

## **DIMENSIONAMENTO DE COMPONENTES E CONTROLE AUTOMÁTICO DE VELOCIDADE E CONSUMO PARA VEÍCULO ELÉTRICO.**

**RICARDO BERTONCELLO<sup>1\*</sup>, ALCIR SCARMIN<sup>2</sup>**  
**EVERTON FUZINATTO<sup>3</sup>, EVANDRO JORGE AMORIN<sup>4</sup>, GIOVANI RENAN NOVAK<sup>5</sup>.**

<sup>1</sup>Ms. Eng. Prof. FADEP, Pato Branco-PR, Ricardo@fadep.br;

<sup>2</sup>Ms. Tecnólogo, Acadêmico Engenharia, FADEP, Pato Branco-PR, a.scarmin@gmail.com;

<sup>3</sup>Acadêmico Engenharia, FADEP, Pato Branco-PR, fuzzinatto@hotmail.com;

<sup>4</sup>Acadêmico Engenharia, FADEP, Pato Branco-PR, evandroamorin@hotmail.com;

<sup>5</sup>Acadêmico Engenharia, FADEP, Pato Branco-PR, giovanirnovak@hotmail.com;

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017  
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

**RESUMO:** Este artigo apresenta os cálculos de dimensionamento dos principais componentes de um carro elétrico como: chassis, motor, transmissão, bateria e controles eletrônicos. Também apresenta um controle automático de velocidade de cruzeiro e minimização da energia consumida. O objetivo final é projetar o carro para participar da Maratona de Eficiência Energética. Os resultados de desempenho dos controladores do carro projetado serão simulados em maquete. A maquete simula a inclinação da pista e a variação de carga que o veículo é submetido.

**PALAVRAS-CHAVE:** Veículo elétrico, sistema de tração, bateria, controle de velocidade, consumo de energia.

### **COMPONENT SIZING AND AUTOMATIC SPEED AND CONSUMPTION CONTROL FOR ELECTRIC VEHICLE**

**ABSTRACT:** This paper presents the sizing calculations of the main components of an electric car such as chassis, engine, transmission, battery and electronic controls. It also features an automatic cruise control and minimization of energy consumption. The objective is to design the car to participate in the Marathon Energy Efficiency. The results show that performances of the car designed controllers are simulated in model. The model simulates the slope of the road and the load variation that the vehicle is submitted.

**KEYWORDS:** Electric vehicle, powertrain, battery, speed control, minimize energy consumption, simulation software.

### **INTRODUÇÃO**

A Maratona de Eficiência Energética que acontece todos os anos no Brasil é uma oportunidade de desenvolvimento de protótipos de carros que apresentam baixo consumo de energia. A categoria de carros elétricos representa a oportunidade de aplicar na prática os conceitos aprendidos em sala de aula na área de Engenharia Elétrica. O regulamento da competição exige uma série de projetos técnicos de dimensionamento dos componentes do veículo. As regras de competição também definem algumas exigências durante a prova de consumo. Dentre as exigências, estão a tensão e a corrente máxima admitida para o funcionamento do veículo e a velocidade média, mínima e máxima durante o percurso da prova. Com isso será abordado o dimensionamento dos componentes para controle automático de velocidade e potência do carro elétrico. Para atender as especificações exigidas e tornar o veículo competitivo será dimensionado o motor, transmissão, bateria e controladores.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O dimensionamento dos componentes do veículo está dividido em seis tópicos apresentados na sequência.

### a) Dimensionamento do motor

Segundo Pereira (2007) veículos elétricos necessitam de motores com alta densidade de torque, potência e rendimento em toda a faixa de rotação. Além disso, é preciso que a potência seja mantida quando a velocidade for maior que a nominal. Outros fatores determinantes são o custo baixo, robustez e confiabilidade.

A tabela 1 mostra um comparativo entre os diversos tipos de motores utilizados em carros elétricos. O critério de notas é dado de um (1) a cinco (5) em ordem de melhor característica. Dependendo da característica desejada para o Veículo Elétrico proposto, podem ser atribuídos pesos diferentes para cada item da tabela. Neste caso, foi utilizado peso um (1) para todas as notas.

Tabela 1 – Comparativo entre motores elétricos. Fonte: (Costa, 2009).

Elementos de comparação	Motor CC	Motor de Indução	Motor PM sem escova	Motor relutância	Motor PM híbrido
Densidade de potência	2	3	5	3	4
Eficiência	2	3	5	3	5
Controlabilidade	5	3	4	3	5
Confiabilidade	3	5	4	5	4
Maturidade	5	5	4	3	2
Custo	4	5	2	4	2
Total	21	24	24	21	22

Através do comparativo realizado na Tabela 1, foi possível definir qual é o motor mais apto para ser utilizado no protótipo. O objetivo de participar da maratona de eficiência energética com o menor consumo de energia, sinaliza a escolha do motor de ímãs permanentes (PM – *permanent magnet*) sem escovas (*Brushless*), devido a sua maior eficiência e densidade de potência, apesar de seu custo ser o mais elevado.

### b) Dimensionamento da transmissão

De acordo com Chiodelli (2012) a definição do sistema de transmissão do protótipo para a competição deve levar em consideração a rotação, a relação de transmissão, e o torque.

A topologia de transmissão/relação utilizada em nosso protótipo baseia-se em um conjunto de polias sincronizadoras, uma ligada diretamente ao motor, e a outro diretamente no eixo a ser tracionado. São utilizadas polias e correia sincronizadora devido o menor peso, o menor custo e um rendimento próximo a unidade.

O motor utilizado no protótipo possui velocidade de 4000 rpm e necessita de uma redução de 1 – 8, ou seja, a saída é 500 rpm, devido o limite de velocidade estipulado via regra da competição ser de 45Km/h, desta forma é garantida uma velocidade máxima do veículo em 35Km/h.

### c) Dimensionamento da bateria

Dentre os variados tipos de baterias existentes, destacam-se três que a indústria automobilística utiliza para o veículo elétrico, são elas: baterias de ácido-chumbo, baterias de hidreto metálico de níquel e baterias de íon-lítio.

As baterias de ácido-chumbo são as mais antigas ainda em uso, largamente utilizada em todos os tipos de carros, contém uma placa submersa em uma solução de ácido sulfúrico em um recipiente e com a combinação dos eletrodos de chumbo utilizados neste tipo de bateria, o ácido sulfúrico gera eletricidade. Devido ao longo tempo de utilização desse tipo de bateria recarregável, sua produção é barata, porém são nocivas ao meio ambiente.

As baterias de hidreto metálico de níquel (NiMH) possuem uma densidade maior de energia e seus materiais não causam danos ao meio ambiente por não possuir metais pesados em sua composição.

As baterias de íon-lítio tem a vantagem de não perder carga se não forem utilizadas, por isso são largamente utilizadas em eletrônicos. Podem ser o futuro dos carros elétricos, também é utilizada uma derivação dessa bateria, a de polímero de íon-lítio, LiPo que ainda não possui preço competitivo. Neste caso foi escolhido a bateria de LiPo devido ao baixo peso e alta densidade de potência.

### d) Controlador de velocidade de cruzeiro

O regulamento da competição define uma velocidade mínima, máxima e média do veículo durante a prova.

O cálculo da velocidade média executado pelo piloto de forma manual torna-se inviável, pois depende da leitura do velocímetro a todo momento. Além disso, caso estiver abaixo ou acima da média pode ocorrer desclassificação ou excessivo consumo de energia. Para minimizar este esforço do piloto e manter o carro com velocidade logo acima da média, que teoricamente reduziria o consumo de energia foi utilizado um controle automático de velocidade. A velocidade da roda é lida com um sensor de efeito hall, que lê pulsos de um ímã, e um micro controlador que calcula a velocidade instantânea e média durante todo o percurso e apresenta estes resultados em uma tela de leitura. O controle funciona através de comparação com um valor programado de velocidade média. Conforme Tipler e Mosca (2009). A integração da velocidade instantânea resulta na velocidade média com a expressão.

$$\text{Equação 1} \quad V_m = \int_0^t v(t). dt$$

O microcontrolador não tem funções internas para resolver esta integral, desta forma a equação na forma discreta é utilizada.

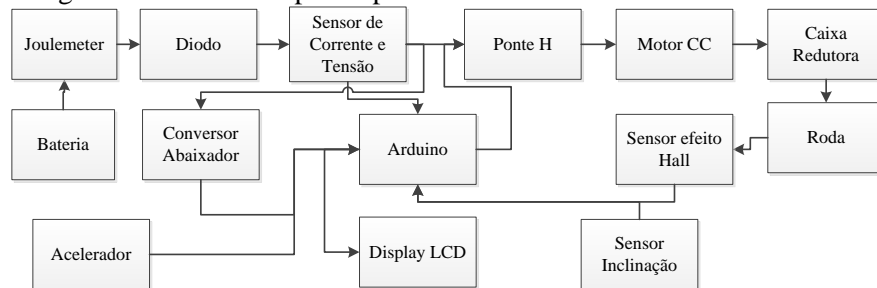
$$\text{Equação 2} \quad V_m = \sum_{n=0}^{t_{final}} \frac{v(t_{n+1})-v(t_n)}{t_{n+1}-t_n}$$

Caso a velocidade média estiver menor que o programado, o veículo é acelerado gradualmente até atingir a média novamente. E caso estiver acima, o veículo reduz a velocidade e também o consumo. Este controlador funciona em conjunto com o controlador de minimização de energia.

e) Diagrama de funcionamento do protótipo

O protótipo foi montado seguindo o diagrama da Figura 1.

Figura 1 - Diagrama de blocos do protótipo.



O diagrama de blocos foi montado para descrever o funcionamento sequencial do protótipo. O processamento é feito por micro controlador (Arduino) que recebe todos os dados de entrada do *Joulemeter*, que faz a leitura de consumo de energia instantâneo e médio, do sensor de corrente, do sensor de efeito *hall*, que lê velocidade e do acelerômetro que mede da inclinação da pista. Através desses dados o processador calcula a potência ideal que deve ser fornecida ao motor e aciona a ponte H. Através da caixa redutora o movimento do motor é transmitido para as rodas.

Os parâmetros determinados pela maratona de eficiência energética e os valores calculados do veículo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros do projeto do veículo

M	75kg	Massa do veículo e piloto	$I_w$	0,01 kg.m <sup>2</sup>	Momento de inércia das rodas
$\mu$	0,002	Coeficiente de atrito dos pneus	I	0,004 kg.m <sup>2</sup>	Momento de inércia partes girantes
$A_f$	1 m <sup>2</sup>	Área frontal do veículo	$r_d$	0,55 m	Raio efetivo do pneu
$C_d$	0,2	Coeficiente de aerodinâmica	r	0,5 m	Raio da roda
$T_m$	10 Nm	Torque do motor	$\eta_m$	0,94	Rendimento do motor
$i_g$	8	Relação de transmissão	$\eta_t$	0,97	Rendimento da transmissão
$i_b$	1	Relação geral do sistema	$\eta_{cc}$	0,97	Rendimento do controlador
$P_m$	200 W	Potência do motor	$C_{bat}$	10A.h	Capacidade da bateria de Li-Po
V	24 V	Tensão do motor e bateria			

f) Minimização da energia consumida

A pista de corrida provavelmente não é plana, ou seja, possui aclives e declives. Desta forma o consumo de energia do motor não é constante. Durante os aclives, o consumo de energia é maior e

durante os declives o consumo é menor. Isto ocorre devido as equações de resistência ao deslocamento em aclive descritos em Tanaka (2013) e explicadas abaixo.

Equação 3  $F_{ac} = M \cdot g \cdot \text{sen}(\alpha)$

Também a equação de resistência ao rolamento depende da aclividade da pista

Equação 4  $F_{rl} = \mu \cdot M \cdot g \cdot \text{cos}(\alpha)$

Desta forma a minimização do consumo de energia do veículo pode ser feito de duas formas. Caso o veículo está em declive e a velocidade média estiver maior que a programada, o motor é desligado e o veículo continua deslocando-se por inércia. Caso a velocidade média estiver abaixo, o veículo é acelerado durante o declive para aumentar a velocidade com um consumo menor. A outra forma de redução de consumo é reduzir a compensação de potência nos aclives, reduzindo a velocidade caso a média estiver alta. Ou mantém a velocidade se a média estiver baixa. A modelagem da pista permite calcular os pontos de aclives, declives e planos para otimizar o controle.

Equação 5  $P = [\alpha d]$

A inclinação da pista é lida por um acelerômetro e transmitida para o microcontrolador e o modelo da pista é atualizado a cada volta considerando a distância lida pelo sensor de velocidade. O acelerômetro transmite inclinação através da força da gravidade através da equação

Equação 6  $I_{nc} = g \cdot \text{sen}(\alpha)$

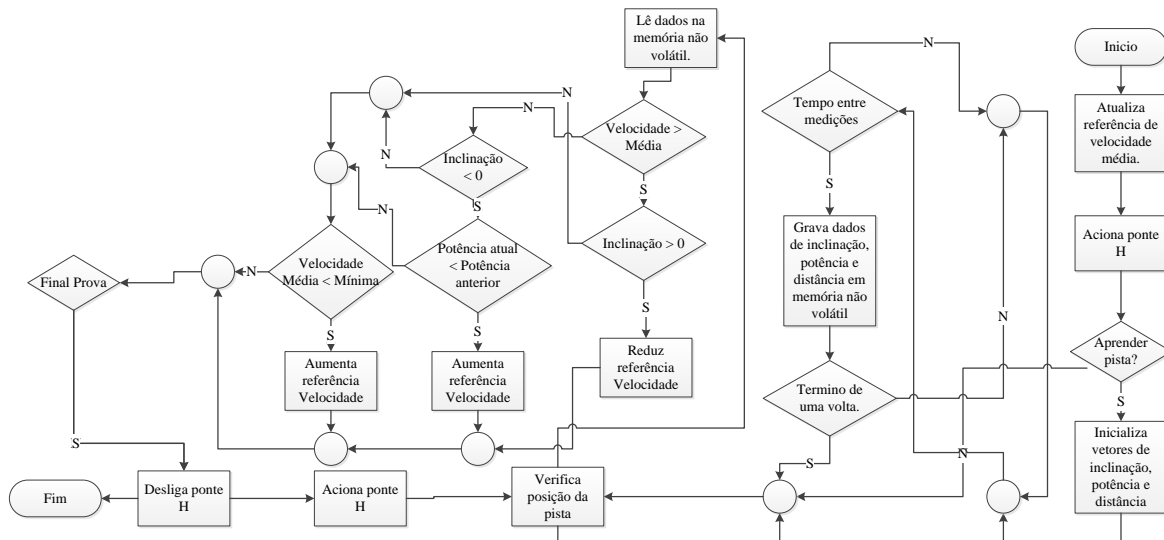
A energia consumida é calculada pela integração da potência instantânea. A potência é calculada pela leitura de tensão e corrente do motor conforme equação 7 baseada em Tanaka (2013).

Equação 7  $E_t = \int_{t1}^{t2} P_t \cdot dt$

O resultado é apresentado na tela de comando do veículo.

A figura 2 ilustra o fluxograma do funcionamento do algoritmo.

Figura 2 – Algoritmo de controle de velocidade e energia.

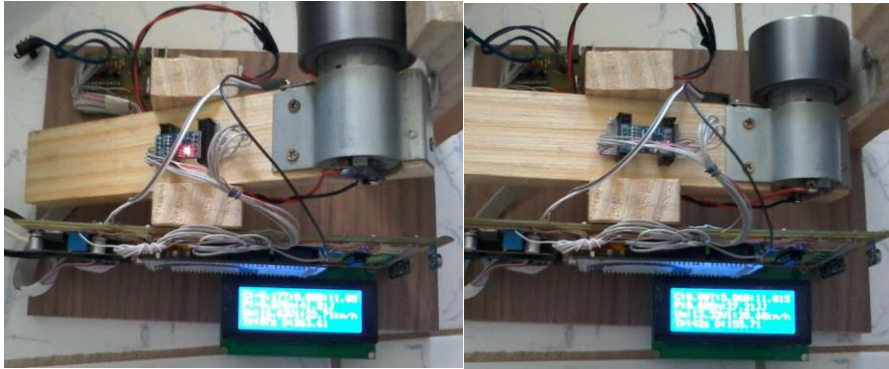


## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o dimensionamento do protótipo do carro, foi desenvolvido uma maquete para simulação de uma pista de testes através de uma rampa variável. A rampa onde o motor está instalado possui medidor de inclinação e um freio magnético. O freio varia a carga aplicada ao motor dependendo da inclinação. Esta maquete permite ajustar o programa do micro controlador para funcionar em qualquer pista, aprendendo em uma volta o melhor perfil de velocidade e consumo. O programa do micro controlador foi feito para manter a velocidade média, gravar o vetor de inclinação e potência instantânea.

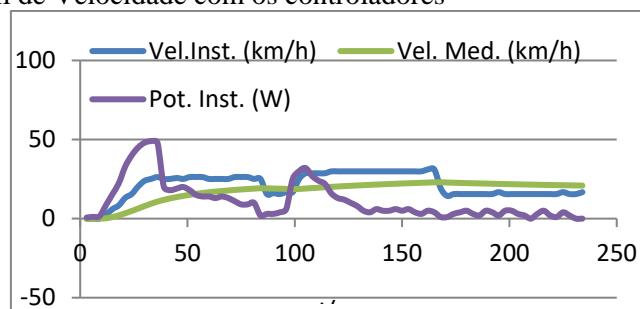
A Figura 03 mostra duas posições de inclinação positiva e negativa respectivamente, simulando variação de carga no motor.

Figura 3 - Maquete de Testes – Inclinação positiva e negativa.



A figura 4 mostra a relação entre potência, velocidade média e instantânea com os controladores de velocidade e energia. É possível observar que a velocidade instantânea varia de acordo com a inclinação da pista, ou seja, quando a inclinação diminui a velocidade aumenta e quando a inclinação aumenta a velocidade diminui. Desta forma a velocidade média é mantida e a potência também.

Figura 4 - Perfil de Velocidade com os controladores



## CONCLUSÕES

O projeto dos componentes do veículo é necessário para otimizar cada um para a máxima eficiência. Desta forma o rendimento do carro é maior. O chassi deve ser leve e resistente pois o peso do carro tem bastante impacto sobre o consumo de energia. O motor deve possuir alta eficiência em todas as faixas de rotação. A bateria deve fornecer capacidade suficiente de energia e potência com baixo peso. O custo de aquisição dos componentes varia muito conforme o nível de desempenho desejado. Desta forma a relação custo benefício deve ser considerada. A utilização de controladores automáticos evita erros de operação do veículo pelo piloto e maximiza o desempenho com menor gasto energético.

## REFERÊNCIAS

- Tanaka, C. N. Metodologia de dimensionamento do sistema de tração para veículos elétricos. 106f. Dissertação (Mestrado). EP/USP. São Paulo, 2013.
- Costa, W. da. Metodologia para conversão de veículos equipados com motores a combustão interna para tração elétrica: aplicação de motor síncrono de ímã permanente com fluxo magnético radial a um furgão. 133f. Dissertação (Mestrado). FE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2009.
- Araujo, G. H. S.. Projeto de um veículo automotivo urbano de 2 lugares com propulsão elétrica. 48f. Trabalho de Formatura. EP/USP. São Paulo, 2011.
- Pereira, A. D. M. Sistema de tração de um ônibus elétrico híbrido com pilha a combustível. 107f. Dissertação (Mestrado). COPPE. Rio de Janeiro, 2007.
- Chiodelli, R. T. Dimensionamento de componentes de transmissão para um protótipo baja sae. 59f. Trabalho de Conclusão de Curso. FAHOR. Horizontina, 2012.
- Tipler, P. A.; Mosca, G. Física para cientistas e engenheiros. v. 1. 6ª ed. LTC. Rio de Janeiro, 2009. 824 p.
- Maratona de Eficiência Energética. 2016. Disponível em <https://www.maratonadaeficiencia.com.br/> Acesso em 12 de abril de 2017.