

## **PROJETO DE UM SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO DO TIPO MINI-BAJA**

**Francisco José Grandinetti, [grandi@unitau.br](mailto:grandi@unitau.br)<sup>1</sup>**

**Marcio Abud Marcelino, [abud@feg.unesp.br](mailto:abud@feg.unesp.br)<sup>2</sup>**

**Heitor Giovanelli Carlésimo, [hecarlesimo@uol.com.br](mailto:hecarlesimo@uol.com.br)<sup>2</sup>**

**Paulo Antonio dos Santos, [engpaulosantos@ig.com.br](mailto:engpaulosantos@ig.com.br)<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade de Taubaté, R Daniel Danelli S/N, Jardim Morumbi, Taubaté.

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” Campus de Guaratinguetá; Av Ariberto Pereira da Cunha 333, Guaratinguetá.

**Resumo:** *Este trabalho consiste na elaboração de um projeto mecânico para a adaptação de uma transmissão de um sistema de acionamento composto por: um motor elétrico, controlador de velocidade, e transmissão mecânica/redutor, no chassi de um mini-baja incluindo o desenvolvimento do projeto e a fabricação de um protótipo. Será utilizado um redutor de velocidade com relação 2,53:1. Essa relação foi encontrada a partir de uma série de cálculos e testes nas quais as especificações do motor elétrico (torque, rotação e potência) deviam ser atendidas.*

**Palavras-chave:** *motor elétrico, mini-baja, redutor velocidade*

### **1. INTRODUÇÃO**

O principal motivo para a utilização de veículo elétrico é que eles são uma alternativa para a redução da emissão de poluentes na atmosfera já que eles não poluem, são silenciosos e são mais econômicos que os carros à combustão interna que por outro lado além de extremamente ruidosos, são os maiores responsáveis pela poluição do ar no país já que com o ao mesmo tempo em que aumentam a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera, que segundo os cientistas, causa estrago em todo o planeta. Estima-se que o consumo médio de energia de um carro elétrico seja de aproximadamente um terço daquele de um carro a gasolina.

O carro elétrico, que é econômico, flexível, prático e acima de tudo não-poluidor, tem se tornado o foco de atenção para muitos fabricantes de automóvel. O princípio do motor elétrico de um automóvel é o mesmo dos outros motores elétricos, tal como aqueles utilizados para trens elétricos. Um rotor (parte móvel) gira em relação a um estator (parte estável) sob o efeito de um campo magnético gerado eletricamente. Este rotor transmite o movimento às partes funcionais, que são as rodas em um carro elétrico. Um redutor e um diferencial são colocados no “eixo-motor” para adaptar sua velocidade aos raios de roda que dependem da aceleração ou desaceleração.

Este projeto consiste em utilizar um motor elétrico por indução trifásico em um veículo do tipo mini-baja, que enquadra perfeitamente as exigências de tamanho, peso e durabilidade necessitados ao protótipo.

O motor será controlado por uma placa eletrônica que visa uma melhor eficiência e aproveitamento das baterias.

A transmissão de movimento do eixo do motor para as rodas do veículo será feita através de um redutor de velocidade, com relação de transmissão de 2,54:1, na qual há redução da rotação na roda e assim aumentado o torque na mesma.

#### **1.1. Motores Elétricos**

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 utilização de energia elétrica, baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando. Possui construção simples, custo reduzido, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos.

#### **1.2. Redutores**

Redutor de velocidade é um dispositivo mecânico que reduz a velocidade (rotação) de um acionador. Seus principais componentes são basicamente: Eixos de entrada e saída, rolamentos, engrenagens e carcaça.

O redutor de velocidade é utilizado quando é necessária a adequação da rotação do acionador para a rotação requerida no dispositivo a ser acionado.

Devido às leis da física, quando há redução da rotação, aumenta-se o torque disponível.

Existem diversos tipos e configurações de redutores de velocidade, sendo os mais comuns os redutores de velocidade por engrenagens. Essas engrenagens, por sua vez, podem ser cilíndricas ou cônicas. Pode-se ainda utilizar o sistema coroa e rosca sem fim.

Já os dentes das engrenagens podem ser retos ou helicoidais. Quando há intenção de se reduzir a vibração e ruído utiliza-se, nos redutores, engrenagens de dentes helicoidais, já que a transmissão de potência, nesse caso, é feita de maneira mais homogênea. Por outro lado, as engrenagens de dentes retos são mais simples de serem fabricadas e por isso apresentam menor custo

Os redutores de velocidade trabalham normalmente com apenas uma taxa de redução. No caso de existir a possibilidade de atuar no dispositivo e alterar a taxa de redução, este passa a ser chamado de câmbio ou caixa de marchas.

## 2. CONSIDERACOES DE PROJETO

Antes dos cálculos, deve-se saber que de acordo com a especificação do motor, para o calculo do torque, a potência é de 1,5 CV para uma rotação de 1680 rpm.

O raio da roda "r" tem um valor de 24cm ou 0,24m.

A relação de transmissão do redutor é de 2,53:1 e o seu rendimento de 0,89

### 2.1. Carro Parado

#### 2.1.1. Cálculo do Torque Máximo

Segue abaixo os cálculos efetuados para o dimensionamento e desenvolvimento do projeto. Para calcularmos o torque necessário para que o carro vença a inércia utiliza-se a Eq.(1).

$$T = \frac{P \cdot 71620}{n} \quad (1)$$

Onde: T é o torque (N.m); P é a potência (cv); n é a rotação (rpm).

Substituindo os valores obtidos nas especificações do motor na Eq. (1), tem-se o torque máximo como segue:

$$T = \frac{1,5 \cdot 71620}{1680} = 63,94 \text{ cmKgf} = 6,4 \text{ N.m}$$

#### 2.1.2. Calculo da Resistência ao Rolamento

Na fig. 1, tem-se um esboço das forcas envolvidas durante a movimentação de um automóvel.

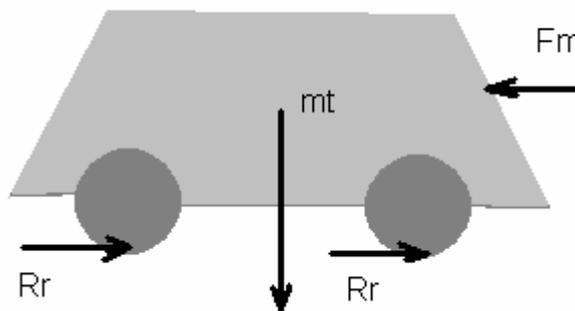


Figura 1. Forcas Envolvidas

A força de resistência de rolamento da fig. 2 é dada pela Eq. 2, como segue:

$$R_r = m_t \cdot f \quad (2)$$

Onde:  $m_t$  é o peso total do sistema (veículo + condutor) e  $f$  é o coeficiente de atrito.

Assim, para o cálculo da resistência de rolamento, considera-se que o peso do mini-baja é de 200 kg, do piloto 75 kg totalizando 275 kg, que multiplicado pela aceleração da gravidade, obtém-se um peso total de 2697,75 N. O valor do coeficiente de atrito ( $f$ ), tabelado, é dado por 0,015 enquanto que o peso total é igual a 2697,75 N. Assim, a resistência ao rolamento, que correspondente ao valor contrário a força motor, é dada por:

$$R_r = 2697,75 \times 0,015 = 40,46625N$$

### 2.1.3. Cálculo da Aceleração do Veículo Parado até Atingir uma Velocidade Final “ $V_f$ ” em um Dado Intervalo de Tempo “ $t$ ”.

Atribuindo valores para velocidade final e tempo, adotou-se

$$V_f = 10km/h \quad \text{ou} \quad V_f = 2,777778m/s \quad \text{e} \quad t = 60s$$

Logo a aceleração ( $a$ ) pode ser calculada por:

$$a = (V_f - V_0) / t \quad (3)$$

Então:

$$a = (2,777778 - 0) / 60 \Rightarrow a = 0,046296m/s^2$$

### 2.1.4. Cálculo da Força Total de Contato com o Solo “ $F_t$ ” (força necessária para acelerar o veículo + força de rolamento)

Como a força para acelerar o veículo “ $F_a$ ” é dada pela Eq.(4), tem-se:

$$F_a = m_t \cdot a \quad (4)$$

$$F_a = 275kg \times 0,046296m/s^2 \Rightarrow F_a = 12,73148N$$

Sabendo que a força total de contato com o solo “ $F_t$ ” é dada pela Eq.(5):

$$F_t = F_a + R_r \Rightarrow F_t = 12,73148 + 40,46625 = 53,19773N \quad (5)$$

### 2.1.5. Cálculo do Torque e Rotação de Saída do Redutor:

Sabendo que o torque de saída do redutor é o mesmo que o torque da roda, e que o cálculo do torque pode ser feito a partir da Eq.(6):

$$T = F_t \times r \quad (6)$$

Onde  $r$  é o raio da roda dado em metros. Logo substituindo os valores de  $F$  e  $r$  na equação, e adotando “ $T_s$ ” como torque de saída do redutor, tem-se:

$$T_s = 53,19773 \times 0,24 \Rightarrow T_s = 12,76746N \cdot m$$

De maneira análoga, a rotação de saída do redutor “ $n_s$ ” (dado em rpm) também pode ser calculada a partir da rotação da roda, onde o calculo da rotação pode ser calculada a partir da Eq.(7):

$$n_s = \left( \frac{V_f}{r} \right) \times \left( \frac{60}{2\pi} \right) \quad (7)$$

$$n_s = \left( \frac{2,777778}{0,24} \right) \times \left( \frac{60}{2\pi} \right) \Rightarrow n_s = 110,5243rpm$$

### 2.1.6. Cálculo do Torque de Entrada e da Rotação do Redutor

O torque de entrada “ $T_e$ ” do redutor pode ser calculado a partir do torque de saída do redutor, pela Eq.(8):

$$T_e = \left( \frac{T_s}{Rt} \right) / \eta \quad (8)$$

Onde: Rt é a relação de transmissão do redutor (2,53) e  $\eta$  é o rendimento do redutor (0,89)

Logo, substituindo os valores na Eq.(7) tem-se:

$$T_e = \left( \frac{12,76746}{2,53} \right) / 0,89 \Rightarrow T_e = 5,670141N.m$$

De maneira análoga, a rotação de entrada do redutor “ $n_e$ ” pode ser calculada a partir da rotação de saída do redutor, pela Eq.(9):

$$n_e = n_s \times Rt \quad (9)$$

Substituindo os valores de  $n_s$  e Rt mencionados anteriormente, temos que:

$$n_e = 110,5243 \times 2,53 \Rightarrow n_e = 279,6264rpm$$

### 2.1.7. Cálculo da Potência de Entrada e da Potencia de Saída do Redutor

A potência do motor “W” pode ser calculada pela Eq.(10):

$$W = (T \times n \times 2\pi) / 60 \quad (10)$$

Então a potência na saída do redutor “ $W_s$ ” pode ser calculada por:

$$W_s = (T_s \times n_s \times 2\pi) / 60 \quad (11)$$

Substituindo os valores encontrados para  $T_s$  e  $n_s$  temos:

$$W_s = (12,76746 \times 110,5243 \times 2\pi) / 60 \Rightarrow W_s = 147,77148Watts$$

Convertendo Watts para Cavalo Vapor, a partir da Eq.(11):

$$1cv = \frac{1Watt}{735,5} \quad (12)$$

logo:

$$W_s = 147,77148 / 735,5 \Rightarrow W_s = 0,200913cv$$

Da mesma forma podemos calcular a potencia na entrada do redutor, onde:

$$W_e = (T_e \times n_e \times 2\pi) / 60 \quad (13)$$

E substituindo os valores encontrados para  $T_e$  e  $n_e$  obtemos:

$$W_e = (5,670141 \times 279,6264 \times 2\pi) / 60 \Rightarrow W_e = 166,04Watts$$

E novamente convertendo esse valor para cv:

$$W_e = 0,2255915 cv$$

### 2.1.8. Torque, Rotação e Potência do Motor do Veículo Partindo da Inércia

Sabendo que o torque necessário do motor, a rotação do motor e a potência deste para que o veículo vença a inércia são os mesmos que os encontrados na entrada do redutor, logo:

Torque necessário do motor = 5,670141N.m

Rotação do motor = 279,6264 rpm

Potência do motor = 0,2255915 cv

E comparando com os valores dados da especificação do motor, onde:

Torque máximo = 6,4 N.m

Rotação do motor elétrico = 1680 rpm

Potência do motor elétrico = 1,5 cv

Pode-se concluir que o veículo consegue vencer a inércia e partimos para a segunda parte dos cálculos, do carro em movimento.

## 2.2. Carro em Movimento:

De maneira análoga aos cálculos para o carro parado, os cálculos para o carro em movimento devem ser feitos dentro das especificações do motor elétrico.

### 2.2.1. Cálculo da Aceleração do Veículo de uma Velocidade Inicial “ $V_0$ ” até Atingir uma Velocidade Final “ $V_f$ ” em um Dado Intervalo de Tempo “ $t$ ”.

Utilizando o valor de  $V_0$  (velocidade inicial) como o 10km/h ( $V_f$  do carro parado), tem-se que:

$$V_0 = 10 \text{ km/h} \quad \text{ou} \quad V_0 = 2,777778 \text{ m/s}$$

E atribuindo novos valores para  $V_f$  e  $t$  do carro em movimento, adotou-se

$$V_f = 60 \text{ km/h} \quad \text{ou} \quad V_f = 16,66667 \text{ m/s} \quad \text{e} \quad t = 200 \text{ s}$$

E sabendo que a aceleração “ $a$ ” do carro em movimento pode ser calculada utilizando a Eq.(3), tem-se:

$$a = (16,66667 - 2,777778) / 200 \Rightarrow a = 0,0694444 \text{ m/s}^2$$

### 2.2.2. Cálculo da força total de contato com o solo “ $F_t$ ” (“força necessária para acelerar o veículo + força de rolamento):

Sabendo que o arraste aerodinâmico é uma função da área frontal do veículo, e se tratando de um veículo tipo mini-baja, no qual a área frontal é vazada, pode-se dizer que o arraste aerodinâmico é desprezível. Logo, a força total de contato com o solo depende apenas da força de rolamento e da força para acelerar o veículo.

Como visto anteriormente, a força para acelerar o veículo é dada pela Eq.(4), e substituindo os valores de massa e da aceleração para o veículo em movimento:

$$F_a = 275\text{kg} \times 0,069444\text{m} / \text{s}^2 \Rightarrow F_a = 19,09722 \text{ N}$$

Utilizando o mesmo valor da resistência ao rolamento calculado para o veículo parado, temos:

$$R_r = 40,46625 \text{ N}$$

Então, a força total de contato com o solo, calculada pela Eq.(5) é dada por:

$$F_t = F_a + R_r \Rightarrow F_t = 19,09722 + 40,46625 = 59,52222 \text{ N}$$

### 2.2.3. Cálculo do Torque e Rotação de Saída do Redutor:

Analogamente ao ensaio com o veículo parado, o torque e a rotação de saída do redutor podem ser calculados respectivamente pelas Eq.(6) e Eq.(7), logo, substituindo os novos valores para força total de contato com o solo e velocidade final do veículo, tem-se:

$$T_s = 59,52222 \times 0,24$$

$$T_s = 14,28533 \text{ N.m}$$

$$n_s = \left( \frac{16,66667}{0,24} \right) \times \left( \frac{60}{2\pi} \right)$$

$$n_s = 663,14573 \text{ rpm}$$

### 2.2.4. Cálculo do Torque de Entrada e da Rotação do Redutor

O torque de entrada “ $T_e$ ” pode ser calculado pela Eq.(8). Então substituindo o novo valor para o torque de saída do carro em movimento:

$$T_e = \left( \frac{14,28533}{2,53} \right) / 0,89 \Rightarrow T_e = 6,344244 \text{ N.m}$$

Como visto anteriormente, a rotação de entrada do redutor “ $n_e$ ” pode ser calculada pela Eq.(9):

Substituindo os valores de  $n_s$  e  $R_t$  mencionados anteriormente, temos que:

$$n_e = 663,14573 \text{ rpm} \times 2,53$$

$$n_e = 1677,758 \text{ rpm}$$

### 2.2.5. Cálculo da Potência de Entrada e da Potencia de Saída do Redutor:

A potência na saída do redutor pode ser calculada pela Eq.(11) e substituindo os valores encontrados para  $T_s$  e  $n_s$  temos:

$$W_s = (14,28533 \times 663,14573 \times 2\pi) / 60 \Rightarrow W_s = 992,0372$$

Convertendo Watts em Cavalos Vapor, temos:

$$W_s = 992,0372 / 735,5 \Rightarrow W_s = 1,348793 \text{ cv}$$

Da mesma forma podemos calcular a potência na entrada do redutor a partir da Eq.(13) e substituindo os valores encontrados para  $T_e$  e  $n_e$  obtemos:

$$W_e = (6,344244 \times 1677,758 \times 2\pi) / 60 \Rightarrow W_e = 1114,648$$

E novamente convertendo esse valor para cv:

$$W_e = 1,515497 \text{ cv}$$

### 2.2.6. Torque, Rotação e Potência do Motor do Veículo em Movimento:

Sabendo que as especificações do motor devem ser atendidas para que o projeto funcione, e tendo os valores obtidos para o torque, a rotação e a potência do motor no ensaio do veículo em movimento abaixo:

Torque necessário do motor = 6,344244 N.m

Rotação do motor = 1677,758 rpm

Potência do motor = 1,515497 cv

Podemos comparar com as especificações do motor:

Torque máximo = 6,4 N.m

Rotação do motor elétrico = 1680 rpm

Potência do motor elétrico = 1,5 cv

Analisando os dois valores, e considerando os erros de cálculos e os desvios médios, pode-se concluir que o veículo consegue se locomover já que os valores estão muito próximos ao da especificação do motor.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente, foi montado um ensaio para o veículo em repouso e em movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV) no programa Microsoft Excel, com o objetivo de encontrar uma boa relação de transmissão para o redutor na qual o torque, a rotação e a potência do motor no ensaio deviam se enquadrar com os da especificação do motor elétrico. Considerando a grande propagação de incertezas devido a valores como o peso do motorista e alguns outros detalhes, os resultados obtidos foram coerentes com os da especificação do motor elétrico.

## 4. CONCLUSÃO PARCIAL

Este trabalho apresenta uma grande contribuição para o desenvolvimento tecnológico de formas alternativas de fonte de energia (acionamento) para os veículos automobilísticos visando a redução da emissão de poluentes na atmosfera. Com os resultados obtidos através de cálculos e diversas simulações até que as especificações necessárias fossem atendidas, a partir das restrições de torque e rotação do motor elétrico, pode-se concluir que os resultados foram satisfatórios e comprovam o pleno funcionamento de um motor elétrico aplicado a um mini-baja.

## 5. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira do Veículo Elétrico, disponível em: <<http://www.abve.org.br/>>

Halliday, David, 1996, Fundamentos de Física/ David Halliday, Roberto Resnick, Jearl Walker, 4ª edição, Vol. 1, 330 p.

How stuff works (como tudo funciona), disponível em: <<http://carros.hsw.uol.com.br/carros-eletricos.htm>> e <<http://carros.hsw.uol.com.br/transmissoes-manuais.htm>>

WIKIPEDIA, the free encyclopedia, disponível em: <[en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org)>

## 6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.

## DESIGN OF A TRANSMISSION SYSTEM OF A ELETRIC VEHICLE TYPE MINI-BAJA

Francisco José Grandinetti, grandj@unitau.br<sup>1</sup>

Heitor Giovanelli Carlésimo, hecarlesimo@uol.com.br<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” Campus de Guaratinguetá, Av Dr. Felix Guisard, 106, Taubaté

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” Campus de Guaratinguetá, Rua Padre Rodolfo nº323, Vila Ema, São José dos Campos

**Abstract:** *This work is to develop a mechanical project to adapt a transmission of a drive system composed of an electric motor, a speedometer and a mechanical transmission (reducer), at the chassis of a mini-baja including project development and manufacture of a prototype. It will use a speed reducer with a ratio of 2,53:1. This ratio was found from a series of calculations and tests in which the specifications of the electric motor (torque, rotation and potency) should be met.*

**Keywords:** *electric motor, mini-baja, speed reducer*