50 | R\$ 2.886,00 |
| Custo anual de energia elétrica | R\$ 283,86 | R\$ 425,79 | R\$ 567,72 |
| Economia anual | R\$ 1.159,14 | R\$ 1.738,71 | R\$ 2.318,28 |
| Economia Mensal | R\$ 96,59 | R\$ 144,89 | R\$ 193,19 |
| Retorno do investimento | 17 anos e 9 meses | 11 anos e 9 meses | 8 anos e 9 meses |

Fonte: Elaboração própria (2022).

Conforme pode se observar, mesmo com um percurso mensal de 1500 km o conversão não se mostra viável, visto que o tempo de *payback* é de 11 anos e 9 meses, já quando utilizado o parâmetro de 2000 km mensais, a conversão se mostra mais vantajosa, pois apresenta um tempo de *payback* de 8 anos e 9 meses, tendo em vista o tempo estimado de vida útil da bateria de 10 anos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho buscou-se fazer uma análise geral sobre os aspectos técnicos e econômicos para conversão de uma motocicleta à combustão em elétrica.

Assim, num primeiro momento foi apresentado o histórico do desenvolvimento das motocicletas à combustão, e em seguida um apanhado geral sobre seus principais componentes. Fazendo-se um contraponto com isso, mostrou-se os principais componentes de uma motocicleta elétrica.

Desse modo, visando verificar a viabilidade técnica do projeto de conversão, iniciou-se pela escolha de um modelo de motocicleta, tendo sido escolhida a CG 160 Titan da Honda, por ser o modelo mais popular no Brasil.

Partindo das especificações técnicas da motocicleta original, passou-se a examinar as possíveis escolhas de componentes para substituição na conversão. Iniciando pela escolha do motor elétrico, optou-se por um motor de corrente contínua sem escovas, visto que é o que mais atende a especificações pretendida, sem contar que é motor mais utilizado pelos fabricantes de motocicleta elétricas. Logo o modelo escolhido foi o motor BLDC Motor Liquid Cooler de 10 K kW, da Golden Motors.

Após, verificou-se a escolha do controlador, elegendo-se o inversor modelo VEC500, da fabricante Golden Motors, considerando-se que este foi o modelo usado para os testes do motor pelo fabricante.

Nesse diapasão, também foi feita a escolha da bateria, tendo-se decidido pela bateria recarregável de íon-Lítio Samsung Inr18650-35e, bem como o sistema de gestão dessa bateria, optando-se pelo modelo Orion BMS 2, já que fora desenvolvido especificamente para veículos elétricos, além de ser adequado para gestão das 27 células de bateria, calculadas para suprir a demanda pretendida na conversão da motocicleta. E, ainda, foi selecionado sistema de carregamento dessas baterias como o modelo de carregador de bateria de lítio HK-H-H132-16, com corrente máxima de saída de 34-132VCC, hardware 96 V 16 A. Por fim, para alimentar o sistema de 12 Vcc, foi escolhido o conversor modelo HY- J1351205GL1, marca HYC O, corrente de saída de 5 A MAX.

Feita a escolha dos modelos para a conversão, foi necessária a realização de testes para verificar os limites específicos na conversão, por meio de ciclos de ensaio, tendo-se optado pelo *software* Scilab para implementação dos programas de simulação. Todos os objetivos pretendidos para a conversão foram alcançados. Pretendia-se que o veículo tivesse uma autonomia de 100km e velocidade máxima de

120km/h. Com os equipamentos utilizados atinge-se uma autonomia de 120km, velocidade máxima de 110km.

Do ponto de vista da viabilidade econômica, a conversão se mostrou inviável diante do percurso mensal estipulado de 1000km, visto que o tempo do retorno do investimento, nesse caso, ultrapassa 17 anos, o mesmo pode ser observado quando o percurso mensal é de 1500km, em que o tempo de *payback* é mais do que 11 anos. Assim, a conversão só se mostra viável quando o trajeto mensal é de 2000 km, visto que esse tempo diminui para 8 anos.

A situação econômica se mostrou de tal forma, em vista que os elementos escolhidos são todos importados, já não foram encontrados na indústria brasileira protótipos nos moldes estipulados para esta conversão, o que implica em um alto custo a ser dispendido para sua aquisição diante da alta do dólar.

Outro fator que também implicou em tal situação é o valor atual da gasolina que se encontra em baixa.

Portanto, com o emprego da metodologia adotada, a conversão da motocicleta mostrou-se factível, sendo alcançado os objetivos estipulados por meio das substituições de peças e mecanismos para tal finalidade. Apesar disso, ainda assim, na realidade atual do Brasil, uma conversão nesses moldes revela-se inexequível sob o ponto de vista econômico.

REFERÊNCIAS

ALVES, Jeferson Tondo. **Veículos elétricos: difusão no mercado brasileiro e mundial, cenários e perspectivas de crescimento**. 2014. 137 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Industrial). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

ARAÚJO, Rui Jorge Fernandes. **Desenvolvimento de uma Bicicleta Elétrica**. 2012. 141 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Eletrônica e de Computadores) Universidade do Minho, Guimarães, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FABRICANTES DE MOTOCICLETAS, CICLOMOTORES, MOTONETAS, BICICLETAS E SIMILARES. Disponível em: <https://www.abraciclo.com.br/site/resumo/>. Acesso em: 13 de jul. de 2021.

BARAN, Renato; LEGEY, Luiz Fernando Loureiro. Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 33, p. 207-224, mar. 2011.

BENTO, João Paulo Moreira. Análise da viabilidade de adaptação de motores elétricos de cubos de rodas traseiros de veículos de passeio. 2015. 88 f. Monografia (Graduação em Engenharia Automotiva). Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

BOTELHO, Paulo Jorge Fernandes. **A expansão do veículo elétrico em Portugal**. 2015. 46 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Estratégia Industrial). Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.

BOTTURA, Celso Pacoli. BARRETO, Gilmar. **Veículos elétricos**. Campinas: UNICAMP, 1989.

BRUNETTI, Franco. **Motores de combustão interna**. São Paulo: Blucher, 2018.

CHAGAS, Marcos W. P. NOVAS TECNOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DE BATERIAS. 2007. 97 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Desenvolvimento de Tecnologia). IEP/LACTEC, Curitiba, 2007.

CODY, J. et al. Regenerative Braking in a Electric Vehicle. Disponível em: http://www.komel.katowice.pl/ZRODLA/FULL/81/ref_20.pdf. Acesso em 30 dez. 2021.

COSTA, Jorge David Ferreira de. **Scooter elétrica - Implementação de um Controlador para motores BLDC**. 2014. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica e Telecomunicações). Universidade de Aveiro, Aveiro, 2014.

CORRÊA, Fernanda Cristina. **Desenvolvimento e análise de estratégias de gerenciamento de potência em veículo elétrico híbrido de configuração paralela**. 2013. 159 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas: Campinas, 2013.

DREHER, Jacson Rodrigo. ROSA, Arthur da. **Frenagem Regenerativa Aplicada em Motores Brushless DC Utilizados em Veículos Elétricos**. 2014. Instituto Federal de Santa Catarina.

EPA, United States Environmental Protection Agency. Dynamometer Drive Schedules. Disponível em: <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>. Acesso em: 09 ago. 2022.

FIGUEIRÊDO, CRISTIANE FÁTIMA; MAIA, MARIA LEONOR ALVES. **O uso da motocicleta e a inclusão social**. Disponível em: <http://files-server.antp.org.br/5dotSystem/download/dcmDocument/2013/10/07/3B55590A-BAC7-4FCE-BC04-4AD816344055.pdf>. Acesso em: 13 de jul. de 2021.

FIN, Éverson. **Projeto de veículo ciclo-elétrico de duas rodas conceito para a mobilidade urbana na cidade de Lajeado**. 192 f. 2017. Projeto de Monografia (Curso de Design). Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2017.

FERNANDES, Camila Barreto. **Inversores para veículos elétricos: aplicação do controle vetorial sem sensor para um motor de indução**. 63 f. 2015. Projeto de Graduação (Curso de Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

FREITAS, Joaquim Carlos Novais de. **Projeto e análise ao funcionamento de carros elétricos**. 2012. 201 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) Universidade do Minho, Guimarães, 2012.

G1. Preços médios da gasolina, etanol e diesel têm queda acima de 1% na semana, segundo dados da ANP. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2022/09/30/precos-medios-da-gasolina-etanol-e-diesel-caem-na-semana-segundo-dados-da-anp.ghtml>. Acesso em: 05 out. 2022.

GOLDEN MOTORS. 10 kw bldc motor liquid cooled. Disponível em: <https://goldenmotor.bike/product/48-volt-10kw-bldc-motor-liquid-cooled/>. Acesso em: 05 out. 2022.

GONZALES, Vitor Paulino. **Projeto de uma bicicleta elétrica**. 66 f. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

HART, Daniel W. **Eletrônica de potência**. Porto Alegre: AMGH, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS - IBGE. Frota de Veículos. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/pesquisa/22/28120?tipo=grafico&indicador=28128>. Acesso em: 13 de jul. de 2021.

LAFUENTE, CÉSAR ORELLANA. Carregador de baterias monofásico para aplicação em veículos elétricos. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/1392/3/2011_dis_colafuente.pdf. Acesso em: 13 de jul. de 2021.

LOUREIRO, Luís Filipe Martins. **Conversão de uma moto 4 TRX 250 da Honda em elétrica**. 2012. 99 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012.

PASSOS, Ian Eira Versiani. **Análise de desempenho de um motor de combustão interna de uma motocicleta com o uso de mistura combustível-hidrogênio**. 2017. 87 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

MACHADO, Felipe Ferraz. **Análise de políticas públicas para a inclusão do automóvel elétrico no Brasil**. 2015. 130 f. Dissertação (Pós-Graduação em Energia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

NOCE, Toshizaemom. **Estudo do Funcionamento de veículos elétricos e contribuições ao seu aperfeiçoamento**. 2009. 129 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica). Pontífica Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

REVOREDO, Téo Cerqueira. **Modelagem e gerenciamento de potência de um veículo elétrico híbrido de célula a combustível**. 2007. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2007.

RODRIGUES, Julio Cesar Bortolini. **Desenvolvimento do sistema de tração para veículos elétricos – tração dianteira in-wheel**. 2017. 104 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Eletrônica). Universidade Tecnológica do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

SANTOS, Max Mauro Dias. **VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS - FUNDAMENTOS, CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES**. São Paulo: Érica, 2020.

SARAIVA, Igor Bentes. **Estudo de Projeto de Motocicleta elétrica**. Projeto de graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL DO RIO DE JANEIRO. **Mecânica de Motocicletas**. Rio de Janeiro, 2002.

SINDICATO NACIONAL DA INDUSTRIA DE COMPONENTES PARA VEÍCULOS AUTOMOTORES – SINDIPEÇAS. Disponível em: https://www.sindipecas.org.br/sindinews/Economia/2021/RelatorioFrotaCirculanteMarco_2021.pdf. Acesso em: 13 de jun. de 2021.

SIQUEIRA, D. S.; ANDRADE, D. A. Projeto e Simulação da Operação de um Motor de Corrente Contínua Sem Escovas. In: XII Seminário de Iniciação Científica. Uberlândia, 2008. Universidade Federal de Uberlândia.

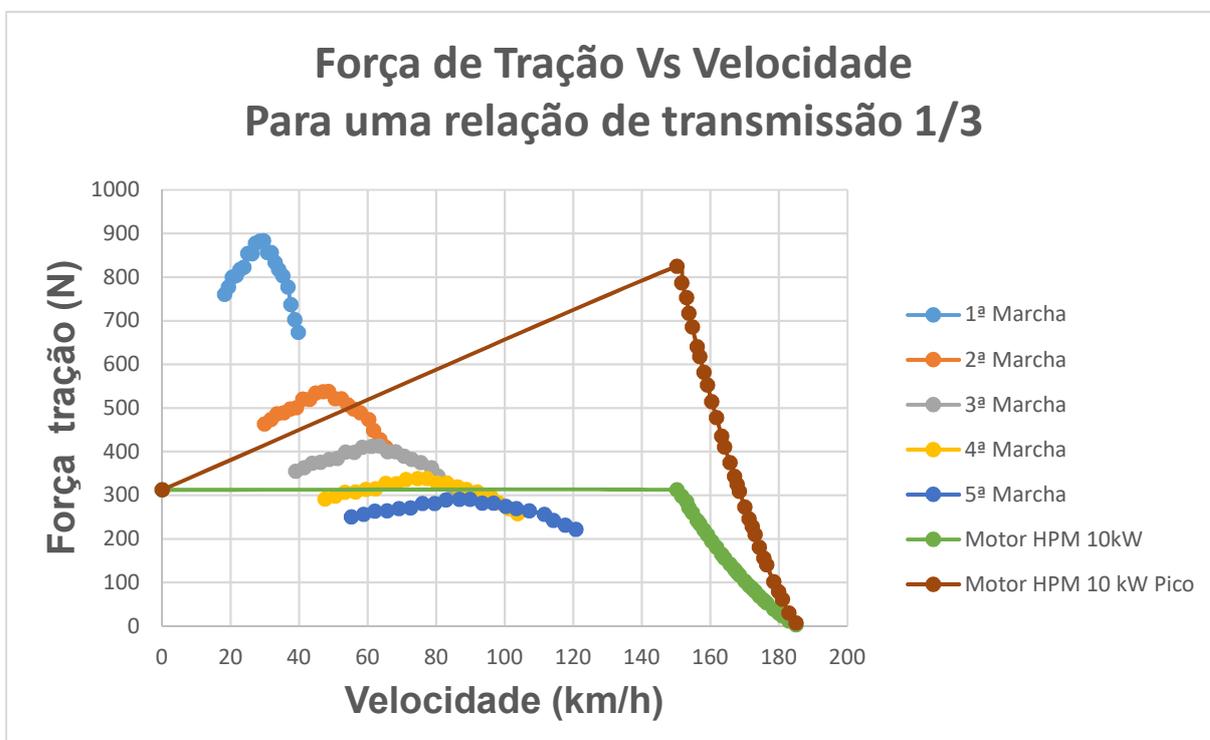
SZAWARCFITER, Lila. **Opções para o aprimoramento de emissões de poluentes atmosféricos por veículos leves no Brasil: Uma avaliação do potencial de programas de inspeção e manutenção e de renovação acelerada da frota.** 2004. 275 f. Tese (Pós-Graduação de Engenharia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

TILLMANN, Carlos Antonio da Costa. **Motores de Combustão interna e seus sistemas.** Pelotas: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia; Rede e-Tec Brasil, 2013.

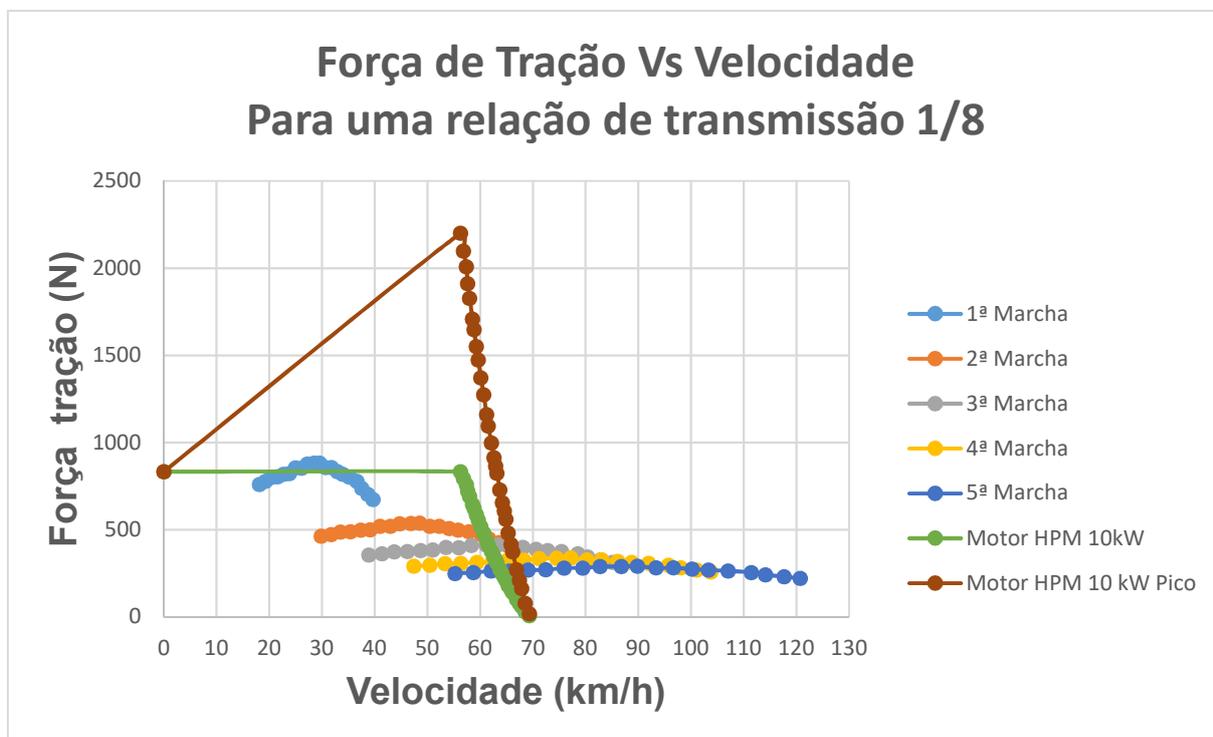
VASCONCELOS, Fábio Dinarte Fernandes. **Projeto de uma Mota Elétrica.** 2019. 137 f. Projeto de mestrado (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e Telecomunicações). Universidade de Madeira, Madeira, 2019.

WALTRICH, Gierry; HELDWEIN, Marcelo L. **Modeling and simulation of electric vehicles (EVs) and design of batteries for EVs.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

APÊNDICE A – Força de Tração vs Velocidade para uma relação de 1/3 para o motor elétrico em comparação as curvas de desempenho para cada marcha da cg 160 original.



APÊNDICE B – Força de Tração vs Velocidade para uma relação de 1/8 para o motor elétrico em comparação as curvas de desempenho para cada marcha da cg 160 original.



APÊNDICE C – importar_ciclo_de_ensaio

```
//A baixo esta o link com os diversos ciclos de ensaios
// https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules
// após realizar o dowload ele é importado utilizando o codgo a baixo
```

```
A= fscanfMat('ftpmc1b.txt');// O arquivo em txt se refere ao ciclo
//de ensaio são os valores de tempo e a velocidade muitas vezes de estradas reais
t = A(:,1) // tempo em s
// importa o arquivo texto com os dois vetores de tempo em função da velocidade
V = A(:,2) // velocidade em km/h
clear A
```

```
// Aceleração inicial de 0 a 80 km/h em 10 s até atingir velocidade de cruzeiro de 65 km/h
//V(1) = 0;
//t(1) = 0;
//for i = 1:1000
// t(i+1) = i;
// V(i+1) = 8*i + V(i);
// if V(i+1)>65
// V(i+1)=65;
// end
//end
```

```
scf(0)
plot(t,V)// O grafico irá plotar a velocidade em função do tempo,
//esse é o ciclo que o programa reproduzira varias vezes até que a bateria zere
set(gca(),"grid",[1 1])
ylabel('Velocidade [km/h]');
xlabel('Tempo [s]');
```

APÊNDICE D – Honda_cg160

```
exec('importar_ciclo de_ensaio.sce',-1); // Importar os valores de velocidade km/h
exec('open_circuit_voltage n.sce', -1)
```

```
N=length(V); // O tamanho do vetor v de velocidades que tem no ciclo escolhido
V=V./3.6; // conversão para m/s
```

```
// Especificações do veículo elétrico convertido
```

```
rpneu = 0.6172/2; // raio do pneu traseiro
mmax = 278; // Massa máxima do veículo (piloto, passageiro, bagagem e acessórios)
Ka = 0.156; //coeficiente de arrasto (kg/m) eq 4
Vw = 2.778; // velocidade do vento frontal 10 k/h para m/s)
```

```
Gratio = 56/11; // Relação coroa pinhão
G_eff = 0.98; // eficiência da transmissão citada na eq 14
Regen_ratio = 0,001; //proporção de energia recuperada na frenagem que é feita regenerativamente
```

```
// Np- Numero de células em paralelo NS- em série
```

```
Np = 23; // eq 20
```

```
Ns = 27; // eq 16
```

```
Capacity=3.350*Np; // Esta é a capacidade nominal normal do pack de baterias eq.25
k=1.02; // coeficiente de Peukert.Eq 26
```

```
Pac=0.1; // O sistema elétrico original para alimentação da iluminação será mantido
```

```
//// Estas são as constantes para a eficiência do motor
```

```
C = 44.031102; // Para perdas constantes do motor
```

```
ki = 0.012900; // Para perdas de ferro
```

```
kw = 0.000002; // Para perdas de vento
```

```
kc = 1.613871; // Para perdas de cobre
```

```
inclinacao = 0; // inclinação utilizar para os driving schedules citada na eq.1
```

```
// Algumas constantes que são calculadas.
```

```
Fr=0.02*mmax*9.807*cos(inclinação*%pi/180); // Eq 2
```

```
Fg = mmax*9.807*sin(inclinação*%pi/180); // Eq 5
```

```
Rin= (0.0990109/Capacity)*Ns; // Resistencia interna, depende da capacidade da bateria eq 23
```

```
//durante a execução do programa ela varia
```

```

Rin = Rin + 0.004; //resistência dos cabos de conexão
Tdes = 3.35; // Tempo de descarga em horas. eq 25
PeuCap= ((Capacity/Tdes)^k)*Tdes; // capacidade Peukert, essa equação faz a simulação da
descarga da bateria e ela tbm varia conforme a execução do programa e.q. 26
// Configura arrays para armazenar dados para bateria,
// e distância percorrida. Tudo definido para zero no início.
// Esses primeiros arrays são para armazenar os valores em
// fim de cada ciclo.
// Vamos supor que não mais do que 100 de qualquer ciclo é
// concluído. (Se houver, uma mensagem de erro será
// exibido e podemos ajustar esse número.)
DoD_end = zeros(1,100);
CR_end = zeros(1,100);
D_end = zeros(1,100);

// Agora precisamos de arrays semelhantes para uso em cada ciclo.

DoD=zeros(1,N); // Profundidade de descarga
CR=zeros(1,N); // carga removida da bateria em função do modelo de Peukert
// corrigido
D=zeros(1,N); // .
CY=1;
// CY controla o loop externo e conta o número
// de ciclos concluídos. Continua até
// a bateria está descarregada. Isso nós definimos como sendo mais do que
// 80% descarregado. Ou seja, DoD final > 0,8.
// a variável DD monitora a descarga,
// para parar o loop

DD=0; // Inicialmente zero por cento de descarga da bateria
// vai rodar o programa até .
while DD < 0.8 // no caso escolhido rodar o programa até a bateria chegar a 80 % de
descarga
    // Começo de um ciclo.*****
    // Chama o arquivo de script que executa um
    // ciclo completo.
    exec('Um_ciclo.sce',-1)
    //Um ciclo completo feito.
    // Agora atualiza os valores do fim de ciclo.
    DoD_end(CY) = DoD(N); //atualiza qual o valor de descarga
    CR_end(CY) = CR(N);//
    D_end(CY) = D(N);
    // Agora redefine os valores desses arrays "internos"
    // pronto para o próximo ciclo. Eles devem começar
    // de onde eles pararam.
    DoD(1)=DoD(N);

```

```

CR(1)=CR(N);
D(1)=D(N);
//atualiza(DD)
DD=DoD_end(CY) // Atualizar estado de alta
//FIM DE UM CICLO *****
printf('CY = %4.4f \n', CY)
printf('DoD_end = %4.4f \n', DoD_end(CY))
printf('D_end = %4.4f km \n', D_end(CY))

CY = CY +1; // se inicia no ciclo 1 e a cada ciclo rodado vai contando mais
//até o valor de descarga considerado

end;

scf(1)
plot(D_end,DoD_end,'k+');
set(gca(),"grid",[1 1])
ylabel('Profundidade de descarga');
xlabel('Distância percorrida [km]');

scf(2)
plot(XDATA,YDATA,'k');
set(gca(),"grid",[1 1])
ylabel('Potência do motor [W]');
xlabel('Tempo [s]');
//abort

```

APÊNDICE E – Um_ciclo

```

//% UM CICLO // Este arquivo de script executa um ciclo, de qualquer ciclo de condução de N
pontos para o veículo modelado
//% *****
for C=2:N // nesse loop For, a variável C inicia com o valor 2 e varia até N que representa o
tamanho do vetor velocidade
    accel=V(C) - V(C-1); // calcula a aceleração
    //as forças fad e fla alteram conforme velocidade
    Fad = Ka*(V(C)-Vw)^2; //Força de arrasto aerodinâmico Eq 3
    Fla = 1*mmax*accel; //força de resistência Eq 5

    Pte = (Fr + Fad + Fg + Fla)*V(C); //potência de tração Eq 9 altera tbm de acordo com a
velocidade atual
    omega = Gratio*V(C) / rpneu; // ômega é a velocidade no eixo no motor angular em rad/s
    // que é calculado dividindo o produto da velocidade vezes o valor das engrenagens pelo
raio do pneu
    if omega == 0 // o programa inicia com valores Estacionários com as entradas em zero
        Pte=0;
        Pmot_in=0; // Sem energia no motor veiculo parado
        Torque=0;
        Pmot_out = 0;
        eff_mot=0.83;
    elseif omega > 0 // quando a velocidade é maior que zero ele está em movimento
        if Pte < 0 // quando a potência for menor que zero o veiculo regenerando
            Pte = Regen_ratio * Pte; //potência reduz na frenagem
        end;
        // calculo da potência de saída do motor, diferente daquela nas rodas eq 14, porque há
perdas de transmissão.
        if Pte>=0
            Pmot_out=Pte/G_eff; // Potência do motor > potência do eixo
        elseif Pte<0 // quando a potência for maior que zero o veiculo está acelerando
            Pmot_out=Pte * G_eff; // Potência regenerativa // frenagem do motor
        end;

        Torque=Pmot_out/omega; // O torque de saída do motor, é a potencia do motor
dividido pela velocidade
        if Torque>0 // torque maior que zero acelerando

            eff_mot=(Torque*omega)/((Torque*omega)+((Torque^2)*kc)+
(omega*ki)+((omega^3)*kw)+C); // equação de perdas //ki perdas no ferro// kw perdas do
vento// kc perdas do cobre
        elseif Torque<0 // torque menor que zero freando
            eff_mot=(-Torque*omega)/((-Torque*omega)
+((Torque^2)*kc)+(omega*ki)+((omega^3)*kw)+C); // eficiência do motor considerando o
controlador

```

```

end;

if Pmot_out >= 0
    Pmot_in = Pmot_out/eff_mot; // potencia de saida do motor Eq 15
elseif Pmot_out < 0
    Pmot_in = Pmot_out * eff_mot; //quando estiver freando
end;
end;

Pbat = Pmot_in + Pac;

E=open_circuit_voltage(DoD(C-1),Ns); // CHAMA A FUNÇÃO OPEN_CIRCUIT_VOLTAGE
PARA CALCULAR A TENSÃO DE CIRCUITO ABERTO

if Pbat > 0 // Equ (3.26)
    I = (E - ((E*E) - (4*Rin*Pbat))^0.5)/(2*Rin);
    CR(C) = CR(C-1) + ((I^k)/3600); //Eq(3.24)
elseif Pbat==0
    I=0;
elseif Pbat <0
    // Frenagem regenerativa.
    Pbat = -Pbat;
    I = (-E + (E*E + (4*2*Rin*Pbat))^0.5)/(2*2*Rin);
    CR(C) = CR(C-1) - (I/3600); //
end;

DoD(C) = CR(C)/PeuCap; //carga removida da bateria
if DoD(C)>1
    DoD(C) =1;
end
//Como estamos tomando intervalos de tempo de 1 segundo,
// a distância percorrida em metros é a mesma
// como a velocidade. Divida por 1000 para km.
D(C) = D(C-1) + (V(C)/1000);
// printf('C= %4.4f \n', C)
// printf('Pmot_out = %4.4f \n', Pmot_out)
// printf('Pmot_in = %4.4f W\n', Pmot_in)
// printf('Eficiência motor = %4.4f \n', eff_mot)
// printf('E = %4.4f V\n', E)
// printf('I = %4.4f A\n', I)

XDATA(C)=C; //
YDATA(C)=Pmot_out; //
end;
//Agora retorne ao programa de chamada honda_cg160.

```

APÊNDICE F – Tensão de circuito aberto

```

function E_oc=open_circuit_voltage(DOD, Ns)
// Tensão de circuito aberto considerando a profundidade
// de descarga da bateria de Lithium-ion
// DOD = 0 (completamente carregada)
// DOD = 1 (completamente descarregada)
// Ns é o número de células em série
if DOD < 0
    error('DOD <0.');
```

end

```

if DOD > 1
    error('DOD >1')
```

end

// Veja a equação Simulando uma bateria em uma potência definida cap 3.12.4 do livro

```

coefE_oc = [4.0812278; -0.7063451; -0.9765061; 4.7966836; -15.561594; 22.606439; -
11.424732];
```

$$E_{oc} = N_s * (coefE_{oc}(7) * DOD^6 + coefE_{oc}(6) * DOD^5 + coefE_{oc}(5) * DOD^4 + coefE_{oc}(4) * DOD^3 + coefE_{oc}(3) * DOD^2 + coefE_{oc}(2) * DOD + coefE_{oc}(1));$$

```

endfunction
```