

unesp 

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

CARLA FRANCINE MANTOVANI

**ANÁLISE CINEMÁTICA E DINÂMICA PARA CONVERSÃO DE UM VW
SAVEIRO EM VEÍCULO ELÉTRICO**

Guaratinguetá

2013

CARLA FRANCINE MANTOVANI

ANÁLISE CINEMÁTICA E DINÂMICA PARA CONVERSÃO DE UM VW SAVEIRO
EM VEÍCULO ELÉTRICO

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica

Orientador: Profº Dr. Francisco José Grandinetti

Guaratinguetá

2013

Mantovani, Carla Francine

M293a Análise cinemática e dinâmica para conversão de um VW saveiro em veículo elétrico / Carla Francine Mantovani – Guaratinguetá : [s.n], 2013.
65 f : il.
Bibliografia: f. 64-65

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013.
Orientador: Prof. Dr. Francisco José Grandinetti

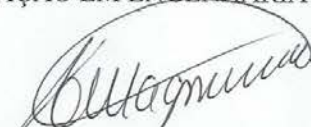
1. Veículos elétricos 2. Automóveis - motores I. Título

CDU 621.337

CARLA FRANCINE MANTOVANI

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA



Prof. Dr. ANTONIO WAGNER FORTI
Coordenador



Prof. Dr. FRANCISCO JOSÉ GRANDINETTI



Prof. Dr. MAURO PEDRO PERES



Prof. Dr. JOSÉ GERALDO TRANI BRANDÃO

DADOS CURRICULARES

CARLA FRANCINE MANTOVANI

NASCIMENTO: 06.10.1990 – TAUBATÉ / SP

FILIAÇÃO: JOSÉ CARLOS MANTOVANI JUNIOR

MARIA FRANCISCA CONCEIÇÃO MANTOVANI

2008/2013 Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.

de modo especial, à minha mãe, meu pai e minha irmã, que estão ao meu lado em todos os momentos.

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus, primeiramente, que me permitiu cursar a faculdade e me deu força e sabedoria para superar os obstáculos no caminho.

Ao meu orientador, *Prof. Dr. Francisco José Grandinetti*, que me deu a oportunidade e o apoio para desenvolver este trabalho.

Ao meu pai, *José Carlos Mantovani Junior*, que tornou possível a concretização desta etapa da minha vida, fornecendo todo o suporte necessário para o meu desenvolvimento. Por ser a minha referência profissional, que me incentivou não só a chegar até aqui, como também a almejar novos horizontes cada vez mais distantes.

À minha mãe, *Maria Francisca Conceição Mantovani*, por toda a compreensão e apoio ao longo desses anos. Por ser a responsável pelo meu caráter, o meu exemplo pessoal e meu porto-seguro.

À toda a minha família, em especial à minha madrinha, *Maria Salete Campos*, que, juntamente de sua família, sempre incentivou meus estudos e participou de minhas conquistas.

Por fim, a todos os meus colegas de Guaratinguetá, pelo companheirismo durante a faculdade. Em especial às amigas *Sabrina, Paula, Francielle e Natália*, que tornaram meu dia-a-dia mais alegre, e a todas da República Tá-Mar, que conviveram comigo durante todos esses anos e com as quais compartilhei momentos inesquecíveis. Também aos amigos de Taubaté, que embora distante fisicamente, sempre se fizeram presente de alguma forma.

“A mente que se abre a uma nova idéia
jamais voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

MANTOVANI, C. F. **Análise cinemática e dinâmica para conversão de um VW saveiro em veículo elétrico.** 2013. 65 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo a análise cinemática e dinâmica de uma VW Saveiro, de modo a estimar o valor da potência solicitada ao motor nas condições impostas de movimentação. Assim, o estudo atuará como base para a especificação do propulsor elétrico, no processo de conversão do veículo a combustão interna para veículo elétrico. Primeiramente, foi feita uma revisão da literatura, a fim de se conhecer o estado da arte para tal assunto e levantar a ficha técnica do veículo em questão. Segue-se com a identificação e cálculo de todas as forças atuantes no protótipo em movimento, de 0 a 120 km/h, em intervalos de 10 km/h, nas condições de trajeto e de tempo definidas. Determinou-se então os valores das variáveis torque e rotação dos componentes do sistema de transmissão, assim como a potência do motor, para cada intervalo de velocidade. Os resultados mostram as forças com maior influência na resistência ao movimento em cada intervalo de velocidade, e verifica-se o comportamento da curva de torque. Por fim, também foi analisada a implementação de cata-ventos na região frontal do veículo para conversão de energia eólica em elétrica, a fim de alimentar o subsistema de iluminação do veículo e valida-se a proposta. Limitando a velocidade máxima do veículo a 90 km/h, conclui-se, finalmente, que potência do motor elétrico deve equivaler a 40 CV.

PALAVRAS-CHAVE: Veículo Elétrico. Projeto Cinemático. Projeto Dinâmico. Sistema de Transmissão. Motor.

MANTOVANI, C. F. **Kinematic and Dynamic Analysis to the conversion of a VW Saveiro into electric vehicle.** 2013. 65 f. Graduate Work (Graduate in Mechanical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

ABSTRACT

This work aims to kinematic and dynamic analysis of a VW Saveiro in order to estimate the power requested to the engine with the imposed movement conditions. Thus, the study will be the basis to the specification of the electric engine, on the conversion of the internal combustion vehicle into electric one. First of all, a literature review was done in order to understand the state of the art for this issue and come up with the technical features of the vehicle in question. The next step is the identification and calculation of all forces acting on the prototype in motion, from 0 to 120 km/h, in intervals of 10 km/h, under the defined conditions of path and time. Then, were determined the values of the torque and rotation of the components from the transmission system, as well as the engine power, for each speed range. The results show the most influential forces on the resistance of the movement in each speed range, and the behavior of the torque curve is verified. Finally, it was also analyzed the implementation of pinwheels on the frontal area of the vehicle, in order to convert wind energy into electrical energy to supply the lighting subsystem of the vehicle and the proposal was validated. Limiting the maximum speed of the vehicle to 90 km/h, it was finally concluded that the power of the electric engine should be 40 HP.

KEYWORDS: Electric Vehicle. Kinematic Project. Dynamic Project. Transmission System. Engine.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Camille Jenatzy de 'La Jamais Contente "..... | 14 |
| Figura 2 - Primeiro veículo elétrico produzido em massa - Ford T..... | 15 |
| Figura 3 - Conceito de um veículo elétrico..... | 19 |
| Figura 4 - Motor de corrente alternada em vista explodida..... | 21 |
| Figura 5 - Representação da caixa de câmbio..... | 23 |
| Figura 6 - Funcionamento do diferencial..... | 24 |
| Figura 7 - Representação da seção ao longe e a decomposição da força resultante..... | 25 |
| Figura 8 - (a) Coeficiente de distribuição típica de pressão estática, (b) A força que atua sobre um elemento de superfície..... | 26 |
| Figura 9 - Representação das diferenças de velocidades na superfície de um corpo sólido. | 27 |
| Figura 10 - Diferentes coeficientes de arrasto para diversos tipos de veículos..... | 28 |
| Figura 11 - Arranjo simples da ligação de um motor com a roda..... | 33 |
| Figura 12 - As forças atuantes em um veículo ao longo de um aclave..... | 40 |
| Figura 13 - Modelagem das formas básicas de uma Saveiro com a utilização do software SolidWorks® para a simulação numérica computacional..... | 42 |
| Figura 14 - Representação do número de Mach, software Flow Simulation..... | 43 |
| Figura 15 - Representação da variação da densidade no fluxo de escoamento, software Flow Simulation..... | 43 |
| Figura 16 - Esforço aerodinâmico..... | 44 |
| Figura 17 - Coeficiente Aerodinâmico..... | 44 |
| Figura 18 - Representação do local de instalação dos dois cata-ventos..... | 49 |
| Figura 19 - Ventoinha da Saveiro 1.8..... | 50 |
| Figura 20 - Gráfico de comparação entre as forças..... | 54 |
| Figura 21 - Gráfico da força total..... | 55 |
| Figura 22 - Curvas de torque de entrada e saída..... | 57 |
| Figura 23 - Curvas das rotações de entrada e saída..... | 58 |
| Figura 24 - Curva da potência solicitada ao motor..... | 60 |
| Figura 25 - Comparação da potência obtida com os cata-ventos com a potência requerida pelo subsistema..... | 62 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Dados do veículo Saveiro Comfortline 1.8..... | 38 |
| Tabela 2 - Dados das relações de transmissão da Saveiro Comfortline 1.8..... | 39 |
| Tabela 3 - Dados relacionados a intervalos de velocidade..... | 39 |
| Tabela 4 - Coeficiente de atrito (f) do pneu em diferentes superfícies | 41 |
| Tabela 5 - Cargas do subsistema de iluminação | 48 |
| Tabela 6 - Velocidades de cada marcha..... | 52 |
| Tabela 7 - Cálculo das acelerações | 53 |
| Tabela 8 - Cálculo das componentes de força | 53 |
| Tabela 9 - Cálculo da força total..... | 55 |
| Tabela 10 - Cálculo dos torques e rotações de saída | 56 |
| Tabela 11 - Cálculo dos torques e rotações de entrada | 57 |
| Tabela 12 - Cálculo das potências de saída e entrada | 59 |
| Tabela 13 - Cálculo da potência eólica nos cata-ventos | 61 |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 | CONTEXTO HISTÓRICO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS | 14 |
| 1.2 | O CENÁRIO ATUAL | 16 |
| 1.3 | OBJETIVOS | 18 |
| 1.4 | ESTRUTURA DO TRABALHO | 18 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 19 |
| 2.1 | VEÍCULO ELÉTRICO | 19 |
| 2.2 | MOTOR ELÉTRICO | 20 |
| 2.2.1 | Motor elétrico de corrente contínua | 20 |
| 2.2.2 | Motor de corrente alternada | 21 |
| 2.3 | BATERIA | 21 |
| 2.4 | TRANSMISSÃO | 22 |
| 2.4.1 | Diferencial... | 24 |
| 2.5 | CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA FLUIDODINÂMICA | 25 |
| 2.5.1 | Arrasto..... | 25 |
| 2.5.2 | Tipos de escoamento | 28 |
| 2.6 | CFD (DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL) | 29 |
| 2.7 | ENERGIA EÓLICA | 30 |
| 2.7.1 | Potencial eólico | 30 |
| 2.8 | O PROJETO CINEMÁTICO E DINÂMICO | 31 |
| 2.8.1 | Força de resistência ao rolamento | 31 |
| 2.8.2 | Força de arrasto aerodinâmico | 32 |
| 2.8.3 | Força em subidas | 32 |
| 2.8.4 | Força de aceleração linear | 33 |
| 2.8.5 | Força de aceleração angular de rotação do motor | 33 |
| 3 | METODOLOGIA | 36 |
| 3.1 | OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS INICIAIS | 37 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.2 | FORÇA DE TRACÇÃO TOTAL | 40 |
| 3.2.1 | Força de resistência ao rolamento | 41 |
| 3.2.2 | Força de arrasto aerodinâmico | 41 |
| 3.2.2.1 | Obtenção do coeficiente de arrasto | 42 |
| 3.2.3 | Força em subidas | 44 |
| 3.2.4 | Força de aceleração linear | 44 |
| 3.2.5 | Força de aceleração angular de rotação do motor | 45 |
| 3.3 | TORQUE DE SAÍDA DO REDUTOR | 45 |
| 3.4 | ROTAÇÃO DE SAÍDA DO REDUTOR | 45 |
| 3.5 | TORQUE DE ENTRADA DO REDUTOR | 45 |
| 3.6 | ROTAÇÃO DE ENTRADA DO REDUTOR | 46 |
| 3.7 | POTÊNCIA DE SAÍDA DO REDUTOR | 46 |
| 3.8 | POTÊNCIA DE ENTRADA DO REDUTOR | 46 |
| 3.9 | POTENCIAL EÓLICO | 47 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 52 |
| 4.1 | DISTRIBUIÇÃO DOS INTERVALOS DE VELOCIDADE POR MARCHA | 52 |
| 4.2 | CÁLCULO DAS ACELERAÇÕES | 52 |
| 4.3 | CÁLCULO DAS FORÇAS INDIVIDUAIS | 53 |
| 4.4 | COMPARAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE CADA FORÇA PARA CADA INTERVALO DE VELOCIDADE | 54 |
| 4.5 | CÁLCULO DA FORÇA TOTAL | 54 |
| 4.6 | CÁLCULO DO TORQUE DE SAÍDA E ROTAÇÃO DE SAÍDA NO REDUTOR | 56 |
| 4.7 | CÁLCULO DO TORQUE DE ENTRADA E ROTAÇÃO DE ENTRADA NO REDUTOR | 56 |
| 4.8 | REPRESENTAÇÃO DOS TORQUES DE ENTRADA E SAÍDA DO REDUTOR | 57 |
| 4.9 | REPRESENTAÇÃO DAS ROTAÇÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REDUTOR | 58 |
| 4.10 | CÁLCULO DA POTÊNCIA DE SAÍDA E DE ENTRADA NO REDUTOR | 59 |
| 4.11 | CÁLCULO DA POTÊNCIA EÓLICA OBTIDA PELO CATA-VENTO | 60 |

| | | |
|------|--|----|
| 4.12 | COMPARAÇÃO ENTRE POTÊNCIA EÓLICA GERADA PELO CATA-VENTO E A POTÊNCIA REQUERIDA PELO SUBSISTEMA DE ILUMINAÇÃO | 61 |
| 5 | CONCLUSÕES | 63 |
| | REFERÊNCIAS | 64 |

1 INTRODUÇÃO

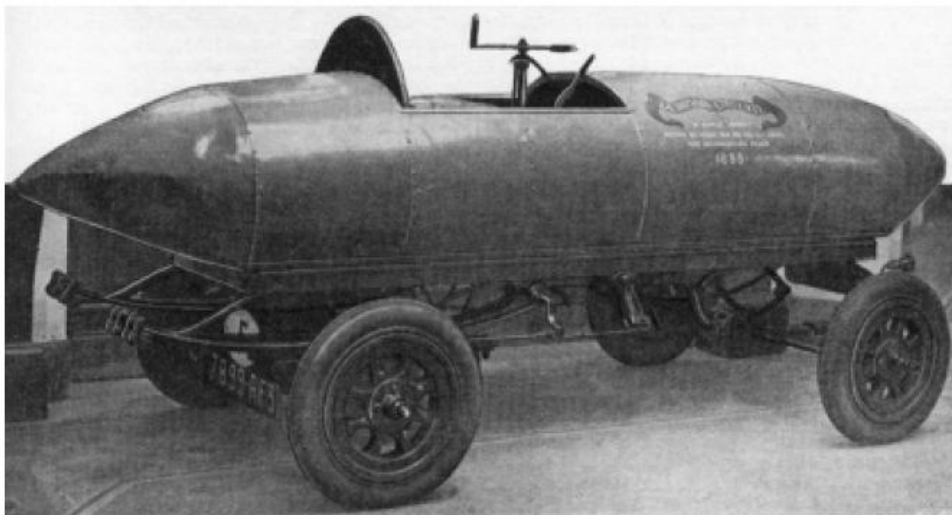
1.1 CONTEXTO HISTÓRICO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

O veículo elétrico é um tipo de veículo que utiliza propulsão por meio de motores elétricos. É composto por um sistema primário de energia, uma ou mais máquinas elétricas e um sistema de acionamento e controle de velocidade ou binário. Um antecedente importante para o surgimento de automóveis elétricos havia sido o sucesso dos sistemas de bondes elétricos (substituindo as carroças ou bondes com 2 cavalos) e dos primeiros sistemas metroviários e ferroviários elétricos.

Na virada do ano 1900, os automóveis elétricos eram mais comuns do que os automóveis a gasolina e ninguém acreditaria que ocorreriam mudanças significativas. A própria revista *Scientific American* de 1899 dizia que: “a eletricidade é ideal para veículos pois ela elimina os dispositivos complicados associados aos motores movidos a gasolina, vapor e ar comprimido, evitando o ruído, vibração e calor associados”. (GOLDEMBERG; LEBENSZTAJN; PELLINI, 2005)

Em 1899, foi quebrado o recorde de velocidade pelo belga Jenatzy, a bordo de um veículo elétrico, o “La Jamais Contente”, que atingiu 106 km/h e é mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Camille Jenatzy de 'La Jamais Contente'.



Fonte: (LARMINIE; LOWRY, 2003).

O primeiro veículo a ser produzido e vendido em massa, o famoso Ford T teve mais de 15 milhões de unidades fabricadas entre 1908 e 1927. É mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Primeiro veículo elétrico produzido em massa - Ford T.



Fonte: <http://revista.webmotors.com.br/antigos/ford-t-primeiro-carro-do-mundo-produzido-em-serie-faz-cem-anos/1334081194448>

Ainda no início do século XX, os automóveis a gasolina começaram a tomar a dianteira em termos de popularidade. Tornou-se evidente que o carro elétrico tinha um desempenho inferior. Como na época ainda não existiam preocupações ambientais, a soberania do motor a gasolina consolidou-se.

Após um período de pouco desenvolvimentos efetivos, o entusiasmo com os veículos elétricos ressurgiu no final da década de 80. Eles começam a ter um progresso marcante, tanto psicologicamente quanto tecnologicamente. Ganharam o apoio de governantes, de ambientalistas e de fabricantes de automóveis ao redor do mundo (GOLDEMBERG; LEBENSZTAJN; PELLINI, 2005).

1.2 O CENÁRIO ATUAL

As indústrias automobilísticas estão reconhecendo a importância de novas fontes de energia, levando-se em consideração a escassez do petróleo para o futuro. Estudam o desenvolvimento de veículos não poluentes para alta quilometragem e baixo custo (CARUSO, 2007).

A capacidade poluente dos automóveis é a maior dentre quaisquer outras atividades desenvolvidas pelo homem, pois 50% do total de gases poluentes e, portanto, tóxicos que são expelidos para a atmosfera são provenientes da combustão dos motores dos automóveis (CAMPOS, 2003). Segundo Guerra (2009), o petróleo é uma substância oleosa, inflamável, geralmente menos densa que a água e é composto essencialmente por carbono (80 a 90% em peso), hidrogênio (10 a 15%), enxofre (até 5%), oxigênio (até 4%), nitrogênio (até 2%) e traços de outros elementos ex: níquel, vanádio. Com sua queima é produzido o dióxido de carbono (CO₂), o grande causador do efeito estufa.

De acordo com Ramos (2012), a utilização de veículos urbanos elétricos pode ser uma ferramenta para a diminuição dessa emissão de CO₂ gerada pela combustão do motor dos veículos convencionais, implantada em longo prazo e, com resultados significativos.

Vantagens não faltam para o carro verde:

- Maior economia de dinheiro – economia de até 80% dos gastos com álcool ou gasolina
- Silêncio absoluto
- Zero emissão de poluentes
- Manutenção muito mais simples
- Redução ou dispensa do pagamento do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores – IPVA

O motor de combustão interna tem o rendimento muito baixo, cerca de menos de 50%, enquanto o motor elétrico tem o rendimento acima de 90%. E a manutenção mais simples justifica-se pela desnecessidade dos seguintes componentes:

- Álcool
- Gasolina
- Trocar óleo
- Fazer Regulagem do motor

- Trocar as velas do motor
- Regular as válvulas do motor
- Trocar filtro de óleo do motor
- Trocar filtro de combustível
- Trocar filtro de ar
- Limpar o bico injetor
- Trocar correia dentada
- Trocar correia do alternador
- Bomba de água
- Radiador
- Aditivo do radiador
- Alternador
- Bomba de combustível
- Sistema de escapamento
- Catalisador
- Certificação de emissões
- Mangueiras
- Distribuidor
- Cabo de velas
- Motor de arranque

Apesar de todos estes pontos favoráveis, algumas questões preocupantes tornam-se o impasse para a aceitação desse tipo de veículo no mercado automotivo, sendo as principais delas: custo, recarga dos carros e a autonomia das baterias. Carros elétricos são mais caros que carros a gasolina regulares. No que diz respeito à recarga, o problema é o tempo elevado necessário para se energizar o veículo (podendo chegar a sete ou oito horas), sem mencionar as dificuldades de se encontrar um ponto de *plug-in* (tomada de energia). Além disso, os motores de veículos elétricos são produzidos com baterias íon-lítio, que ainda não têm grande autonomia (DUPONT, 2012).

1.3 OBJETIVOS

Tendo em vista tais considerações, observa-se o desafio de se projetar um veículo elétrico com custo operacional, autonomia e conforto que o tornem competitivo com os atuais veículos a combustão interna. A tendência do mercado automotivo aponta para a inclusão dos veículos elétricos. Porém, até que isso ocorra, muitas melhorias nos mesmos ainda devem ser concretizadas, sendo necessários, portanto, pesquisas e estudos mais aprofundados no tema. Pensando nisso, foi iniciado este projeto de conversão do veículo VW Saveiro para um protótipo de veículo elétrico.

O presente trabalho tem como objetivo geral determinar o valor da potência solicitada ao motor elétrico nas condições impostas de movimentação do veículo, até que ele atinja 120 km/h, sendo analisados intervalos de 10 em 10 km/h.

Como desdobramento do objetivo geral, o trabalho apresenta três objetivos específicos:

- Analisar a influência de cada força de distinta natureza na cinemática do veículo;
- Calcular, para cada intervalo de velocidade, os torques e rotações de entrada e saída do sistema de transmissão do veículo, assim como a potência requerida;
- Analisar a instalação de um cata-vento na região frontal do veículo para geração de energia elétrica a partir da energia eólica, alimentando o subsistema de iluminação.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 1 é apresentada a introdução, a qual contextualiza o tema tanto no passado quanto nos dias atuais e descreve os objetivos do presente trabalho.

O capítulo 2 trata de um resumo dos fundamentos teóricos sobre o tema do trabalho.

No capítulo 3 são apresentados os métodos para a conversão do veículo a combustão interna em veículo elétrico, explicando sobre os parâmetros iniciais, considerações e fórmulas utilizadas.

Os resultados são discutidos e apresentados no capítulo 4, por meio de tabelas e gráficos.

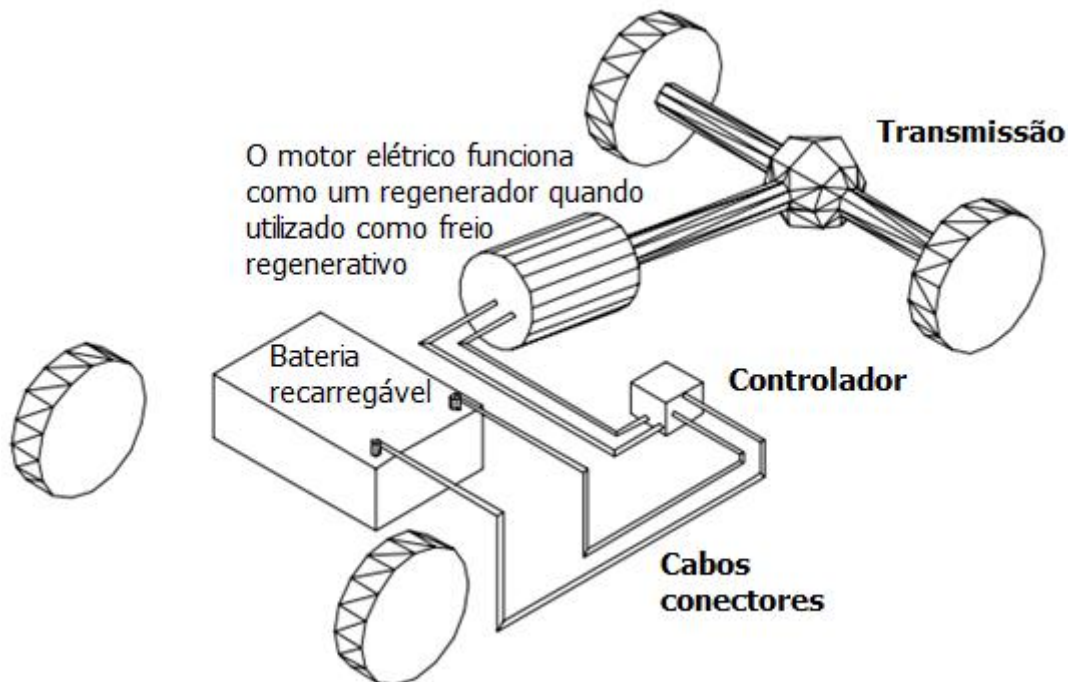
O capítulo 5, finalmente, apresenta as conclusões do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 VEÍCULO ELÉTRICO

Um carro elétrico é movido por um motor elétrico, em vez de um motor a gasolina. Ao dirigir um carro elétrico, a única diferença perceptível é o fato de ele ser bastante silencioso. O motor elétrico não precisa de óleo uma vez que não há emissões de escape, ou seja, não há emissão de gases na atmosfera. Existe um grupo de baterias existente no carro e estas agem como um "tanque de gás" e fornecem ao motor elétrico a energia necessária para mover o veículo. A bateria é normalmente recarregada na rede elétrica através de um plug e uma unidade de carga da bateria, que pode ser transportado a bordo ou equipados em pontos de carregamento. O veículo também possui um inversor de frequência, responsável pelo controle da velocidade desenvolvida, ou seja, é um dispositivo capaz de gerar uma tensão e frequência trifásicas ajustáveis, com a finalidade de controlar a velocidade de um motor de indução trifásico em malha aberta ou fechada. O conceito de um veículo elétrico é mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Conceito de um veículo elétrico.



Fonte: (RAMOS, 2013)

Hoje no mercado, segundo Ramos (2013), existem três tipos de (EV's): com corrente contínua (DC) sem escovas, com corrente alternada (AC) de indução e o motor de imã permanente. Há diferenças entre eles:

1. O de corrente contínua (DC) vai oferecer a mais alta velocidade, mas menor aceleração.
2. A corrente alternada (AC) de indução tem a maior aceleração e uma velocidade média superior, mas também tem um preço mais elevado.
3. O motor de imã permanente cai bem entre os outros dois em ambas as categorias.

2.2 MOTOR ELÉTRICO

Um motor elétrico é uma máquina destinada a transformar energia elétrica em mecânica. É o mais usado de todos os tipos de motores, pois combina as vantagens da energia elétrica – baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando – com sua construção simples, custo reduzido, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos. De acordo com Caruso (2007), enquanto o motor de combustão interna, com base nos veículos norte-americanos, tem uma eficiência de 35%, os motores elétricos, normalmente, têm eficiência superior a 80%. Os tipos mais comuns de motores elétricos são de corrente contínua e corrente alternada.

2.2.1 Motor elétrico de corrente contínua

Precisam de uma fonte de corrente contínua. Neste caso pode ser necessário utilizar um circuito retificador para converter a corrente alternada, corrente fornecida pela concessionária de energia elétrica, para corrente contínua. Podem funcionar com velocidades ajustáveis entre amplos limites e se prestam a controles de grande flexibilidade e precisão. Por isso seu uso é restrito a casos especiais em que estas exigências compensam o custo muito mais alto da instalação, ou no caso da alimentação usada ser contínua, como no caso das pilhas em dispositivos eletrônicos.

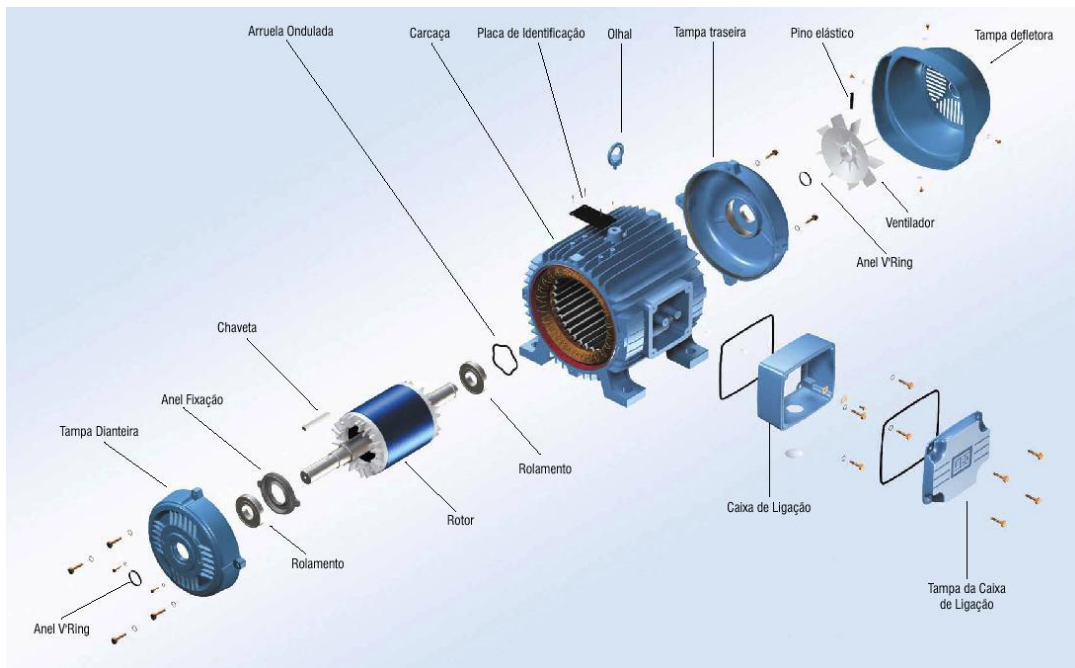
2.2.2 Motor de corrente alternada

São os mais utilizados, porque a distribuição de energia elétrica é feita normalmente em corrente alternada. Os principais tipos são:

Motor síncrono: funciona com velocidade fixa, utilizado somente para grandes potências (devido ao seu alto custo em tamanhos menores) ou quando se necessita de velocidade invariável.

Motor de indução: funciona normalmente com velocidade constante, que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. Devido a sua grande simplicidade, robustez e baixo custo é o motor mais utilizado de todos, sendo adequado para quase todos os tipos de máquinas acionadas, encontradas na prática. Atualmente é possível controlar a velocidade dos motores de indução com o auxílio de inversores de frequência. A Figura 4 ilustra um motor de corrente alternada em vista explodida.

Figura 4 - Motor de corrente alternada em vista explodida.



Fonte: (RAMOS, 2013)

2.3 BATERIA

Uma bateria consiste em uma ou mais células elétricas unidas, que convertem energia química em energia elétrica. As células consistem de eletrodos positivos e negativos ligados

por um eletrólito. É a reação química entre os eletrodos e os eletrólitos, que gera energia elétrica DC. No caso de baterias secundárias ou recarregáveis, a reação química pode ser invertida, invertendo a corrente da bateria e devolvida a um estado carregada. A bateria de chumbo-ácido é o tipo mais conhecido recarregável, mas existem outros.

Dentre as baterias utilizadas em veículos elétricos, podem-se destacar a de íon-lítio que costumam ser muito mais leves do que outros tipos de baterias recarregáveis do mesmo tamanho. Os eletrodos de uma bateria de íon-lítio são feitos de lítio e carbono leve. Além disso, o lítio também é um elemento altamente reativo, o que significa que é possível armazenar bastante energia em suas ligações atômicas.

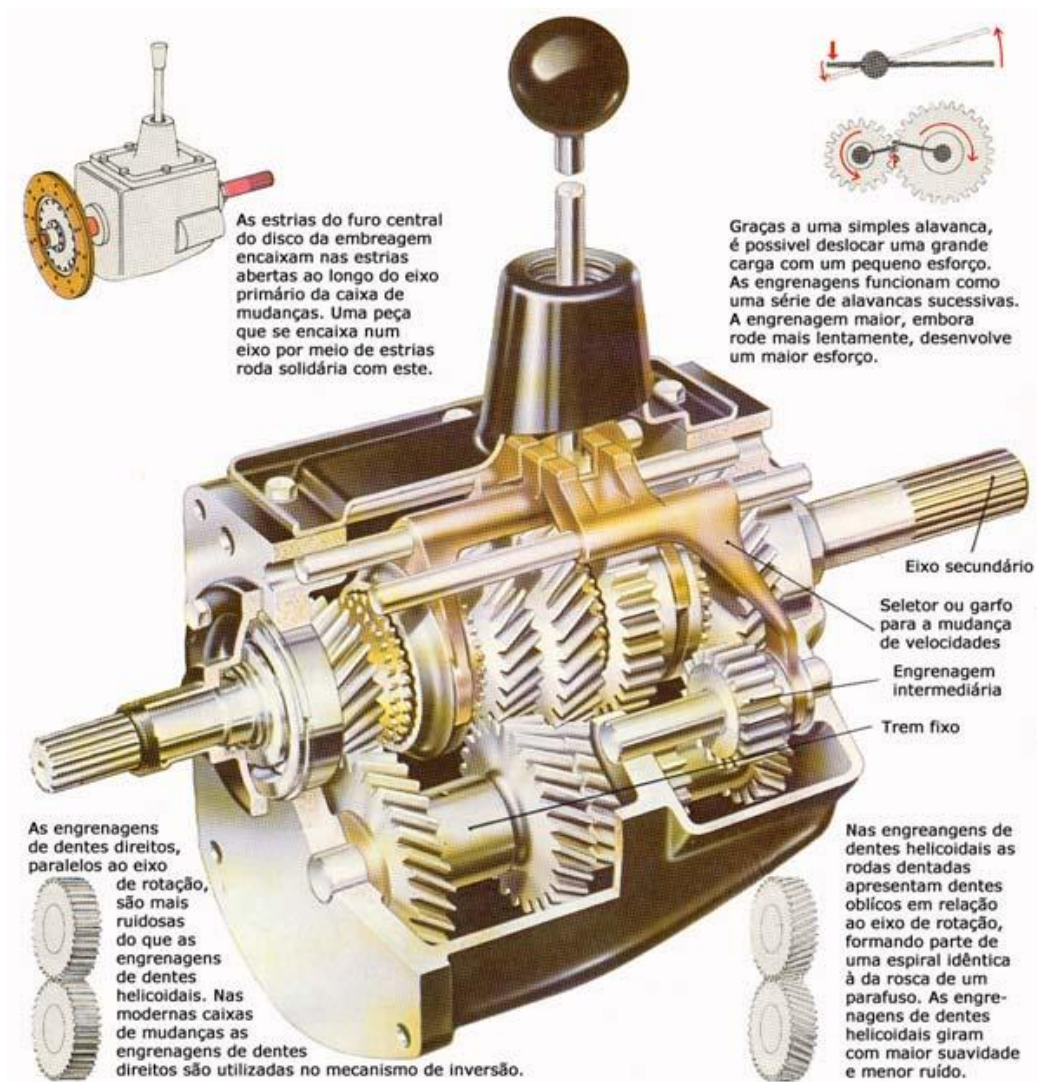
Uma bateria de íon-lítio pode armazenar 150 watts-hora de eletricidade em 1 kg de bateria sendo que a bateria de NiMH (hidreto de metal-níquel) consegue armazenar talvez 100 watts-hora por quilograma. Uma bateria de chumbo-ácido tem a capacidade de armazenar apenas 25 watts-hora por quilo (BRAIN). Usando a tecnologia chumbo-ácido, são necessários 6 kg para armazenar a mesma quantidade de energia que uma bateria de íon-lítio de 1 kg. A diferença é enorme.

2.4 TRANSMISSÃO

O sistema de transmissão automotiva é o responsável por transmitir a força, rotação e torque produzidos pelo motor, até as rodas, passando pelo sistema de embreagem, caixa de câmbio, diferencial e semi-eixos.

A transmissão da força gerada pelo motor existe no automóvel desde sua criação. No começo a transmissão era realizada por polias e correias ou por discos de atrito colocados perpendicularmente entre si. Depois as relações de transmissão foram introduzidas e criadas as caixas de relações, conhecidas popularmente por caixa de câmbio, representada na Figura 5.

Figura 5 - Representação da caixa de câmbio.



Fonte: (COSTA, 2001)

As transmissões de força podem ser efetuadas nas rodas dianteiras, traseiras ou nas quatro rodas, independente da posição do motor, que pode estar atrás do veículo na frente ou no centro do veículo.

Os tipos mais comuns de transmissões são mecânicas, aquelas que o motorista realiza a mudança de marcha pelo acionamento da embreagem e de uma alavanca de seleção, mas existem transmissões automáticas que realizam as trocas por meio hidráulico com comandos sensoriais ligados a caixa, motor e pedal de acelerador.

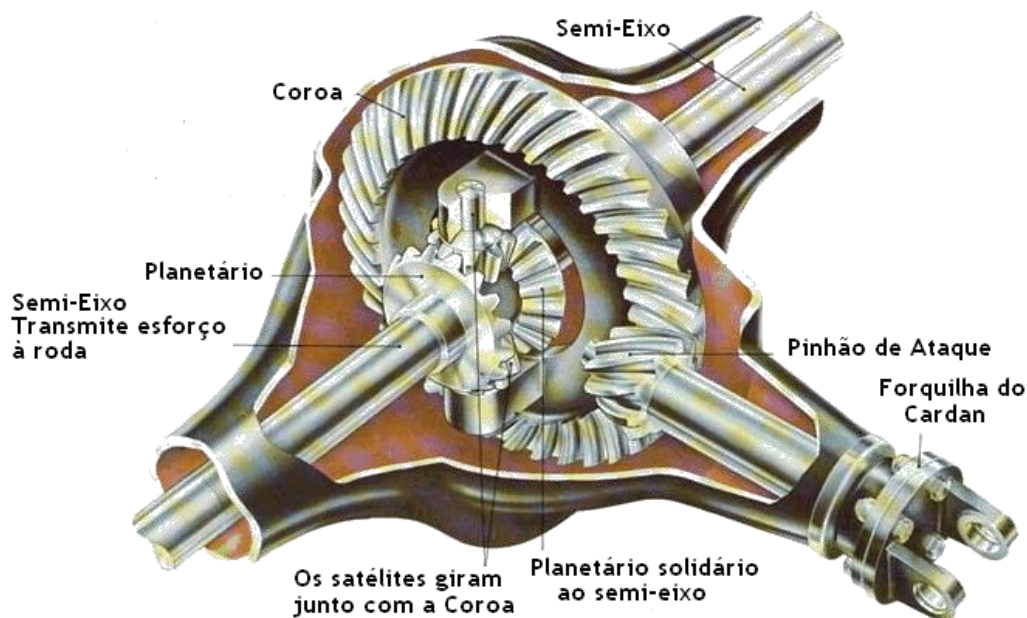
A transmissão do veículo é um sistema importante e deve ser compreendido no entendimento do funcionamento do automóvel, as transmissões estão evoluindo e a tecnologia

no desenvolvimento de novos produtos são contínuos na indústria automotiva (ROCHA, 2009).

2.4.1 Diferencial

O diferencial é por onde a energia proveniente do motor passa em seu último estágio antes de chegar às rodas motrizes e tem como finalidade reduzir a velocidade do eixo de transmissão para a velocidade exigida pelas rodas para permitir que, numa curva, a roda de dentro da curva rode mais lentamente que a de fora, sendo este seu principal objetivo. A redução é obtida por um conjunto designado por roda de coroa e pinhão de ataque. Juntamente com a roda da coroa gira um conjunto de engrenagens que permite que as rodas girem em velocidades diferentes, esse conjunto é formado pelos planetários e satélites. Entre a roda da coroa e o pinhão de ataque é formado um ângulo de 90°, pois são engrenagens cônicas (COSTA, 2001). O funcionamento do diferencial é mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Funcionamento do diferencial.



Fonte: (<http://caraipora2.tripod.com/diferencial_.htm>)

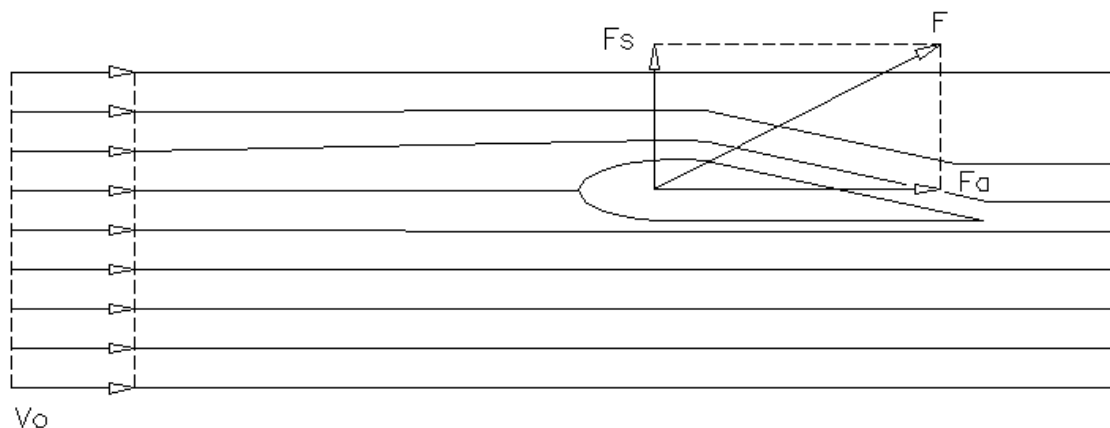
2.5 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA FLUIDODINÂMICA

Segundo Brunetti (2008), a fluidodinâmica vem a estudar a interação existente entre um fluido e um corpo nele imerso, quando entre os dois há um movimento relativo. Nessa condição, não importa se o corpo ou o fluido, ou ambos, estão em movimento. A observação do fenômeno será efetuada adotando-se o sistema de referência fixo à superfície sólida.

Ao passar pelo corpo, o fluido provocará nele o aparecimento de uma força resultante. Essa força, supondo o escoamento bidimensional, poderá ser decomposta em duas componentes (Figura 7), que serão chamadas:

- a) Resistência ao avanço ou força de arrasto (F_a), paralela às linhas de corrente ao longe;
- b) Força de sustentação (F_s), que é a componente normal ou perpendicular às linhas de corrente ao longe.

Figura 7 - Representação da seção ao longe e a decomposição da força resultante.



Fonte: (BRUNETTI, 2008)

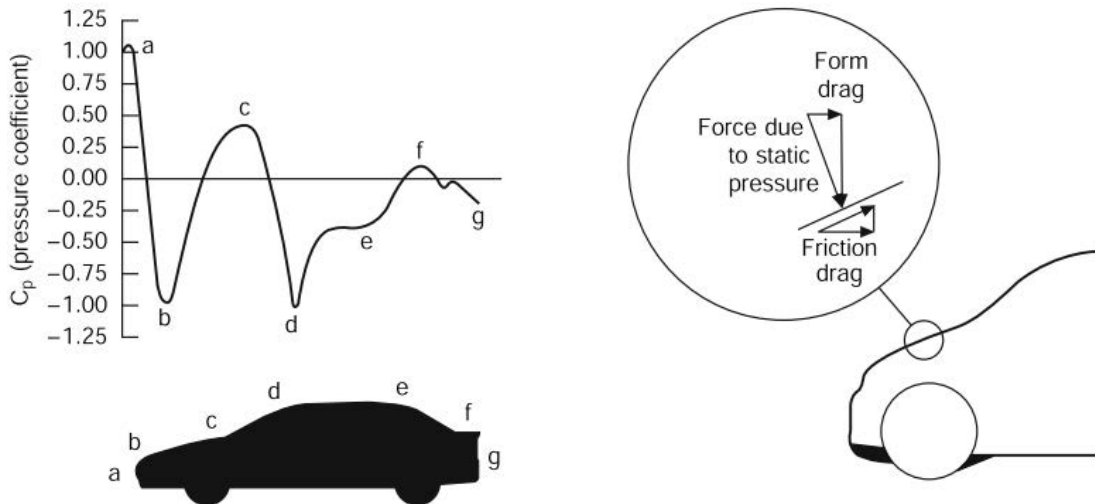
2.5.1 Arrasto

Segundo Crolla (2009), a força de arrasto é mais facilmente compreendida se ela for dividida em cinco elementos. O mais importante em relação aos veículos rodoviários é o arrasto de forma ou arrasto de pressão, que é o componente que está mais estreitamente identificado com a forma do veículo. Como um veículo se desloca para frente, o movimento do ar em torno dele origina pressões que variam ao longo da superfície do corpo como mostra a Figura 8(a). Se a superfície de área de um pequeno elemento é considerada, então há

componente de força atuante ao longo do eixo do veículo. A força de arrasto depende da magnitude da pressão da área do elemento sobre o qual atua e da inclinação do elemento de superfície conforme demonstra a Figura 8(b). Assim, é possível para dois projetos distintos, com área frontal similar, ter valores muito diferentes de forma de arrasto.

Como os fluxos de ar através da superfície dos veículos geram as forças de atrito, que dão origem à componente de arrasto, normalmente referido como arrasto de superfície ou arrasto de atrito.

Figura 8 - (a) Coeficiente de distribuição típica de pressão estática, (b) A força que atua sobre um elemento de superfície.

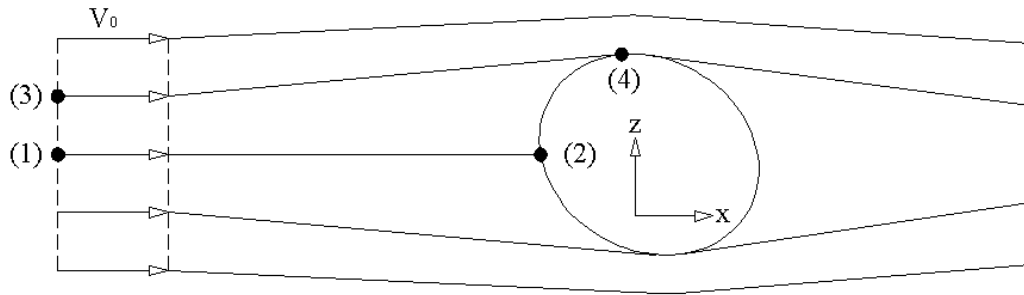


Fonte: (CROLLA, 2009)

Segundo Brunetti (2008), quando um corpo se move através de um fluido, há uma interação entre o corpo e o fluido. Esta interação pode ser descrita por forças que atuam na interface fluido-corpo.

Considerando-se um fluido ideal, elimina-se a existência de tensões de cisalhamento. Deseja-se explicitar que a distribuição das pressões não é uniforme sobre o corpo, o que ocasiona o aparecimento de uma força resultante não nula. A diferença de pressão de um ponto a outro do corpo será provocada pela diferença de velocidades do fluido.

Figura 9 - Representação das diferenças de velocidades na superfície de um corpo sólido.



Fonte: (BRUNETTI, 2008)

Aplicando-se a equação de Bernoulli entre os pontos (1) e (2) e, posteriormente, entre (3) e (4), assim como as equações de continuidade e fazendo-se as considerações necessárias para diferenças de pressão e altura, pode-se, após o desenvolvimento das equações, chegar a uma expressão final na direção x , que depende, por definição, de um coeficiente de correção determinado empiricamente.

Logo:

$$F_x = \int \frac{\rho \times \Delta(V^2)}{2} \times dAx = C_x \times \frac{\rho \times V_0^2 \times Ax}{2}, \quad (1)$$

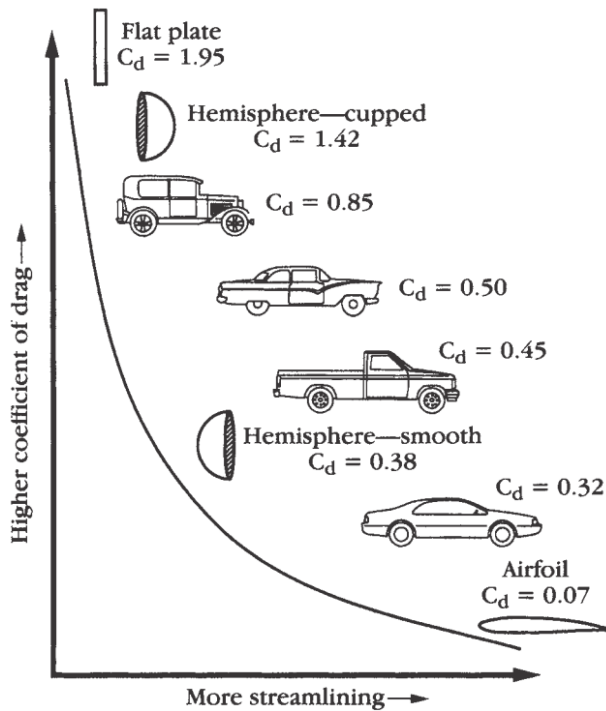
onde C_x é o coeficiente de arrasto ou coeficiente que permite que a expressão venha a coincidir com o valor real de F_x .

Serão denominados a partir deste ponto o coeficiente adimensional como C_d e a força de arrasto como F_{ad} . C_d pode ser obtido experimentalmente, pois se:

$$F_{ad} = C_d \times \frac{\rho \times V_0^2 \times Ax}{2} \Rightarrow C_d = \frac{2 \times F_{ad}}{\rho \times V_0^2 \times Ax} \quad (2)$$

É apresentado na Figura 10 o coeficiente de arrasto de algumas formas e tipos de veículos.

Figura 10 - Diferentes coeficientes de arrasto para diversos tipos de veículos.



Fonte: (LEITMAN; BRANT, 2009)

Segundo Leitman e Brant (2009), na década de 1980 o C_d dos veículos variava entre:

Carros = 0,30 a 0,35

Vans = 0,33 a 0,35

Pickup e Caminhão = 0,40 a 0,46

2.5.2 Tipos de escoamento

De acordo com Munson (1997), a discussão sobre os pulsos de pressão e a análise do aspecto das ondas de pressão sugere que os escoamentos podem ser classificados do seguinte modo:

1. Escoamento incompressível: $Ma \leq 0.3$. A comunicação dos pulsos é irrestrita, instantânea e praticamente simétrica. Pois a variação da densidade nessa condição é inferior a 3%.
2. Escoamento subsônico compressível: $0,3 < Ma < 1,0$. A comunicação dos pulsos de pressão é irrestrita, mas é assimétrica.
3. Escoamento supersônico compressível: $Ma \geq 1,0$. Formação da onda de Mach, a comunicação dos pulsos de pressão está restrita a zona de ação.

Adicionalmente a esta classificação, os escoamentos com $0,9 \leq Ma \leq 1,2$ são subclassificados como transônicos e os que apresentam $Ma > 5$ são denominados hipersônicos. Para a determinação do número de Mach no escoamento será utilizada a equação (3).

$$Ma = \frac{V_e}{c} \quad (3)$$

Ma: número de Mach (adimensional)

Ve: velocidade local do escoamento

c: velocidade local do som

2.6 CFD (DINÂMICA DOS FLUIDOS COMPUTACIONAL)

A Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) utiliza avançados softwares para modelar o fluxo de fluidos através de uma unidade de processamento. O fluido pode estar no estado líquido, gasoso ou na forma de partículas soltas, ou uma combinação deles. Usando simulação por computador com uma ampla gama de variações na concepção física e parâmetros operacionais, os testes podem ser refinados até que um conjunto que o melhor resultado seja alcançado (Computational Fluid Dynamics).

Embora a precisão absoluta das simulações ainda seja questionável não há dúvida de que tal, como um apontamento para as regiões de interesse em um fluxo particular têm revolucionado os estudos experimentais. A complexidade do fluxo completo ao redor e através de um veículo é extremamente complicado e, apesar das reclamações de alguns, é pouco provável que na próxima década simulações numéricas vão conseguir uma precisão suficiente para substituir testes de túnel de vento como a principal ferramenta para o desenvolvimento aerodinâmico. As relações entre as forças de viscosidade, pressão e força em um fluxo de fluidos são regidos pelas equações de Navier-Stokes. Para os fluxos reais, essas equações só podem ser resolvidas analiticamente, para casos simples muitos dos termos podem ser negligenciados. Para fluxos tridimensionais complexos, tais como aqueles associados com veículos rodoviários, é necessário alcançar uma solução aproximada usando os métodos numéricos (CROLLA, 2009).

2.7 ENERGIA EÓLICA

Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade (ou cata-ventos), e moinhos, para trabalhos mecânicos como bombeamento de água (COSTA, 2009).

O rendimento global do sistema eólico relaciona a potência disponível do vento com a potência final que é entregue pelo sistema. Os rotores eólicos ao extraírem a energia do vento reduzem a sua velocidade; ou seja, a velocidade do vento frontal ao rotor (velocidade não perturbada) é maior do que a velocidade do vento atrás do rotor (na esteira do rotor). Uma redução muito grande da velocidade do vento faz com que o ar circule em volta do rotor, ao invés de passar através dele.

À condição de máxima extração de energia, verifica-se uma velocidade na esteira do rotor igual a 1/3 da velocidade não perturbada. Em condições ideais, o valor máximo da energia captada por um rotor eólico é limitado pela eficiência de Betz, dada pelo fator 16/27 ou 0,593. Em outras palavras, 59,3% da energia contida no fluxo de ar pode ser teoricamente extraída por uma turbina eólica. Na prática, entretanto, o rendimento aerodinâmico das pás reduz ainda mais este valor. Para um sistema eólico, existem ainda outras perdas, relacionadas com cada componente (rotor, transmissão, caixa multiplicadora e gerador). Além disso, o fato do rotor eólico funcionar em uma faixa limitada de velocidade de vento também irá contribuir para reduzir a energia por ele captada. De acordo com Pereira (2012), para uma aplicação real, este coeficiente de rendimento é da ordem de 0,3 a 0,4 no máximo.

2.7.1 Potencial eólico

Potência é o trabalho (energia) pelo intervalo de tempo:

$$P = \frac{W}{\Delta t} \quad (4)$$

O trabalho realizado pelo vento que neste caso é igual a sua energia cinética é:

$$W = Ec = \frac{mV^2}{2} \quad (5)$$

então:

$$P = \frac{W}{\Delta t} \quad (6)$$

mas como

$$\frac{m}{\Delta t} = Q = \rho \times V \times A \quad (7)$$

finalmente tem-se:

$$P = \frac{\rho V^3 A}{2} \quad (8)$$

Onde: V - é a velocidade média do vento [m/s];

A - é área varrida pelas hélices do rotor [m²];

ρ - é a densidade do ar [kg/m³].

2.8 O PROJETO CINEMÁTICO E DINÂMICO

2.8.1 Força de resistência ao rolamento

A resistência ao rolamento acontece principalmente devido ao atrito do pneu do veículo com a superfície de contato. A fricção em rolamentos de engrenagem do sistema também desempenha seu papel. A resistência ao rolamento é aproximadamente constante e quase não depende da velocidade do veículo. É proporcional ao peso do veículo. É calculada pela equação (9).

$$F_{rr} = \mu_{rr} \times m \times g \quad (9)$$

onde μ_{rr} é o coeficiente de resistência ao rolamento. Os principais fatores que controlam o μ_{rr} são o tipo de pneu, a pressão dos pneus e o tipo de superfície de contato. Qualquer ciclista sabe muito bem que o desempenho da bicicleta torna-se muito melhor quando a pressão dos pneus está elevada, embora o passeio possa ser menos confortável.

2.8.2 Força de arrasto aerodinâmico

Esta componente da força é devido à fricção do corpo do veículo que se desloca através do ar. Ela é uma função da área frontal, forma, saliências, tais como espelhos laterais, dutos e passagens de ar, *spoilers*, e muitos outros fatores. Pode ser calculada pela equação (10).

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times C_d \times v^2 \quad (10)$$

onde ρ é a densidade do ar, A é a área frontal e v a velocidade do veículo. A constante C_d , correspondente ao coeficiente de arrasto, pode ser reduzida através de um bom projeto do veículo elétrico. Um valor típico para um carro sedã é de 0,3, mas alguns modelos de veículos elétricos têm alcançados valores tão baixos quanto 0,19. Há uma oportunidade maior para a redução do C_d no projeto de veículos elétricos, porque há mais flexibilidade na localização dos componentes principais, e que há menos necessidade de arrefecimento e de tubagens sob o veículo. No entanto, alguns veículos, como motocicletas e ônibus, inevitavelmente, têm valores muito maiores, apresentando um valor de C_d aproximado de 0,7.

2.8.3 Força em subidas

A força necessária para o veículo vencer o aclave equivale ao seu peso tangencial. Por simples deliberação da força, tem-se que:

$$F_{hc} = m \times g \times \text{sen}(\psi) \quad (11)$$

onde ψ é o ângulo da subida.

2.8.4 Força de aceleração linear

Se a velocidade de um corpo varia no decorrer do tempo, ele possui determinada aceleração que, por sua vez, ocorre devido a uma resultante de força não nula sobre o corpo. A segunda Lei de Newton afirma que:

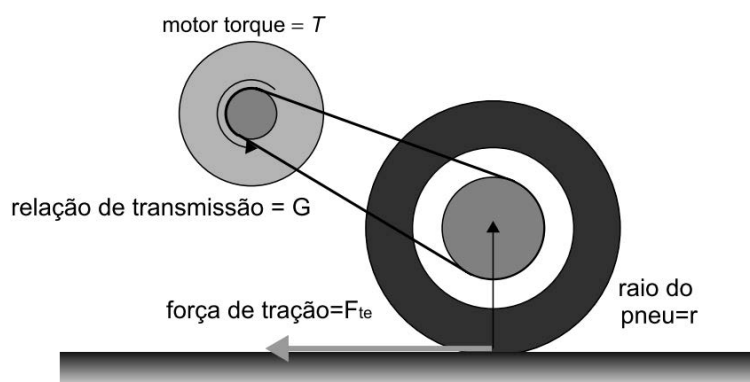
$$F_{la} = m \times a, \quad (12)$$

ou seja, a força necessária para acelerar o veículo corresponde ao produto de sua massa pela aceleração.

2.8.5 Força de aceleração angular de rotação do motor

Para uma imagem mais precisa da força requerida na aceleração do veículo, também deve-se considerar a força necessária para aumentar a rotação das partes rotativas. Em outras palavras, é preciso considerar, além da aceleração linear, a aceleração de rotação. Neste contexto, o principal componente a ser levado em consideração é o motor elétrico, não necessariamente devido a seu momento de inércia particularmente elevado, mas pelos altos valores de sua velocidade angular (RAMOS, 2013).

Figura 11 - Arranjo simples da ligação de um motor com a roda.



Fonte: (RAMOS, 2013)

Referindo-se à Figura 11, o torque no eixo corresponde a T , r é o raio do pneu e F_{te} é o esforço de tração transmitido pelo trem de força. Se G é a relação de transmissão do sistema de ligação motor e eixo e T é o torque do motor, então pode-se dizer que:

$$T = \frac{F_{te} \times r}{G} \quad (13)$$

e,

$$F_{tef} = \frac{G}{r} \times T \quad (14)$$

ou,

$$F_{tef} = \frac{F_{te}}{G}, \quad (15)$$

onde F_{tef} é a força de tração efetiva, necessária na entrada da transmissão.

Esta equação é usada também para desenvolver equações finais para o desempenho do veículo.

Deve-se observar que a velocidade angular do eixo equivale a: $\frac{v}{r} [rad \times s^{-1}]$

Assim, a velocidade angular do motor será:

$$\omega = G \times \frac{v}{r} \quad (16)$$

Da mesma forma, a aceleração angular do motor será:

$$\omega = G \times \frac{a}{r} rad \times s^{-2} \quad (17)$$

O torque requerido pela aceleração angular é:

$$T = I \times G \times \frac{a}{r} \quad , \quad (18)$$

em que I é o momento de inércia do rotor do motor. A força necessária nas rodas para fornecer a aceleração angular ($F\omega a$) é encontrada através da combinação desta equação com a equação (13):

$$F_{\omega a} = \frac{G}{r} \times I \times G \times \frac{a}{r} \quad , \quad (19)$$

Portanto,

$$F_{\omega a} = I \times \frac{G^2}{r^2} \times a \quad (20)$$

Nestas equações assume-se que o sistema de transmissão é 100% eficiente, ele não causa perdas. Uma vez que o sistema será geralmente muito simples, a eficiência é frequentemente alta. No entanto, ele nunca será 100%, e por isso a equação deve ser refinada, incorporando o rendimento do sistema de transmissão η_g . A força necessária será ligeiramente maior, de modo que a equação (20) pode ser refinada para:

$$F_{\omega a} = I \times \frac{G^2}{\eta_g \times r^2} \times a \quad (21)$$

Segundo Larminie (2003), muitas vezes o momento de inércia do motor não será conhecido. Em tais casos, uma aproximação razoável consiste em simplesmente aumentar a massa em 5% na equação (12), ou seja, considerar que $F\omega a$ equivale a 5% da força de aceleração linear.

3 METODOLOGIA

De acordo com Costa (2009), os passos para a conversão de um veículo a combustão interna para tração elétrica são:

- 1) Escolha do veículo;
- 2) Determinação do trajeto, fixando-se a autonomia mínima pretendida;
- 3) Definição da velocidade máxima requerida;
- 4) Elaboração dos cálculos preliminares para obtenção dos valores de torque e potência exigidos;
- 5) Avaliação do sistema de transmissão original do veículo;
- 6) Identificação do motor elétrico mais adequado;
- 7) Definição do sistema de controle de velocidade para o motor;
- 8) Escolha do banco de baterias para o veículo, levando em conta: a tensão resultante e a corrente máxima, de forma a compatibilizá-la com o controlador que atuará no motor. Ademais, outras condições características devem satisfazer os critérios do projeto: densidade de energia e potência, espaço disponível e arranjos das conexões;
- 9) Elaboração de simulações utilizando como dado o peso total do veículo com a máxima carga prevista a ser transportada, considerando a retirada dos componentes de propulsão originais e inserindo os novos dispositivos previstos para a adaptação. Verificar o desempenho em trechos horizontais e em aclives;
- 10) A partir dos cálculos iniciais, otimizar o sistema adaptado para que se obtenha a maior eficiência possível durante o funcionamento do veículo;
- 11) Com os passos anteriores definidos, faz-se necessário consultar as legislações pertinentes para viabilizar a legalização do veículo para circulação e compatibilizar o projeto com a legislação vigente;
- 12) Executar a conversão com uma visão crítica em relação ao projeto previsto, tendo como objetivo aperfeiçoá-lo durante a realização do trabalho.

O presente trabalho abordará a metodologia proposta por Costa até o passo 5, ou seja, os cálculos aqui presentes considerarão a transmissão original do veículo, permitirão um estudo das forças atuantes na movimentação do mesmo e, conseqüentemente, a determinação dos valores de torque e potência exigidos. Este estudo, portanto, fornecerá a base para um trabalho seguinte de especificação do motor elétrico mais adequado para o veículo em análise.

3.1 OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS INICIAIS

Para a colocação do veículo em movimento, devem ser propostos os requisitos de desempenho desejados e calculadas as condições impostas pela dinâmica do sistema. Desta forma, relaciona-se abaixo um conjunto de parâmetros necessários para cumprimento do objetivo proposto:

- Massa total estimada para o conjunto montado, incluindo o condutor;
- Raio externo do pneu;
- Dimensões frontais do veículo sujeito ao atrito do ar;
- Coeficiente de atrito de rolamento;
- Coeficiente aerodinâmico;
- Densidade do ar;
- Velocidade final;
- Tempo de aceleração;
- Tempo de desaceleração;
- Relações de transmissão das marchas do câmbio;
- Relação de transmissão do diferencial;
- Ângulo de inclinação de subida.

A partir das informações colocadas no sítio da Internet do fabricante do veículo (Volkswagen) e de uma página especializada em automobilística (<<http://www.carrosnaweb.com.br/fichadetalhe.asp?codigo=410>>) e com base no trabalho de (TORRUBIA; FILHO, 2012) foi elaborada a ficha técnica do veículo, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Dados do veículo Saveiro Comfortline 1.8

| Saveiro Comfortline 1.8 2003 | |
|-------------------------------------|----------------------|
| Ano | 2003 |
| Combustível | Gasolina |
| Configuração | Picape |
| Procedência | Nacional |
| Peso | 964 kg |
| Cilindrada | 1781 cc |
| Porte | Pequeno |
| Porta-Malas | 731 litros |
| Tanque | 53 litros |
| Tração | Dianteira |
| Comprimento | 4460 mm |
| Entreeixos | 2590 mm |
| Aceleração 0-100 km/h | 12,6 s |
| Velocidade Máxima | 157 km/h |
| Torque | 15,5 kgfm a 3000 rpm |
| Potência | 99 cv a 5500 rpm |
| Consumo Urbano | 7,8 km/l |
| Consumo Rodoviário | 12,7 km/l |
| Potência Específica | 55,59 cv/l |
| Peso/Potência | 9,74 kg/cv |
| Torque Específico | 8,70 kgfm/l |
| Peso/Torque | 62,19 kg/kgfm |
| Câmbio | Manual de 5 marchas |
| Largura | 1640 mm |
| Altura | 1490 mm |
| Área frontal | 2,180 m ² |

Fonte: Elaboração da autora

Da Tabela 1 tem-se que a massa do veículo equivale a 964 Kg. Estimando-se a massa do condutor como 75 Kg, chega-se a um valor da massa total do conjunto de 1039 Kg.

A Tabela 2 apresenta as informações sobre as relações de transmissão das marchas e do diferencial.

Tabela 2 - Dados das relações de transmissão da Saveiro Comfortline 1.8

| Saveiro Comfortline 1.8 2003 | |
|-------------------------------------|---------|
| Relação de transmissão | |
| 1ª Marcha | 1:3,455 |
| 2ª Marcha | 1:1,944 |
| 3ª Marcha | 1:1,286 |
| 4ª Marcha | 1:0,909 |
| 5ª Marcha | 1:0,730 |
| Ré | 1:3,167 |
| Diferencial | 1:4,111 |

Fonte: Elaboração da autora

Levantou-se os valores do diâmetro do conjunto roda-pneu, a partir do qual pôde-se obter o raio externo do mesmo. Os valores de velocidade máxima, aceleração e desaceleração foram estipulados de acordo com as necessidades de desempenho e de percurso previstas para o projeto. Tais dados encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados relacionados a intervalos de velocidade

| Saveiro Comfortline 1.8 2003 | |
|-------------------------------------|----------|
| Diâmetro | |
| Total (Conjunto roda-pneu) | 23,46" |
| Roda | 14" |
| Aceleração | |
| 0-100 km/h | 12 s |
| 0-1000 m | 34 s |
| 3ª 40-80 km/h | 7 s |
| 4ª 60-100 km/h | 12 s |
| 5ª 80-120 km/h | 20 s |
| Velocidade Máxima | 157 km/h |
| Desaceleração | |
| Frenagem 120 km/h a 0 | 67 m |
| Frenagem 80 km/h a 0 | 29 m |
| Frenagem 60 km/h a 0 | 16 m |

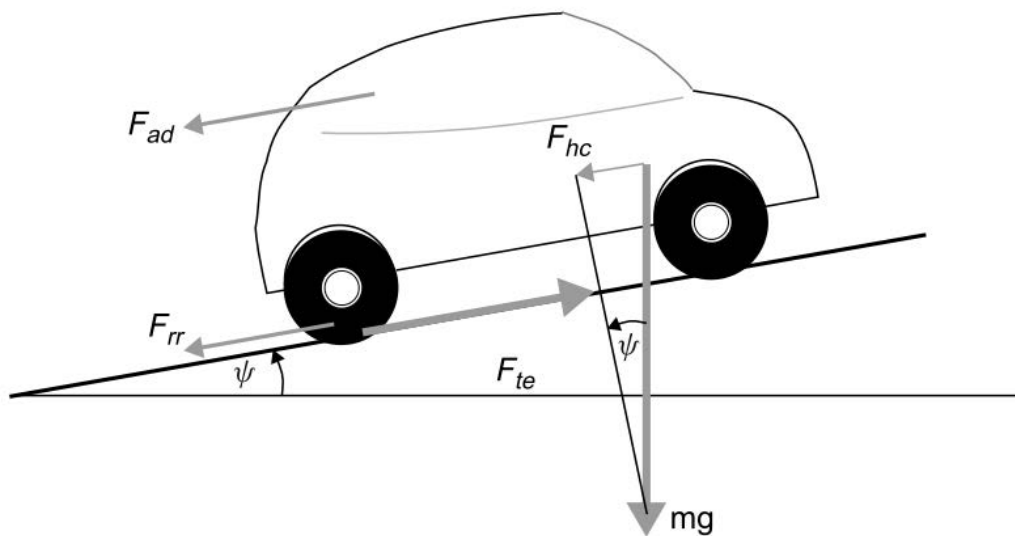
Fonte: Elaboração da autora

3.2 FORÇA DE TRACÇÃO TOTAL

O primeiro passo para a modelagem do desempenho do veículo elétrico é o equacionamento da força de tração total. Esta é a força de propulsão do veículo para à frente, transmitida para o solo através do acionamento das rodas.

Considere um veículo de massa m , a uma velocidade v , acima de uma inclinação de ângulo Ψ , como na Figura 12.

Figura 12 - As forças atuantes em um veículo ao longo de um aclave.



Fonte: (RAMOS, 2013)

A força de propulsão do veículo para à frente tem que:

- Superar a resistência ao rolamento;
- Superar o arrasto aerodinâmico;
- Proporcionar a força necessária para superar a componente de peso do veículo, atuando abaixo da inclinação;
- Acelerar o veículo, se a velocidade não é constante.
- Permitir a aceleração angular de rotação do motor

A equação que define a força de tração total é expressa por:

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} + F_{\omega\alpha} \quad (22)$$

Onde:

- F_{rr} é a força de resistência ao rolamento;
- F_{ad} é o arrasto aerodinâmico;
- F_{hc} é a força para vencer o aclave;
- F_{la} é a força necessária para se obter uma aceleração linear;
- $F_{\omega\alpha}$ é a força necessária para se obter a aceleração angular de rotação do motor.

3.2.1 Força de resistência ao rolamento

Para o cálculo desta componente de força, utiliza-se a equação (9).

A massa do conjunto (veículo e condutor) equivale a 1039 Kg.

A Tabela 4 contém o valor do coeficiente de atrito para várias superfícies diferentes. O coeficiente utilizado para os cálculos foi o do asfalto plano, correspondente a 0,017.

Tabela 4 - Coeficiente de atrito (f) do pneu em diferentes superfícies

| Superfície | f | Superfície | f |
|---------------------|-------|--------------------|---------------|
| Concreto defeituoso | 0,01 | Macadam sinuoso | 0,037 |
| Concreto plano | 0,015 | Neve – 5 cm | 0,025 |
| Concreto sinuoso | 0,02 | Neve – 10 cm | 0,037 |
| Asfalto defeituoso | 0,012 | Superfície lisa | 0,025 |
| Asfalto plano | 0,017 | Superfície arenosa | 0,04 |
| Asfalto sinuoso | 0,022 | Barro | 0,037 + 0,150 |
| Macadam defeituoso | 0,015 | Areia | 0,060 + 0,150 |
| Macadam plano | 0,022 | Areia solta | 0,160 + 0,300 |

Fonte: (TORRUBIA; FILHO, 2012)

3.2.2 Força de arrasto aerodinâmico

A força de arrasto foi calculada através da equação (10).

A densidade do ar (ρ) naturalmente varia com a temperatura, altitude e umidade. Nas condições de atmosfera padrão ou seja, à pressão de 101,3 kPa (14,7 psi) e à temperatura de

15 °C (59 °F), é $1,23 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ($0,00238 \text{ slug}\cdot\text{ft}^{-3}$), que foi o valor considerado nos cálculos do presente trabalho.

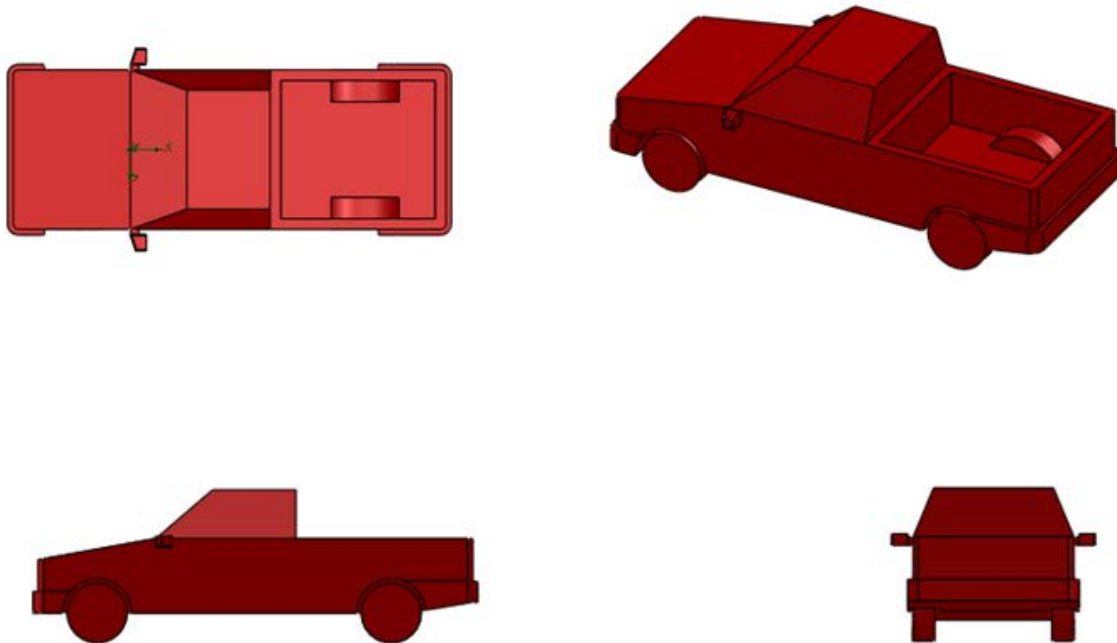
A área frontal do veículo foi obtida na ficha de especificações técnicas do veículo, como mencionado no item 3.1., correspondente a $2,18 \text{ m}^2$.

Já o coeficiente de arrasto (C_d) foi baseado no trabalho de (RAMOS, 2013).

3.2.2.1 Obtenção do coeficiente de arrasto

Para a determinação do coeficiente de arrasto que será utilizado no cálculo da força de arrasto do ar sobre o veículo em movimento, foi utilizado como base o trabalho de (RAMOS, 2013). O software *SolidWorks*® é utilizado para a modelagem da Saveiro e o software de *CFD Flow Simulation*® para a realização da simulação numérica computacional do túnel de vento, que fornece o esforço gerado pelo deslocamento da Saveiro.

Figura 13 - Modelagem das formas básicas de uma Saveiro com a utilização do software *SolidWorks*® para a simulação numérica computacional



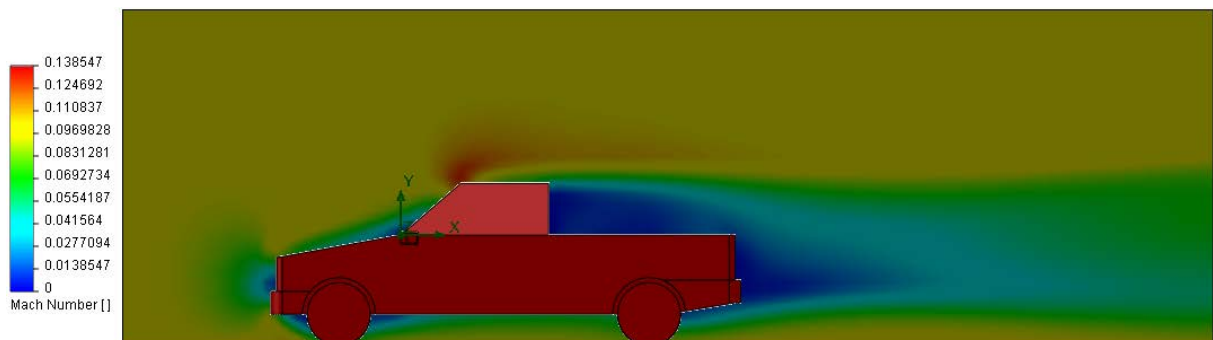
Fonte: (RAMOS, 2013)

As premissas adotadas para o estudo em questão foram as seguintes:

- Velocidade do veículo para o cálculo: 120 km/h (33,33 m/s)
- Densidade do ar: $1,24 \text{ kg}/\text{m}^3$

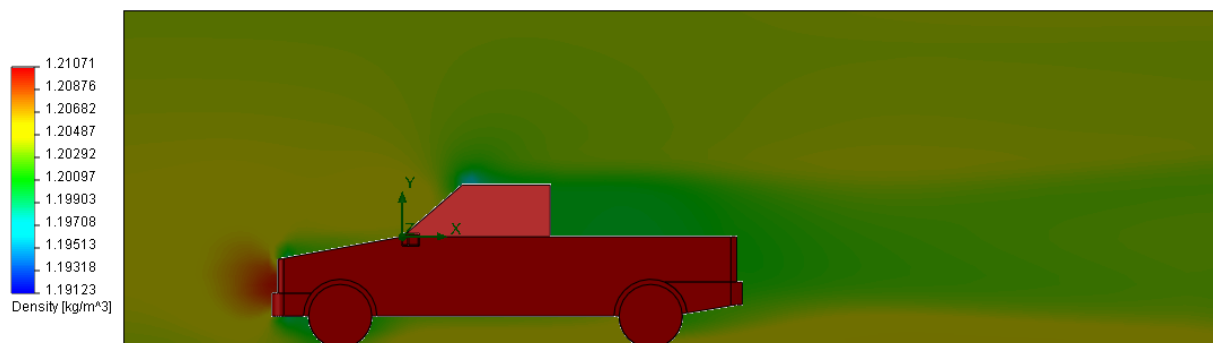
- Área frontal da Saveiro : 2,0 m²
- Massa do veículo: 1074 kg
- Coeficiente de atrito: 0,01
- Inclinação da pista: 2°
- Tempo de aceleração de 0 - 120km/h: 12,4 s
- Aceleração média: 2,68 m/s²
- Velocidade do som no ar á temperatura de 30°C: 349,2 m/s
- Momento de inércia igual a 5% da massa do veículo conforme item 1.7.4
- Relação de transmissão final 5ª marcha + diferencial: 3,099
- Rendimento da transmissão: 95% ou 0,95
- Pneus: 195/60R14 (diâmetro externo 540 mm)
- Número de Mach: 0,0954 (escoamento incompressível)

Figura 14 - Representação do número de Mach, software Flow Simulation



Fonte: (RAMOS, 2013)

Figura 15 - Representação da variação da densidade no fluxo de escoamento, software Flow Simulation



Fonte: (RAMOS, 2013)

Conforme os dados de saída obtidos da simulação, a Figura 16 exibe a força de arrasto gerada pela velocidade de 120 km/h (33,33m/s) impressa pelo veículo e a Figura 17 exibe o coeficiente fluidodinâmico encontrado.

Figura 16 - Esforço aerodinâmico

Esforço aerodinâmico na Saveiro (velocidade de teste 120km/h / 33,33m/s)

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|--------------------------|------|------------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------------|-------------|
| GG X - Comp.of Normal Fo | [N] | 565,480727 | 565,4862574 | 561,1374718 | 567,844319 | 100 | Yes | 6,706847188 | 38,21308654 |

Fonte: (RAMOS, 2013)

Figura 17 - Coeficiente Aerodinâmico

Coeficiente Aerodiâmico Cd do modelo da Saveiro

| Goal Name | Unit | Value | Averaged Value | Minimum Value | Maximum Value | Progress [%] | Use In Convergence | Delta | Criteria |
|-----------------|------|-------------|----------------|---------------|---------------|--------------|--------------------|-------------|-------------|
| Equation Goal 2 | [] | 0,410511658 | 0,410515673 | 0,407358665 | 0,412227512 | 100 | Yes | 0,004868847 | 0,027740853 |

Fonte: (RAMOS, 2013)

Portanto, o valor do coeficiente de arrasto utilizado nos cálculos do presente trabalho é o valor médio obtido na simulação, correspondente a 0,41, como mostra a Figura 17.

3.2.3 Força em subidas

Utilizou-se a equação (11) no cálculo desta componente de força.

Da literatura, tem-se que um valor comumente utilizado para o ângulo de subida considerando trajetórias urbanas, as quais apresentam baixo grau de dificuldade, é de 2 graus. Baseado em Ramos (2013), foi adotado esse valor para os cálculos aqui presentes.

3.2.4 Força de aceleração linear

Para determinar a aceleração, foram fixados os tempos desejados para que o veículo variasse sua velocidade de 10 em 10 km/h e calculado o valor de $\Delta V/\Delta t$.

Assim, substitui-se o valor da aceleração na equação (12), obtendo então a força necessária para acelerar o veículo.

3.2.5 Força de aceleração angular de rotação do motor

Nos cálculos aqui presentes, considera-se Larminie (2003), ou seja, a componente de força responsável pela aceleração angular do motor pode ser calculada pela equação (23).

$$F_{\alpha} = 0,05 \times F_{la} \quad (23)$$

3.3 TORQUE DE SAÍDA DO REDUTOR

O torque na saída do sistema de transmissão corresponde ao torque no eixo da roda, podendo ser calculado pela equação (24).

$$T_s = r \times F_t \quad (24)$$

onde: T – torque de saída [Nm]

r – raio da roda [m]

F_t – força total [N]

3.4 ROTAÇÃO DE SAÍDA DO REDUTOR

A rotação na saída do sistema de transmissão corresponde à rotação do eixo da roda, ou seja, a própria rotação da roda. Então, pode-se dizer que:

$$\omega_s = \frac{V}{r} \times \frac{60}{2\pi} \quad (25)$$

onde: ω_s - rotação de saída [rpm]

r – raio da roda [m]

V – velocidade do protótipo [m/s]

3.5 TORQUE DE ENTRADA DO REDUTOR

O torque na entrada do sistema de transmissão pode ser calculado a partir do torque de saída, já que são conhecidas as relações de transmissão de cada marcha e do diferencial.

$$T_e = \frac{T_s}{R_t \times dif \times \eta} , \quad (26)$$

onde: T_e – torque de entrada [Nm]

R_t – relação de transmissão da marcha em questão

dif – relação de transmissão do diferencial

η – rendimento do redutor

3.6 ROTAÇÃO DE ENTRADA DO REDUTOR

Analogamente à variável torque, a rotação na entrada do redutor pode ser calculada a partir da rotação na saída do mesmo, com a utilização das relações de transmissão da marcha e do diferencial.

$$\omega_e = \frac{\omega_s}{R_t \times dif} , \quad (27)$$

onde: ω_e - rotação de entrada [rpm]

3.7 POTÊNCIA DE SAÍDA DO REDUTOR

A potência na saída do sistema de transmissão é calculada pelo produto da rotação e do torque de saída, como mostra a equação (28).

$$P_s = T_s \times \omega_s \times \frac{2\pi}{60} \times \frac{1}{735,5} , \quad (28)$$

onde: P_s – potência de saída [CV]

3.8 POTÊNCIA DE ENTRADA DO REDUTOR

Analogamente à potência de saída, a potência na entrada do sistema de transmissão é calculada pelo produto da rotação e do torque de entrada, como mostra a equação (29).

$$P_e = T_e \times \omega_e \times \frac{2\pi}{60} \times \frac{1}{735,5}, \quad (29)$$

onde: P_e – potência de entrada [CV]

Ou ainda:

$$P_e = \frac{P_s}{\eta} \quad (30)$$

Esta potência na entrada do redutor é equivalente à potência de saída do motor, ou seja, a potência solicitada ao propulsor para movimentar o veículo.

3.9 POTENCIAL EÓLICO

A Tabela 5 lista todos os componentes do subsistema de iluminação do veículo e as respectivas cargas. Pode-se observar que este subsistema consome um total 713 W de energia.

Tabela 5 - Cargas do subsistema de iluminação

| CARGAS AUTOMOTIVAS | | | | | | |
|--------------------------|---------------------|------------|-------|-------------------|--------------|-----------------|
| FUNÇÃO | CONSUMO/UNIDADE [W] | | QTDE. | CONSUMO TOTAL [W] | | CONSUMO DIÁRIO* |
| | LÂMPADA | LED | | LÂMPADA | LED | |
| FAROL BAIXO | 50 | 30 | 2 | 100 | 60 | 60 |
| FAROL ALTO | 70 | 55 | 2 | 140 | 110 | 20 |
| FAROL DE NEBLINA | 55 | 30 | 2 | 110 | 60 | 60 |
| SETAS LD | 21 | 4 | 1 | 21 | 4 | 1 |
| SETAS LE | 21 | 4 | 1 | 21 | 4 | 1 |
| SETAS LD | 21 | 4 | 1 | 21 | 4 | 1 |
| SETAS LE | 21 | 4 | 1 | 21 | 4 | 1 |
| SETA LATERAL ADICIONAL | 5 | 1 | 4 | 20 | 4 | 1 |
| LUZ CORTESIA | 5 | 1 | 3 | 15 | 3 | 1 |
| LUZ DE FREIO | 21 | 4 | 2 | 42 | 8 | 4 |
| LANTERNA NEBLINA | 21 | 4 | 1 | 21 | 4 | 1 |
| LUZ DE RE | 21 | 4 | 2 | 42 | 8 | 1 |
| LUZ PLACA | 5 | 1,3 | 1 | 5 | 1,3 | 1,3 |
| LANTERNA DIANTERIA | 5 | 1,3 | 2 | 10 | 2,6 | 1 |
| LANTERNA TRASEIRA | 5 | 1,3 | 2 | 10 | 2,6 | 1 |
| LUZES EMERGÊNCIA | 21 | 5 | 4 | 84 | 20 | 2 |
| ILUMINAÇÃO TECLAS - 58 D | 1 | 0,2 | 10 | 10 | 2 | 2 |
| PORTA LUVA | 5 | 1,3 | 1 | 5 | 1,3 | 1 |
| PORTA MALA | 5 | 1,3 | 1 | 5 | 1,3 | 1 |
| ILUMINAÇÃO CLUSTER | 5 | 1,3 | 2 | 10 | 2,6 | 1 |
| BRAKE LIGHT AUX | 0 | 4 | 1 | 0 | 4 | 2 |
| TOTAL | 384 | 162 | | 713 | 310,7 | 164,3 |

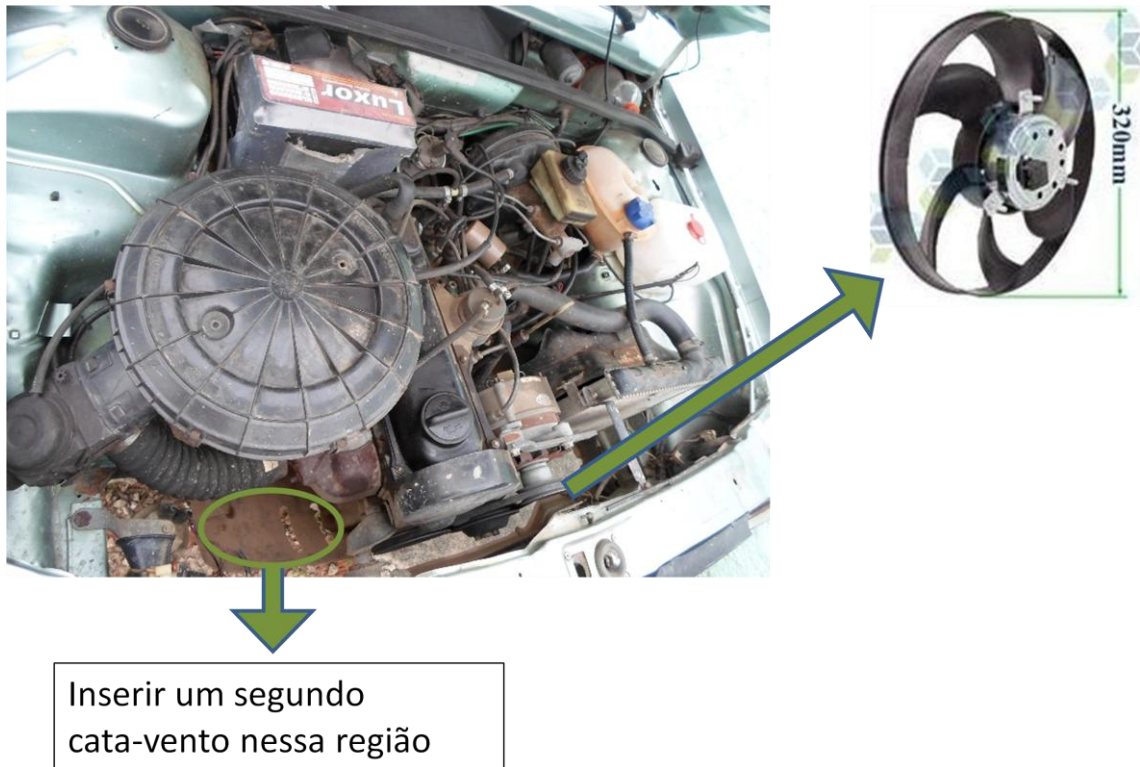
Fonte: Elaboração da autora

A proposta para geração de energia elétrica a partir de energia eólica foi instalar um cata-vento na área frontal do veículo. Dessa forma, com o carro em movimento, a velocidade do vento corresponde à velocidade relativa entre o carro e o ar, que será aproximada como a própria velocidade do veículo.

Com a substituição do motor de combustão interna para motor elétrico, o radiador não será mais necessário no veículo, visto que a insignificante quantidade de calor liberada pelo motor elétrico viabiliza a eliminação do componente de refrigeração. Conseqüentemente, a ventoinha do radiador também deixa de ter função no veículo. Observado esse fato, foi elaborada a proposta de inverter as pás da ventoinha do radiador, de forma que ela seja aproveitada para atuar como cata-vento. Isso facilita muito o processo de instalação do sistema de captação de energia eólica, já que não será necessária praticamente nenhuma adaptação mecânica no veículo para este cata-vento. Com a substituição do motor a

combustão, alguns componentes da região frontal do veículo poderão ser eliminados e disponibilizarão um espaço nessa área, que poderá ser aproveitado para a instalação de um cata-vento auxiliar, como mostra a Figura 18.

Figura 18 - Representação do local de instalação dos dois cata-ventos



Fonte: Elaboração da autora

Do catálogo da Bauen, são obtidos os dados técnicos da ventoinha da Saveiro 1.8, representada na Figura 19.

Figura 19 - Ventoinha da Saveiro 1.8



Fonte: (< <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-512691770-ventoinha-radiador-saveiro-18-18i-9396-bauen-JM?redirectedFromParent=MLB499109288>>)

Com o diâmetro de 320 mm, calcula-se a área da ventoinha:

$$A_1 = \frac{\pi \times 320^2}{4} \Rightarrow A_1 = 0,080m^2$$

Já para o segundo cata-vento, estima-se um diâmetro de 400 mm, o que resulta em uma área de:

$$A_2 = \frac{\pi \times 400^2}{4} \Rightarrow A_2 = 0,126m^2$$

Inserindo o coeficiente de potência (C_p) como 0,4 na equação (8), que é o máximo valor para situações reais, tem-se:

$$P = C_p \times \frac{\rho V^3 A}{2} = 0,4 \times \frac{\rho V^3 A}{2} \quad (31)$$

A soma das áreas dos cata-ventos resulta em $0,206 \text{ m}^2$. O valor da densidade do ar utilizada é de $1,23 \text{ kg/m}^3$, como já demonstrado no item 3.2.2. Assim foi possível estimar a potência gerada pelos cata-ventos para cada intervalo de velocidade.

Por fim, a potência gerada foi comparada com a consumida pelo subsistema de iluminação do veículo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DISTRIBUIÇÃO DOS INTERVALOS DE VELOCIDADE POR MARCHA

A Tabela 6 contém os intervalos de velocidade estipulados para cada marcha, de acordo com restrições do manual do veículo.

Tabela 6 - Velocidades de cada marcha

| Marchas | Velocidade inicial (km/h) | Velocidade final (km/h) |
|------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| <i>1ª Marcha</i> | 0 | 10 |
| | 10 | 20 |
| <i>2ª Marcha</i> | 20 | 30 |
| | 30 | 40 |
| <i>3ª Marcha</i> | 40 | 50 |
| | 50 | 60 |
| <i>4ª Marcha</i> | 60 | 70 |
| | 70 | 80 |
| <i>5ª Marcha</i> | 80 | 90 |
| | 90 | 100 |
| | 100 | 110 |
| | 110 | 120 |

Fonte: Elaboração da autora

4.2 CÁLCULO DAS ACELERAÇÕES

A Tabela 7 contém os tempos estipulados para cada intervalo de velocidade, respeitando restrições técnicas do veículo, e consequente cálculo das acelerações.

Tabela 7 - Cálculo das acelerações

| Marchas | ΔV (m/s) | Δt (s) | Aceleração Média (m/s ²) |
|-----------|------------------|----------------|--------------------------------------|
| 1ª Marcha | 2,778 | 2,00 | 1,389 |
| | 2,778 | 2,00 | 1,389 |
| 2ª Marcha | 2,778 | 2,50 | 1,111 |
| | 2,778 | 3,00 | 0,926 |
| 3ª Marcha | 2,778 | 3,50 | 0,794 |
| | 2,778 | 4,50 | 0,617 |
| 4ª Marcha | 2,778 | 6,00 | 0,463 |
| | 2,778 | 8,00 | 0,347 |
| 5ª Marcha | 2,778 | 14,00 | 0,198 |
| | 2,778 | 20,00 | 0,139 |
| | 2,778 | 20,00 | 0,139 |
| | 2,778 | 22,00 | 0,126 |

Fonte: Elaboração da autora

4.3 CÁLCULO DAS FORÇAS INDIVIDUAIS

Após o cálculo de cada componente de força para cada intervalo de velocidade, foi montada a Tabela 8.

Tabela 8 - Cálculo das componentes de força

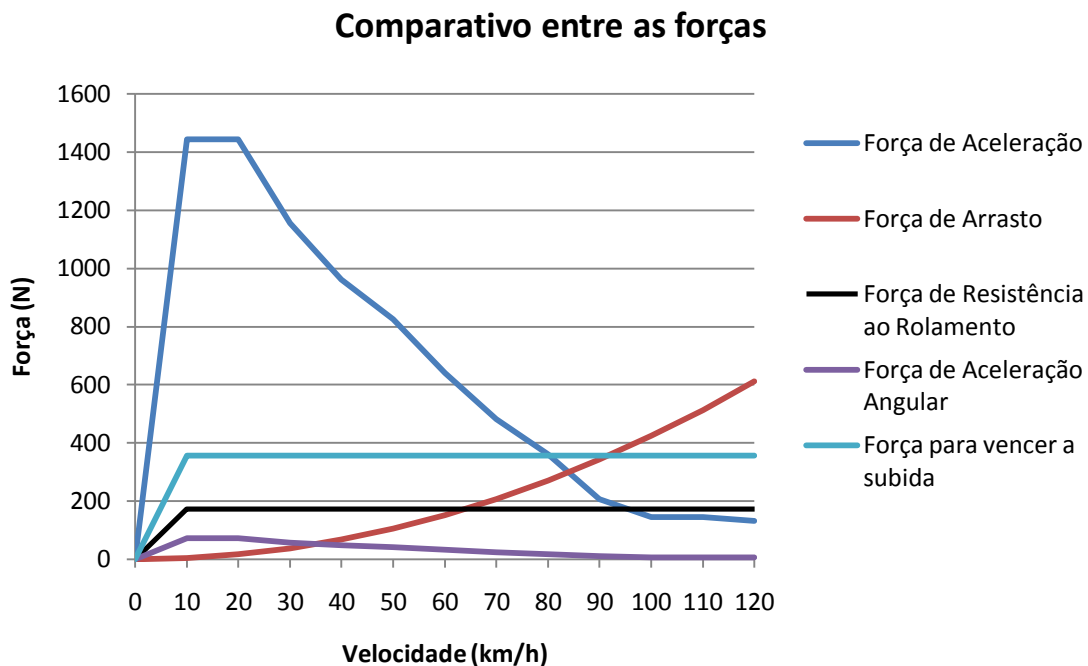
| Marchas | Força de Aceleração (N) | Força de Arrasto Aerodinâmico(N) | Força de resistência ao rolamento (N) | Força de aceleração angular (N) | Força para vencer a subida (N) |
|-----------|-------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| 1ª Marcha | 1443,06 | 4,24 | 173,17 | 72,15 | 355,72 |
| | 1443,06 | 16,97 | 173,17 | 72,15 | 355,72 |
| 2ª Marcha | 1154,44 | 38,17 | 173,17 | 57,72 | 355,72 |
| | 962,04 | 67,86 | 173,17 | 48,10 | 355,72 |
| 3ª Marcha | 824,60 | 106,04 | 173,17 | 41,23 | 355,72 |
| | 641,36 | 152,69 | 173,17 | 32,07 | 355,72 |
| 4ª Marcha | 481,02 | 207,83 | 173,17 | 24,05 | 355,72 |
| | 360,76 | 271,45 | 173,17 | 18,04 | 355,72 |
| 5ª Marcha | 206,15 | 343,55 | 173,17 | 10,31 | 355,72 |
| | 144,31 | 424,14 | 173,17 | 7,22 | 355,72 |
| | 144,31 | 513,21 | 173,17 | 7,22 | 355,72 |
| | 131,19 | 610,76 | 173,17 | 6,56 | 355,72 |

Fonte: Elaboração da autora

4.4 COMPARAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE CADA FORÇA PARA CADA INTERVALO DE VELOCIDADE

A partir dos resultados mostrados na Tabela 8, foi plotado gráfico representado na Figura 20.

Figura 20 - Gráfico de comparação entre as forças



Fonte: Elaboração da autora

Pode-se observar que a força que apresenta maior resistência à movimentação do veículo é a força de aceleração (até aproximadamente 80 km/h). A velocidades mais elevadas, a força de arrasto predomina. É interessante observar que isso ocorre devido ao fato da força de arrasto crescer exponencialmente com o aumento da velocidade.

As forças de resistência ao rolamento e para vencer a subida são constantes para qualquer velocidade. A força de aceleração angular é praticamente desprezível.

4.5 CÁLCULO DA FORÇA TOTAL

A partir de um somatório de todas as forças envolvidas na cinemática do veículo, foi calculada a força total, como mostra a Tabela 9.

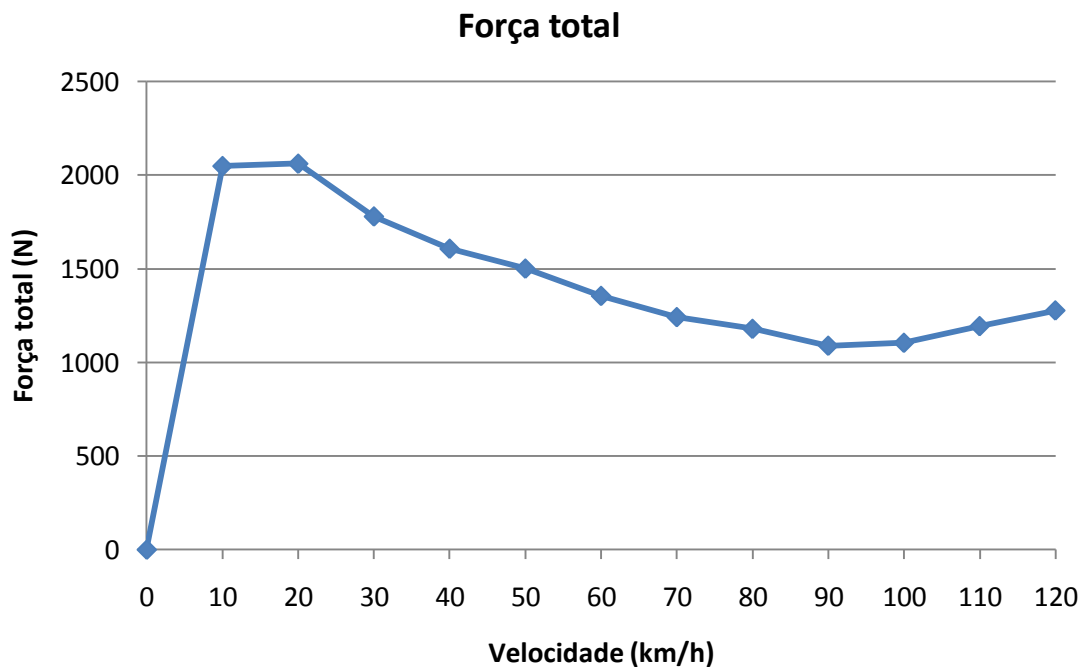
Tabela 9 - Cálculo da força total

| Marchas | Força Total (N) |
|-----------|-----------------|
| 1ª Marcha | 2048,33 |
| | 2061,06 |
| 2ª Marcha | 1779,22 |
| | 1606,89 |
| 3ª Marcha | 1500,75 |
| | 1355,00 |
| 4ª Marcha | 1241,78 |
| | 1179,14 |
| 5ª Marcha | 1088,90 |
| | 1104,55 |
| | 1193,62 |
| | 1277,39 |

Fonte: Elaboração da autora

E o gráfico da Figura 21 foi plotado.

Figura 21 - Gráfico da força total



Fonte: Elaboração da autora

4.6 CÁLCULO DO TORQUE DE SAÍDA E ROTAÇÃO DE SAÍDA NO REDUTOR

Na saída do sistema de transmissão, são obtidos os seguintes valores para as variáveis torque e rotação, para cada intervalo de velocidade, como mostra a Tabela 10.

Tabela 10 - Cálculo dos torques e rotações de saída

| Marchas | Torque de Saída (Nm) | Rotação de Saída (rpm) |
|------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| <i>1ª Marcha</i> | 610,44 | 89,01 |
| | 614,23 | 178,03 |
| <i>2ª Marcha</i> | 530,24 | 267,04 |
| | 478,88 | 356,05 |
| <i>3ª Marcha</i> | 447,26 | 445,06 |
| | 403,82 | 534,08 |
| <i>4ª Marcha</i> | 370,08 | 623,09 |
| | 351,41 | 712,10 |
| <i>5ª Marcha</i> | 324,52 | 801,12 |
| | 329,19 | 890,13 |
| | 355,73 | 979,14 |
| | 380,69 | 1068,15 |

Fonte: Elaboração da autora

4.7 CÁLCULO DO TORQUE DE ENTRADA E ROTAÇÃO DE ENTRADA NO REDUTOR

Na entrada do sistema de transmissão, são obtidos os seguintes valores para as variáveis torque e rotação, para cada intervalo de velocidade, como mostra a Tabela 11.

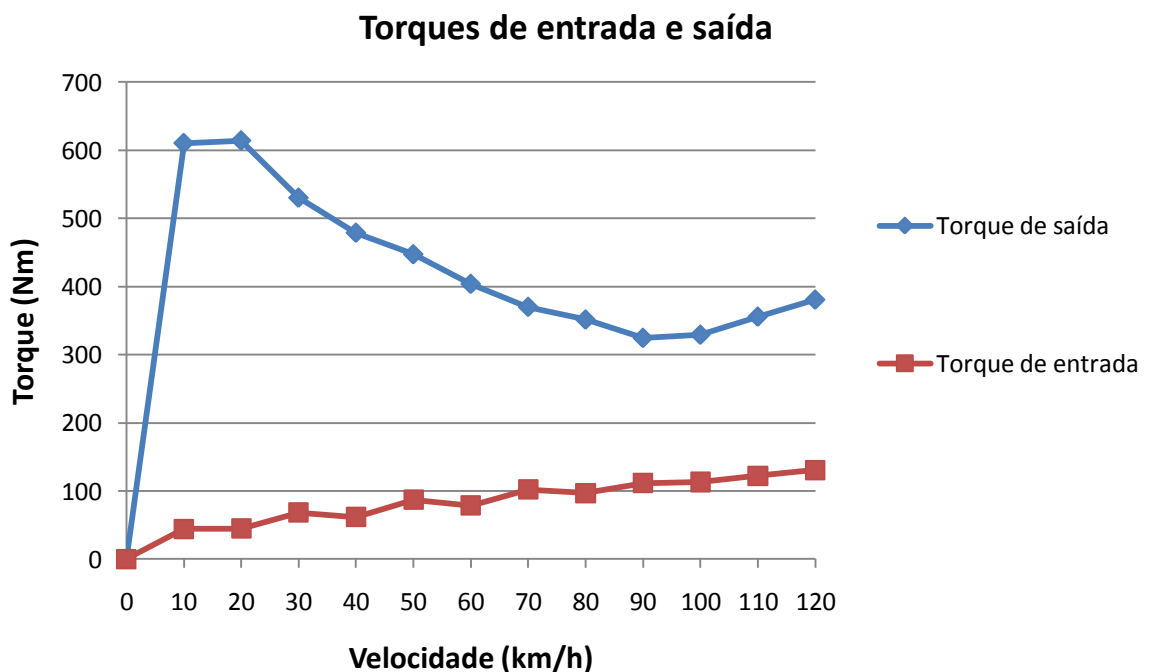
Tabela 11 - Cálculo dos torques e rotações de entrada

| Marchas | Torque de Entrada (Nm) | Rotação de Entrada (rpm) |
|-----------|------------------------|--------------------------|
| 1ª Marcha | 44,31 | 1264,29 |
| | 44,58 | 2528,59 |
| 2ª Marcha | 68,40 | 2134,11 |
| | 61,78 | 2845,49 |
| 3ª Marcha | 87,22 | 2352,94 |
| | 78,75 | 2823,53 |
| 4ª Marcha | 102,10 | 2328,42 |
| | 96,95 | 2661,06 |
| 5ª Marcha | 111,48 | 2404,17 |
| | 113,08 | 2671,30 |
| | 122,20 | 2938,43 |
| | 130,78 | 3205,56 |

Fonte: Elaboração da autora

4.8 REPRESENTAÇÃO DOS TORQUES DE ENTRADA E SAÍDA DO REDUTOR

Figura 22 - Curvas de torque de entrada e saída



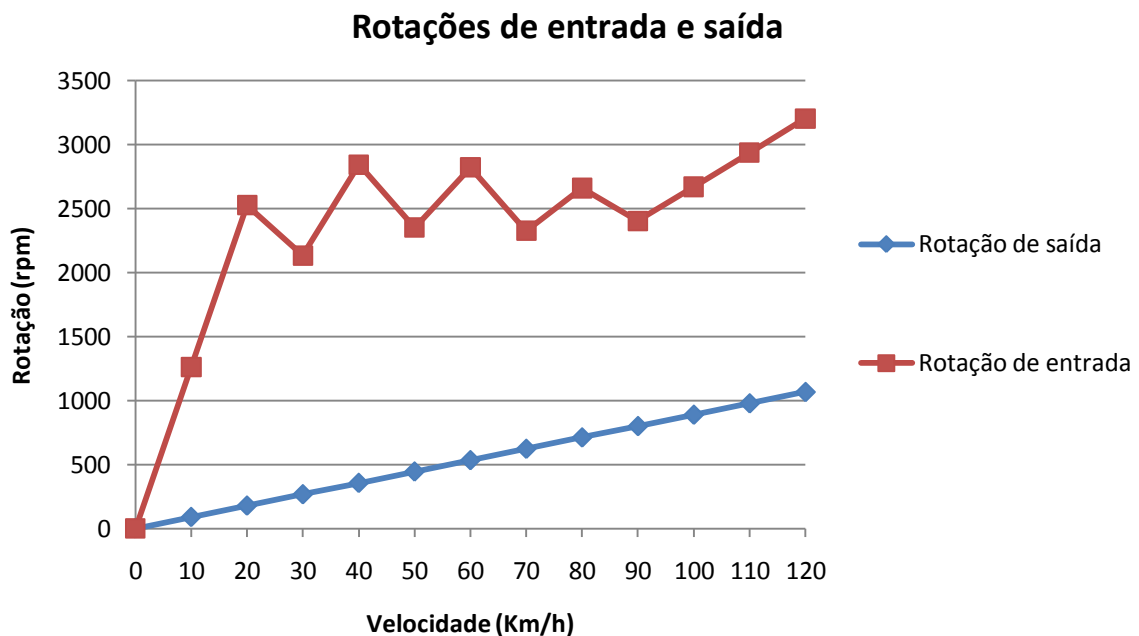
Fonte: Elaboração da autora

A Figura 22 mostra que o torque na saída do sistema de transmissão é maior que o torque na entrada, o que confirma que o redutor de velocidade aumenta o torque transmitido.

A partir de uma análise do comportamento da curva de torque, pode-se localizar regiões onde devem ser tomadas providências para aumentar ou diminuir os valores de torque, conforme necessidade de cada caso. Assim, pode-se dizer que a representação gráfica (Figura 22), servirá como base para um futuro estudo de transmissão veicular, indicando, por exemplo, pontos onde a relação de transmissão da respectiva marcha deve ser alterada.

4.9 REPRESENTAÇÃO DAS ROTAÇÕES DE ENTRADA E SAÍDA DO REDUTOR

Figura 23 - Curvas das rotações de entrada e saída



Fonte: Elaboração da autora

Ao contrário do que acontece com os valores de torque, a rotação do eixo é diminuída pelo sistema de transmissão, como é observado na Figura 23.

As oscilações mostradas na curva indicam os pontos onde há troca de marcha. Os picos são justificados pela variação da relação de transmissão: ao mudar a marcha, a nova relação de transmissão com um valor mais baixo que a anterior faz com que a rotação caia instantaneamente e, posteriormente, volte a crescer.

4.10 CÁLCULO DA POTÊNCIA DE SAÍDA E DE ENTRADA NO REDUTOR

Com os valores de rotação e torque, foi montada a Tabela 12, que mostra os valores da potência de eixo na entrada e saída do sistema de transmissão.

Tabela 12 - Cálculo das potências de saída e entrada

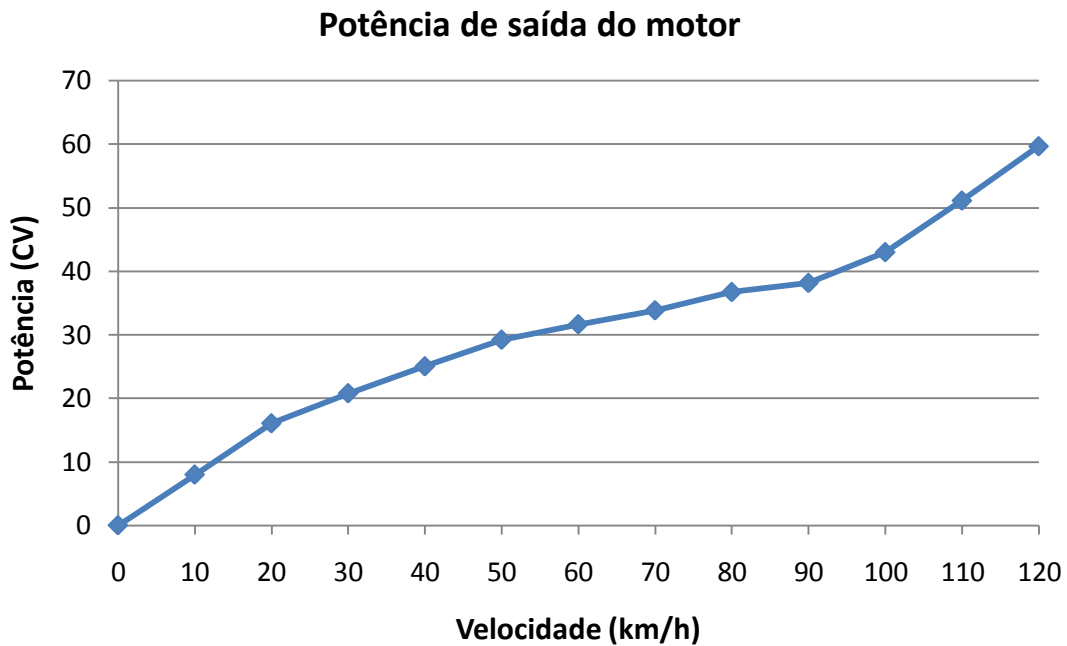
| Marchas | Potência de Saída (CV) | Potência de Entrada (CV) |
|------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| <i>1ª Marcha</i> | 7,74 | 7,98 |
| | 15,57 | 16,05 |
| <i>2ª Marcha</i> | 20,16 | 20,78 |
| | 24,28 | 25,03 |
| <i>3ª Marcha</i> | 28,34 | 29,22 |
| | 30,71 | 31,66 |
| <i>4ª Marcha</i> | 32,83 | 33,85 |
| | 35,63 | 36,73 |
| <i>5ª Marcha</i> | 37,02 | 38,16 |
| | 41,72 | 43,01 |
| | 49,59 | 51,13 |
| | 57,90 | 59,69 |

Fonte: Elaboração da autora

Observa-se que, ao relacionar a potência de saída pela potência de entrada, é obtido o valor de 0,97, correspondente ao rendimento do sistema de transmissão.

A potência que entra no redutor é fornecida pelo motor, ou seja, equivale à potência de saída do motor. Esse valor é interessante pois é a partir dele que será especificado o motor do veículo. Foi plotado então o gráfico representado na Figura 24.

Figura 24 - Curva da potência solicitada ao motor



Fonte: Elaboração da autora

Apesar de a força total diminuir, observa-se que, quanto maior a velocidade do veículo, mais potente o motor deve ser. Isso ocorre devido ao aumento da rotação, fator que influencia diretamente na potência.

Com o gráfico observa-se ainda que, se a velocidade do carro for limitada a 90 km/h, por exemplo, um motor de 40 CV é suficiente. O contrário também é válido: caso tenha-se em mãos um motor com determinada potência nominal para ser instalado no carro, pode-se, a partir do gráfico, verificar a máxima velocidade que o veículo irá atingir.

4.11 CÁLCULO DA POTÊNCIA EÓLICA OBTIDA PELO CATA-VENTO

A partir da equação (31), são obtidos os valores da potência eólica “capturada” pelos cata-ventos (em Watts), que será convertida em energia elétrica. São mostrados na Tabela 13 também os valores convertidos para Cavalo-Vapor.

Tabela 13 - Cálculo da potência eólica nos cata-ventos

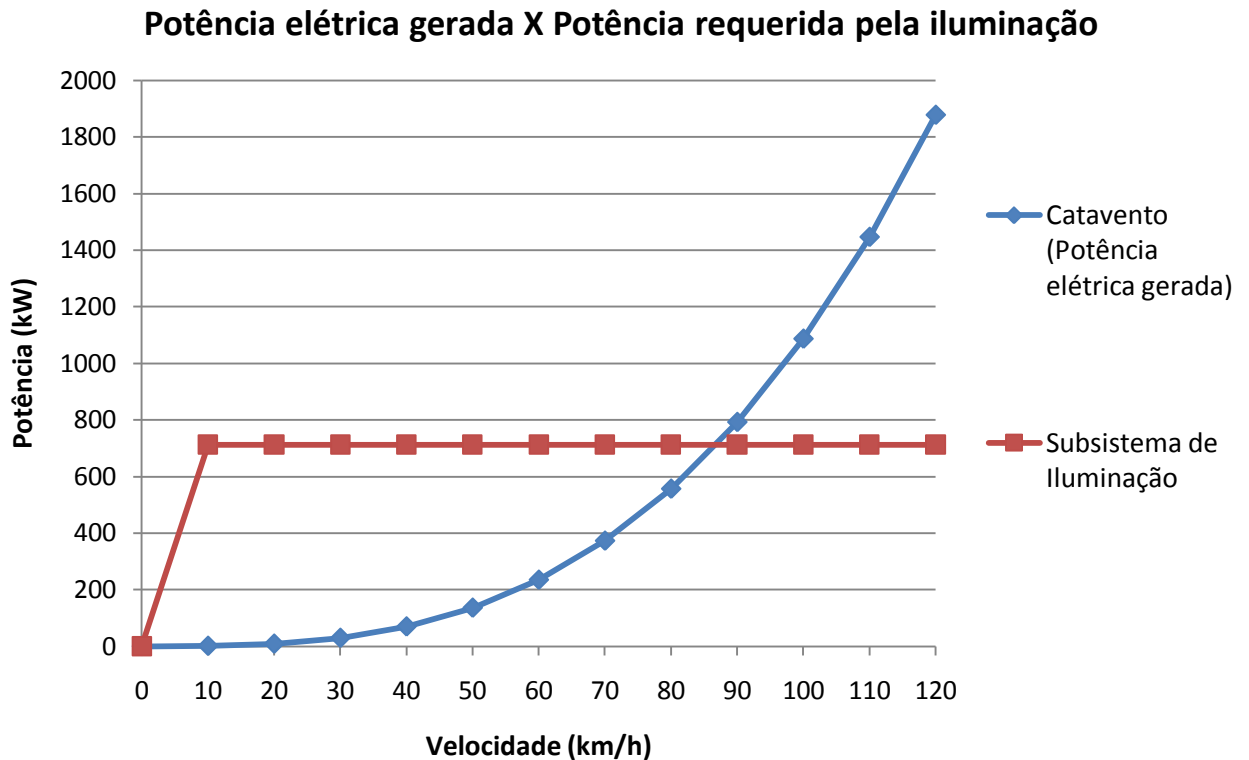
| Marchas | Potência Eólica (W) | Potência Eolica (CV) |
|-----------|---------------------|----------------------|
| 1ª Marcha | 1,09 | 0,00 |
| | 8,69 | 0,01 |
| 2ª Marcha | 29,34 | 0,04 |
| | 69,54 | 0,09 |
| 3ª Marcha | 135,83 | 0,18 |
| | 234,71 | 0,32 |
| 4ª Marcha | 372,71 | 0,51 |
| | 556,35 | 0,76 |
| 5ª Marcha | 792,15 | 1,08 |
| | 1086,63 | 1,48 |
| | 1446,30 | 1,97 |
| | 1877,70 | 2,55 |

Fonte: Elaboração da autora

4.12 COMPARAÇÃO ENTRE POTÊNCIA EÓLICA GERADA PELO CATA-VENTO E A POTÊNCIA REQUERIDA PELO SUBSISTEMA DE ILUMINAÇÃO

O sistema de iluminação do veículo tem uma demanda de 713W, como detalha o item 3.9.

Figura 25 - Comparação da potência obtida com os cata-ventos com a potência requerida pelo subsistema



Fonte: Elaboração da autora

Na Figura 23, observa-se que a potência elétrica gerada a partir dos cata-ventos é maior que potência requerida pelo subsistema de iluminação apenas a partir de 87 km/h, aproximadamente. Ou seja, somente a velocidades superiores a essa, os cata-ventos são capazes de alimentar o subsistema, aliviando o motor elétrico.

A tais velocidades, o excesso de potência gerada pode ser armazenado na bateria e, desta forma, alimentar o sistema de iluminação quando o veículo estiver a velocidades onde a geração de energia é insuficiente para o fim desejado (ou seja, inferiores a 87 km/h).

5 CONCLUSÕES

Conforme demonstra o desenvolvimento deste trabalho, conclui-se que até 80 km/h, a força mais resistente à movimentação do veículo é a força de aceleração. Para velocidades mais elevadas, a força de arrasto predomina, visto que ela é uma função exponencial da velocidade do veículo. A resistência da força de aceleração angular é desprezível, e a força de resistência ao rolamento também tem pouca influência na movimentação do protótipo.

Observa-se também que o torque transmitido às rodas diminui com o aumento da velocidade, tendo o seu valor máximo próximo de 615 Nm, logo na arrancada do veículo a partir do repouso.

Pode-se considerar que, se a velocidade máxima do veículo elétrico for limitada a 90 km/h, um motor de potência nominal de 40 CV é satisfatório. Caso seja desejada uma velocidade máxima mais elevada, deve-se selecionar um motor mais potente.

A implementação dos cata-ventos para alimentar o subsistema de iluminação do veículo foi validada através dos cálculos, visto que há geração de potência superior a 713 W, que é exatamente a demanda do sistema.

Por fim, conclui-se que o protótipo sugerido com motor de 40 CV é uma boa proposta de veículo elétrico urbano, visto que a velocidade máxima atingida (90 km/h) é mais que suficiente para trajetórias urbanas, e as condições de movimentação impostas (inclinação da pista de 2 graus, valores das acelerações) também condizem com este tipo de trajetória.

Pode-se dizer que as limitações do veículo devem-se principalmente ao seu peso elevado. A VW Saveiro tem uma estrutura muito robusta, composta basicamente por aço. Com a troca para um material mais leve e alívio da estrutura, a diminuição do peso do protótipo acarretaria em menos resistência ao movimento (diminuição das forças de aceleração, para vencer a subida e de resistência ao rolamento) e permitiria uma melhor performance do veículo, com um motor de mesma potência nominal.

REFERÊNCIAS

BRAIN, M. **Como funcionam as baterias de íon-lítio**. Disponível em: <<http://eletronicos.hsw.uol.com.br/baterias-ion-litium.htm>>. Acesso em: 16 jun. 2013.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos Fluidos**. 2 ed. São Paulo: Pearson, 2005.

CAMPOS, S. **A poluição causada pelos veículos**, 2003. Disponível em: <<http://www.drashirleydecampos.co.br/noticias/1141>>. Acesso em: 12 jun. 2013.

CARUSO, JOSÉ M. **Controle de velocidade de um MIT tracionando um veículo elétrico**. 2007. Dissertação de Mestrado, UNITAU, 2007.

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica “Sérgio de Salvo Brito”. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 11 out. 2013.

Computational Fluid Dynamics. Disponível em: <<http://www.cfd.com.au/>>. Acesso em: 02 ago. 2013.

COSTA, M. **Estudo da Influência do Ângulo das Pás de um Aerogerador na Geração de Energia**. 2008. Trabalho de conclusão de curso, UEM – FE, 2008.

COSTA, P. G. **A Bíblia do Carro**, 2001. Disponível em: <<http://www.livrosfaculdade.com/2010/04/biblia-do-carro-paulo-g-costa.html>>. Acesso em: 09 mai. 2013.

COSTA, W. **Metodologia para conversão de veículos equipados com motores a combustão interna para tração elétrica**. 2009. Dissertação de Mestrado, UERJ, 2009.

CROLLA, D. A. **Automotive Engineering**. 1. ed. Oxford: Elsevier, 2009.

DUPONT. **Soluções e problemas do carro elétrico**, 2012. Disponível em: <<http://www.ecycle.com.br/tecnologia-a-favor/63-solucoes-problemas-carro-eletrico.html>>. Acesso em: 18 out. 2013.

GOLDEMBERG, C.; LEBENSZTAJN, L.; PELLINI, E.L.; **A evolução do carro elétrico**, 2005. Disponível em: <<http://www.lps.usp.br/lps/arquivos/conteudo/grad/dwnld/CarroEletrico2005.pdf>>. Acesso em: 03. jun. 2013.

GUERRA, S. **Composição Química do Petróleo**, 2009. Disponível em: <<http://guerraquimica.blogspot.com.br/2009/08/composicao-quimica-do-petroleo.html>>. Acesso em: 25/06/2013.

LARMINIE J., LOWRY J. **Electric Vehicle Technology Explained**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2003.

LEITMAN, S.; BRANT, B. **Eletric Vehicle**. 2. ed. New York: Mc Graw Hill, 2009.

MENDES J. C. **Por que o carro elétrico?**, 2008. Disponível em: <<http://clubedocarroelettrico.com.br/index.php?page-comps/porque-o-carro/>>. Acesso em: 19 jul. 2013.

MUNSON, B. R.; YOUNG, D. F.; OKIISHI, T. H. **Fundamentos da Mecânica dos Fluidos**, vol. 2. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.

PEREIRA, A. M. R. **Energia Eólica**, 2012. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfOs4AA/energia-eolica>>. Acesso em: 11 out. 2013.

RAMOS, D. F. **Estado da Arte da Obtenção de redito de Carbono Via Adoção de Veículo Elétrico**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, 2012.

RAMOS, D. F. **Tração em veículo elétrico: Estado da arte e influência da força de arrasto no cálculo da força de tração dos veículos elétricos, determinação do coeficiente de arrasto aerodinâmico**. 2013. Dissertação de Mestrado, UNITAU, 2013.

ROCHA, G. **Sistema De Transmissão Automotiva**, 2009. Disponível em: <<http://www.infomotor.com.br/site/2009/08/sistema-de-transmissao-automotiva/>>. Acesso em: 02 ago. 2013.

TORRUBIA P. A. A., FILHO P. S. C. **Protótipo de um VW Saveiro Elétrico: Projeto Cinemático**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso, UNITAU, 2012.

Wikipedia. **Veículo elétrico**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ve%C3%ADculo_el%C3%A9trico>. Acesso em: 17 jun. 2013.

Wikipedia. **Motor elétrico**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9trico>. Acesso em: 17 jun. 2013.