

Projeto de veículo elétrico para competição de eficiência energética

Luiz Antônio Righi
righi.luiz@gmail.com

Leopoldo Heitor da Costa
poldomc@yahoo.com.br

Carlos H. de Andrade Molenda
molenda@smail.ufsm.br

Resumo

A eficiência de um veículo depende de quatro fatores: motor de alto rendimento, baixo peso, atrito reduzido, aerodinâmica eficiente. Apresenta-se, neste trabalho, o projeto de um veículo elétrico para competições de eficiência energética, atuando nestes quatro fatores. Realizou-se um estudo das diversas alternativas e formas de construção até chegar-se ao produto final. Especificou-se o motor elétrico de corrente contínua e buscou-se o seu ponto ótimo de funcionamento, através de ensaios de laboratório, que permitiram calcular o rendimento de cada motor em larga faixa de operação. A transmissão utilizada foi resultado de diversos ensaios para determinar o tipo e a melhor relação. A estrutura utilizada foi construída predominantemente com bambu, material leve, barato e resistente. A determinação das forças de arrasto foi realizada através de simulação numérica usando o método de elementos finitos. O veículo projetado apresentou grande eficiência no uso da energia, obtendo excelente resultado em competição de eficiência energética.

Palavras-chave: Veículo Elétrico. Eficiência Energética. Materiais Não Convencionais.

Abstract

The efficiency of a vehicle depends on four factors: high-performance motor, low weight, low friction, reduced aerodynamic drag. This paper presents the project of an electric vehicle for competitions of energy efficiency, acting in these four factors. The direct-current electric motor was specified and searched its optimum operating conditions through laboratory tests that had allowed calculating the performance of the motor in large operation range. The transmission used was also the result of several tests and trials to determine the type and the best relation. The structure utilized was built mainly with bamboo, that is light, cheap, resistant, and its use implies a low environmental impact. The determination of drag forces was performed by numerical simulation using the finite element method. The designed vehicle showed great efficiency in energy use, achieving excellent results in competition or energy efficiency.

Keywords: Electric Vehicle. Energy Efficiency. Non-Conventional Materials.

1 Introdução

A produção de veículos elétricos tem um lugar importante na história do Brasil e do mundo, e possui perspectivas de grande crescimento para os próximos anos, levando-se em conta veículos híbridos, motorização elétrica associada a motores de combustão interna. (Toledo, 1987; Bottura & Barreto, 1989; Riezenman, 1998; e, Ehsani et al, 2005).

As competições universitárias, nas diversas áreas da engenharia, constituem-se em uma das melhores formas de preparar futuros engenheiros, proporcionando importante experiência de trabalho em equipe, exigindo desenvolvimento de projeto, planejamento na execução, determinação de prazos para realização de tarefas e outras vivências que serão levadas para a vida profissional. A Maratona de Eficiência Energética, realizada no Brasil, desde o ano de 2004, é uma competição de veículos projetados para serem eficientes no aproveitamento da energia, possuindo duas categorias, uma para veículos que têm como fonte de energia a gasolina e outra a eletricidade (www.maratonadaeficiencia.com.br).

Os veículos participantes na Maratona de Eficiência Energética não se destinam à produção e comercialização. Apesar disso, o veículo elétrico projetado para a competição não está distante dos veículos elétricos encontrados no mercado para diferentes aplicações, uma vez que a eficiência energética é uma preocupação crescente da indústria. Além disso, o projeto do veículo considera princípios aplicáveis tanto para a competição como para os veículos de produção em série.

A eficiência ou o desempenho de um veículo é quantificado pela Eq. (1) (Ehsani et al, 2005; Santin et al, 2007):

$$\text{Eficiência de veículo} = \frac{\text{Distância percorrida}}{\text{Energia de entrada}} = \frac{\text{Velocidade}}{\text{Potência de entrada}} \quad (1)$$

O veículo Suíço Pac-Car II, por exemplo, movido a hidrogênio, com célula de combustível, é considerado o mais eficiente do mundo, porque percorre a distância de 5385 km, consumindo a quantidade de energia equivalente de 1 litro de gasolina (42900 kJ/kg com densidade de 0,74262 kg/litro) (Santin et al, 2007). Este recorde mundial está certificado no Guinness Book of World Records.

Assim, pode-se resumir a eficiência em termos de distância percorrida por equivalente energético de um litro de gasolina. Neste trabalho, descrever-se-ão os procedimentos de projeto e montagem do veículo elétrico, bem como os resultados referentes ao seu desempenho, ou seja, o seu rendimento, em distância percorrida (km) por energia equivalente a 1 litro de gasolina (31,858 MJ/litro).

2 Projeto do veículo

O conceito utilizado no projeto é o da busca de um veículo energeticamente eficiente, de baixo custo (econômico e ambiental), sem deixar de lado a segurança e o conforto do piloto. Foi avaliado o impacto do veículo de forma ampla, buscando reduzir o seu impacto ambiental em todo o ciclo de vida. Como características importantes a serem consideradas, além do desempenho no uso da energia, têm-se: a simplicidade construtiva, o reaproveitamento de componentes da linha automotiva e ciclística, o uso de materiais com menor impacto ambiental.

A eficiência de um veículo depende basicamente de 04 critérios ou objetivos de projeto (Yamakawa & Watanabe, 2006; Bosch, 2007; Santin et al, 2007; e, Vantsevich, 2008):

- a mínima massa ou o peso total do veículo, piloto e carga;
- máximo rendimento do motor e transmissão, que neste trabalho, denominar-se-á trem de força;
- mínima perda de atrito de rolamento; e
- mínima resistência aerodinâmica.

A eficiência na utilização da energia da bateria depende do rendimento do motor elétrico e transmissão e da minimização das forças contrárias ao movimento do veículo. Essas forças são: força de resistência inercial; força de resistência ao rolamento; força de arrasto aerodinâmica. Essas forças dependem, entre outros fatores, do peso e formato do chassi, que por sua vez depende da forma da carroceria.

Material	Componente ou parte	Massa (kg)	%
Aço	Transmissão, ligações do motor e sist. de direção	5,76	28,8
Alumínio	Parede antifogo, rodas e cubos	5,40	27,0
Cobre	Motor	0,81	4,05
Plástico	Engrenagens, buchas, carenagem e direção	0,45	2,25
Resina	Chassi	0,45	2,25
Ferro	Chassi, sistema de direção e transmissão	4,50	22,5
Lona	Banco e assoalho	0,63	3,15
Outros	Instrumentos, adesivos etc	2,00	10,0
Total		20,00	100,0

2.1 O chassi e a massa do veículo

A construção do chassi é um dos problemas envolvidos na montagem, e a massa é uma das principais variáveis no rendimento ou eficiência do veículo. Deve-se ter por princípio que ele precisa ser o mais leve possível e possuir a mínima área frontal e lateral, respeitando as necessidades de segurança e conforto do piloto.

É característico dos veículos elétricos terem parte de sua capacidade de transporte diminuída devido à massa dos componentes, de suas baterias. Por isso, vamos começar analisando a massa e o chassi do veículo, que é um dos principais fatores de eficiência de um veículo elétrico. Apresenta-se na Tab. (1) a massa dos principais materiais utilizados no veículo. Assim, a soma da massa do veículo (20 kg), e da massa do piloto (50 kg), resulta na massa total de 70 kg.

Tabela 1: Massa dos materiais utilizados no veículo elétrico.

2.2 A força de resistência ao rolamento

É a força de resistência ao movimento do veículo devido às deformações dos pneus conforme o tipo de pista, ao atrito dos mancais e do eixo, ao atrito dos pneus à pista e às irregularidades da pista. A pressão interna do pneu é fundamental para o cálculo da resistência devido ao rolamento, pois altera a rigidez do pneu. Outros fatores que afetam a resistência devido ao rolamento são: temperatura, tipo de pneu, velocidade do veículo.

Para maior confiabilidade no valor da resistência devido ao rolamento é conveniente obter valores experimentais e propor uma expressão matemática que se adapte ao veículo em estudo.

Uma expressão bastante conservadora pode ser dada pela Eq. (2) [Bosch (2007)]:

$$F_R = f_r \cdot M \cdot g = 0,003 \cdot 70 \cdot 10 = 2,1 \text{ N} \quad (2)$$

onde:

F_R = força de resistência devido ao rolamento (Newton)

$f_r = 0,003$; constante de perda de rolamento do pneu [Santin et al (2007)];

M = massa do veículo e piloto (70 Kg)

$g = 10 \text{ m/s}^2$, aceleração da gravidade.

2.3 A força de resistência nos rolamentos das rodas

É a força devida ao atrito nos rolamentos das rodas, e calculada de maneira simplificada com a Eq. (3):

$$F_B = \frac{\mu \cdot M \cdot g \cdot d}{D} = \frac{0,0015 \cdot 70 \cdot 10 \cdot 0,02}{0,5} = 0,042 \text{ N} \quad (3)$$

onde:

F_B = força de resistência devido ao atrito nos rolamentos das rodas (Newton)

$\mu = 0,0015$, constante de perda do rolamento da roda [Santin et al (2007)];

$d = 0,02 \text{ m}$, diâmetro do rolamento;

$D = 0,5 \text{ m}$, diâmetro da roda; e,

M = massa do veículo e piloto (70 Kg).

2.4 As forças aerodinâmicas

A força ou perda aerodinâmica é força de resistência devido ao atrito do veículo com o ar. Ela é função de vários fatores, dentre os quais podemos destacar: área frontal; tipo de veículo; temperatura e umidade do ar; e, velocidade do veículo. Ela é resultado de duas componentes principais, apresentada na Fig. 1:

- a) **Resistência da forma:** o deslocamento do veículo empurra o ar à frente do veículo, e como ele não pode se mover instantaneamente, a sua pressão cresce, resultando em uma área de alta pressão. Além disso, o ar localizado atrás do veículo não consegue preencher instantaneamente o espaço deixado pelo veículo, criando

uma zona de baixa pressão. O deslocamento a frente cria duas zonas de pressão que se opõem ao movimento, criando resistência.

- b) **Fricção superficial:** o ar próximo a superfície do veículo move-se com velocidade próxima à do veículo, enquanto que o ar distante permanece parado. A fricção entre as moléculas de ar em razão de possuírem diferentes velocidades também criam resistência ao movimento.

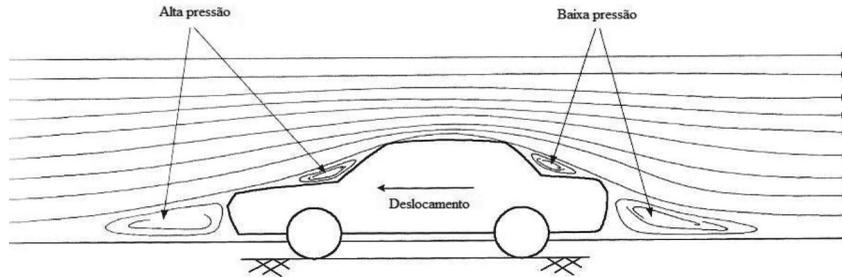


Figura 1: Resistência da forma do corpo. EHSANI et al (2005).

A força de resistência aerodinâmica é calculada com a Eq. (4).

$$F_A = \frac{C_x \cdot \rho_a \cdot A_f \cdot V^2}{2} = 0,5 \cdot 1,2 \cdot 0,48 \cdot 0,2227 \cdot 3,33^2 = 0,711 \text{ N} \quad (4)$$

onde:

F_A = força de resistência aerodinâmica (Newtons)

ρ_a = massa específica do ar (1,2 Kg/m³)

A_f = área frontal (0,48 m²)

V = velocidade de prova do veículo (12 km/h ou 3,33 m/s), reduzida em relação à usada na simulação.

$C_x = 0,2227$; coeficiente aerodinâmico ou de arrasto, tomado com resultado da simulação, que é variável com a velocidade relativa do ar com o veículo. É utilizado como um valor de referência inicial para cálculo da força de arrasto. Quando se deseja maior precisão ele deve ser calculado e conhecido para cada velocidade.

2.5 O motor elétrico de corrente contínua e a transmissão

Em adição às características de corrente-tensão e torque-velocidade, o desempenho da máquina de CC é também medido pela sua eficiência, usualmente definida pela Eq. (5):

$$\text{Rendimento} = \frac{\text{Potência de entrada} - \text{Perdas}}{\text{Potência de entrada}} = \frac{\text{Potência mecânica (Torque} \times \text{velocidade)}}{\text{Potência de entrada (Tensão} \times \text{corrente)}} \quad (5)$$

A busca por motores que satisfizessem as necessidades mostrou-se mais promissora na adaptação dos empregados na linha automotiva, sendo testados motores de sistemas de climatização e refrigeração de carros, ônibus e caminhões. A escolha dos motores foi realizada por comparação direta em utilização. Também não foi utilizada eletrônica para controlar o motor, pois o regulamento da competição não exige controle de velocidade. O motor é acionado por uma simples chave, para eliminar as perdas por chaveamento.

Verificou-se experimentalmente que a eficiência máxima do motor utilizado é apenas 55%. Este valor é razoável para um pequeno motor comercial de ímã permanente porque existem vários tipos de perdas mecânicas e elétricas nos motores de CC. Uma das perdas ocorre por força de atrito nos rolamentos. Esse tipo de perda pode ser reduzido pela lubrificação correta dos mancais. Todavia, em alta velocidade ou sob carga excessiva, a perda devido ao atrito pode ser apreciável. Ocorre também a perda por atrito nas escovas que pode ser reduzida mediante o emprego de comutadores

perfeitamente lisos e polidos, e usando escovas perfeitamente ajustadas aos comutadores. A perda por atrito com o ar é uma forma de perda motivada pela resistência do ar à rotação da armadura. As perdas no ferro incluem as perdas por correntes parasitas e perdas por histerese no ferro da armadura. As perdas no cobre ou ôhmica incluem as perdas Joule nos enrolamentos da armadura.

Observou-se que a relação de transmissão (10:1) e o tipo de transmissão é um fator decisivo para a melhora do desempenho do veículo. Quando se iniciou os estudos para a construção da transmissão, havia três possibilidades principais: a) Transmissão por correia; b) Transmissão por corrente; e, c) Transmissão por engrenagem. A princípio a utilização da transmissão por corrente parecia a mais promissora, uma vez que era amplamente utilizada pelos competidores e ainda oferecia a possibilidade de adaptação de peças utilizadas em bicicletas. Entretanto, foi possível observar que os sistemas de engrenagens eram mais eficientes, tendo sido construídos dois modelos, um utilizando uma redução de tecnil, e outra utilizada na competição, com um sistema coroa-pinhão, que tem eficiência na ordem de 95% (obtida por ensaios e pesquisas).

A distribuição do peso entre as rodas do veículo também se mostrou ser um fator decisivo para a eficiência do veículo, comprovando recentes pesquisas sobre veículos elétricos eficientes [Vantsevich (2008), Yamakawa & Watanabe (2006)].

Conforme ensaios feitos em laboratório, e consulta aos manuais dos fabricantes, adotou-se a eficiência média da bateria de 90%, para as condições de carga e descarga empregadas.

Assumindo: eficiência da transmissão 95%; eficiência do motor 55%; e, eficiência da bateria 90%; tem-se a eficiência do sistema de tração:

$$\eta_{tração} = 0,95 \cdot 0,55 \cdot 0,90 = 0,4851 \quad (6)$$

2.6 Eficiência do veículo em pista reta plana

Somando-se as forças das Equações (2), (3) e (4), tem-se a resistência total ao movimento na velocidade de cruzeiro.

$$F = F_R + F_B + F_A = 2,1 N + 0,042 N + 0,711 N = 2,815 N \quad (7)$$

Tem-se na Eq. (8) a potência mecânica consumida.

$$P_{mec} = FV = 2,815 N \cdot 3,333 \text{ m/s} = 9,375 W \quad (8)$$

Dividindo-se a potência mecânica pela eficiência do sistema de tração (0,4851) tem-se a potência elétrica demandada:

$$P_{el} = \frac{P_{mec}}{\eta_{tração}} = \frac{9,375}{0,4851} = 19,326 W$$

A potência elétrica calculada está muito próxima da real, pois o veículo consome aproximadamente 1,7 A em pista plana reta, ou seja, sendo a tensão da bateria 12 V, são consumidos 20,4 W. Adota-se o valor da potência elétrica de 20 W na entrada, para estimar o rendimento E, usando o fator de conversão de 31,8584 MJ/litro de gasolina:

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{velocidade}}{\text{potência}} = \frac{3,333}{20} = 0,1666 \text{ m/J} \times 31,8584 \text{ MJ/litro} = 5308 \text{ km/litro}$$

Efetivamente, o veículo elétrico analisado percorreu 29,895 km com uma bateria de 72 Wh ou 259,2 kJ. Fazendo a conversão de energia equivalente de um litro de gasolina, de 31,8584 MJ/litro, tem-se a distância de 3674,41 km por litro de gasolina. Este valor é inferior à eficiência calculada de 5308 km por litro, porque esta corresponderia a uma pista reta e plana. Ele também é inferior ao Record mundial do Pac Car II, 5385 km, com velocidade acima de 24 km/h, que é o nosso objetivo (aumentar a velocidade do veículo, reduzir as forças de resistência aerodinâmicas e de rolamento, e aumentar o rendimento do sistema de transmissão).

3 Simulações do escoamento em torno do veículo

Para aumentar a eficiência do veículo, neste trabalho, pretende-se reduzir as forças de resistência aerodinâmicas, com velocidades acima de 24 km/h, ou 7 m/s (usado na simulação, visando competições com este limite de velocidade mínima).

Quando um corpo se desloca através de um fluido, ou no caso em que o fluido escoar através de um corpo sólido, ocorre uma interação entre o corpo e o fluido. O corpo fica submetido a uma força resultante das forças de pressão, normais à superfície, e de cisalhamento, tangentes à superfície. A componente da força resultante que atua na direção normal ao escoamento é dita força de sustentação, F_L , e a componente que atua na direção do escoamento é dita força de arrasto, F_D . A Figura 2 mostra essas forças atuando sobre um perfil bidimensional.

Segundo Munson et al (1997), ao considerar um elemento diferencial localizado na superfície do corpo, as componentes x e y da força que atua no pequeno elemento de área dA , mostrado na Fig. 2, são:

$$dF_x = p \cos\theta \, dA + \tau_w \sin\theta \, dA \tag{11}$$

$$dF_y = p \sin\theta \, dA + \tau_w \cos\theta \, dA \tag{12}$$

onde p é pressão e τ_w é a tensão de cisalhamento.

O cálculo da força de arrasto e força de sustentação pode ser realizado pela integração das tensões de cisalhamento e das tensões normais ao longo da superfície do corpo. As forças de arrasto e sustentação podem ser escritas da seguinte forma:

$$F_D = \int dF_x = \int p \cos\theta \, dA + \int \tau_w \sin\theta \, dA \tag{13}$$

$$F_L = \int dF_y = \int p \sin\theta \, dA + \int \tau_w \cos\theta \, dA \tag{14}$$

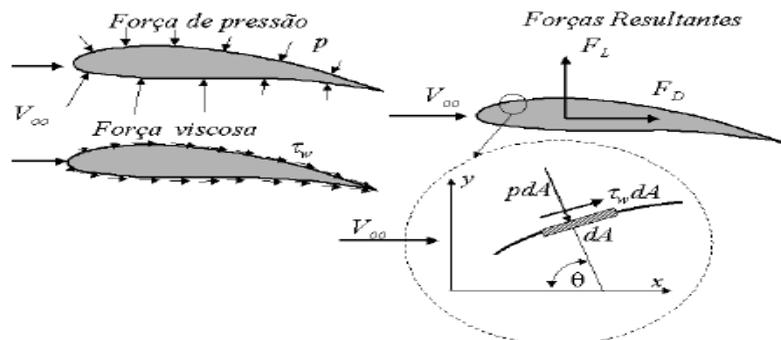


Figura 2: Forças atuantes sobre um corpo em movimento. MUNSON et al (1997).

Para que estas forças possam ser determinadas é necessário conhecer o formato do corpo e as distribuições da pressão e tensão de cisalhamento ao longo da superfície do corpo. O formato da carroceria do veículo foi inicialmente determinado experimentalmente, de forma que ela “vestisse” o piloto e apresentasse uma área frontal e superfície total reduzidas. A partir de medidas dessa carroceria foi realizado seu desenho que serviu como geometria original, mostrada na Fig. 3, para simulações do escoamento do ar ao seu redor, utilizando o método de elementos finitos disponível no programa comercial ANSYS.

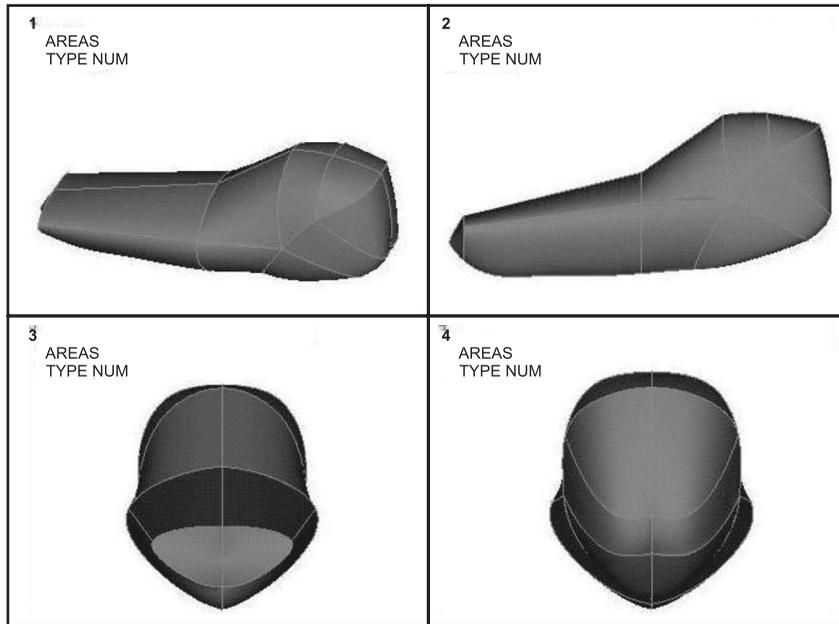


Figura 3: Geometria original da carroceria

Visando-se participar de competições com velocidade mínima de 7 m/s, adotou-se essa velocidade nas simulações para determinação das forças de arrasto e sustentação, e, conseqüentemente, do coeficiente aerodinâmico.

O procedimento de experimentação numérica envolveu a determinação das dimensões do túnel de vento teórico, da malha adequada e escolha do modelo de turbulência. As dimensões do túnel de vento teórico e a malha foram escolhidas após comparação dos resultados obtidos com diferentes dimensões de túnel e refinamentos de malha. Aproveitando a simetria do domínio de cálculo foram realizadas simulações utilizando somente metade do domínio. O modelo de turbulência utilizado foi o k-ε padrão, pois não havia resultados experimentais para orientar a escolha do modelo de turbulência e o objetivo era comparar as forças aerodinâmicas sobre diferentes geometrias.

A Figura 4 mostra o campo de pressões sobre a carroceria original. A Figura 5 mostra o campo de velocidades e a Fig. 6 apresenta o comportamento do escoamento em um corte no meio da carroceria.

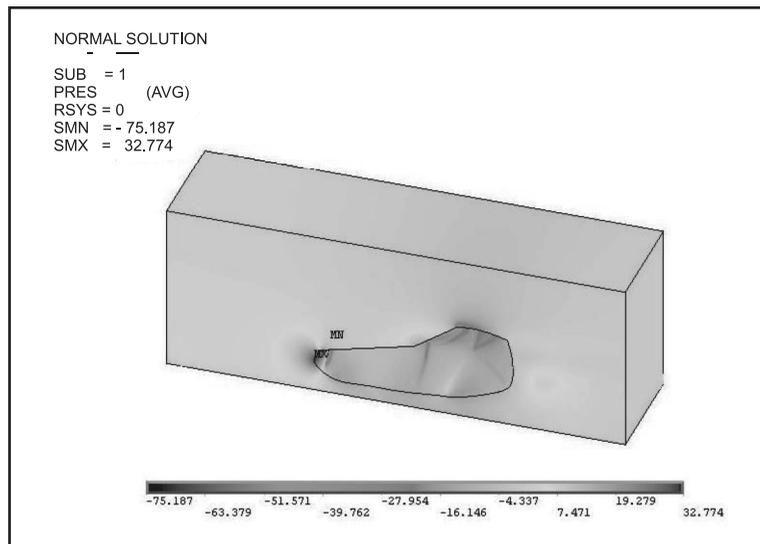


Figura 4: Campo de pressões.

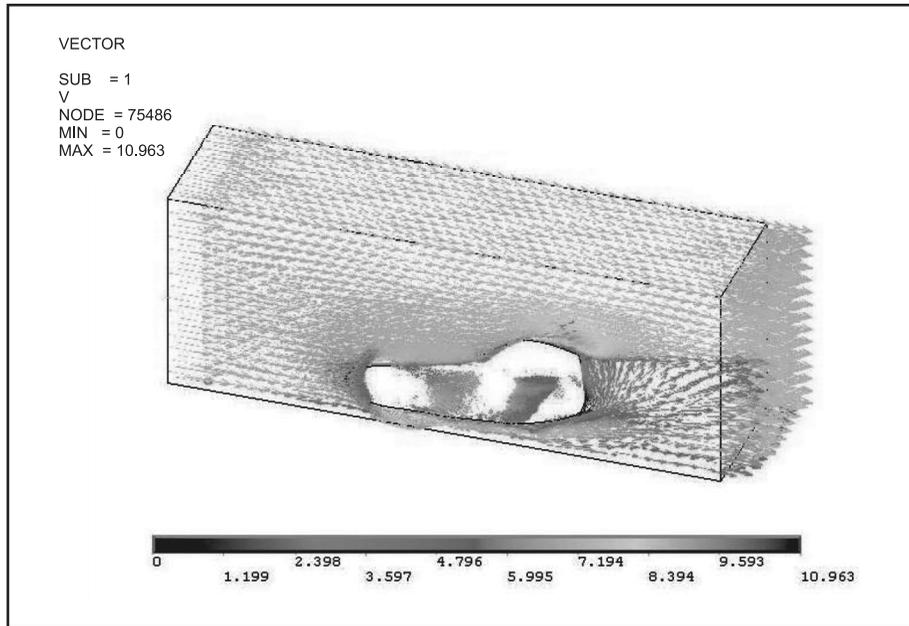


Figura 5: Campo de velocidades.

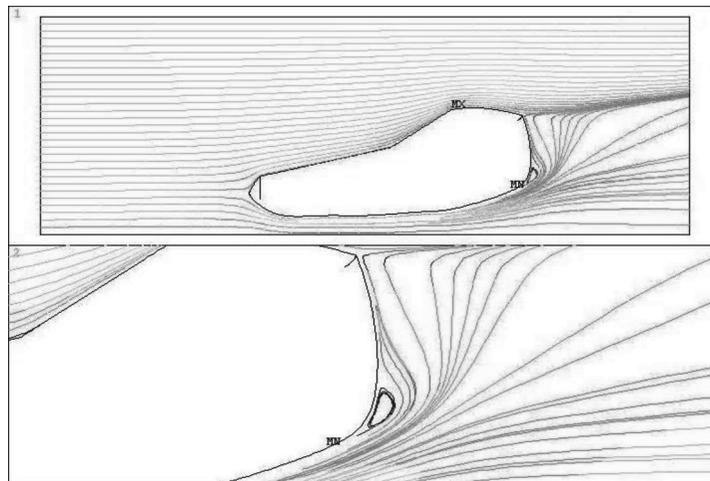


Figura 6: Escoamento no meio da carroceria.

O programa Ansys apresenta também como resultado as tensões de cisalhamento nas superfícies, permitindo a determinação das forças de arrasto e sustentação através da Eq. (13) e da Eq. (14), respectivamente. A partir dos resultados das simulações foram realizadas modificações na geometria da carroceria visando redução da força e do coeficiente de arrasto. Os resultados obtidos com diferentes geometrias são apresentados na Tab. (2). Calculou-se o coeficiente aerodinâmico, isolando-se C_x na Eq. (4), com $V = 7$ m/s, área frontal $A_f = 0,48$ m², e $\rho_a = 1,2$ kg/m³.

Tabela 2: Valores das forças e coeficientes aerodinâmicos nas diferentes geometrias.

Geometria	Arrasto (N)	Sustentação (N)	Alteração do arrasto (%)	C_x
Original	3,14389	-2,96803	100	,2227
Modificação na dianteira	2,94827	-2,99633	93,7	0,2089
Modificação na parte superior	2,59381	-3,12301	82,5	0,1838
Combinação das anteriores	2,33570	-2,80779	74,29	0,1655
1ª Modificação na traseira	2,18585	-2,3626	69,52	0,1548
2ª Modificação na traseira	2,01942	-2,17306	64,23	0,1430
3ª Modificação na traseira	2,63130	-2,28786	83,69	0,1864

As três modificações na traseira foram realizadas na carroceria já alterada, com a combinação das modificações anteriores. A geometria que apresentou menor força de arrasto entre as testadas é apresentada na Fig. 7. A Figura 8 mostra o campo de pressões e a Fig. 9 o campo de velocidades para essa geometria.

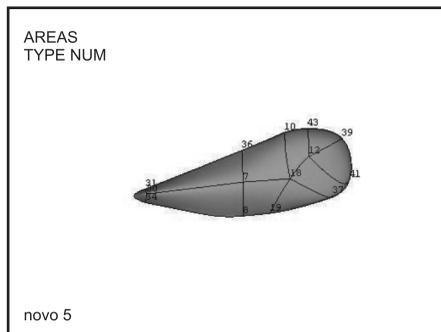


Figura 7: Carroceria que apresentou menor força de arrasto.

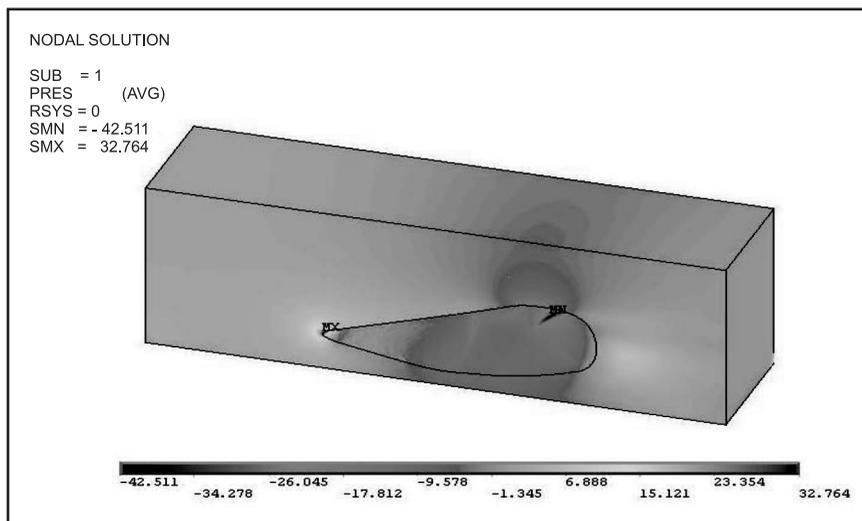


Figura 8: Distribuição de pressão para a carroceria com menor força de arrasto.

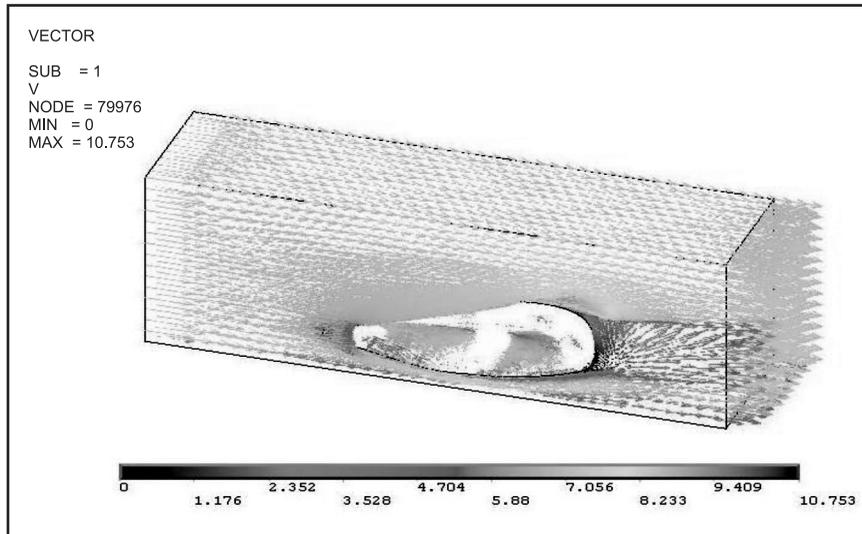


Figura 9: Campo de velocidades para carroceria com menor força de arrasto.

Com as simulações numéricas, verificou-se que, modificando o formato da carroceria foi possível diminuir a força de arrasto para um valor igual 64,23 % da força de arrasto sobre a carroceria original. Assim, em 7 m/s, tem-se a força de resistência aerodinâmica $F_A = 2,01942 \text{ N}$. A Equação (15) demonstra a nova resistência total ao movimento em velocidade de cruzeiro de 7 m/s.

$$F = F_R + F_B + F_A = 2,1 \text{ N} + 0,042 \text{ N} + 2,01942 \text{ N} = 4,1614 \text{ N} \quad (15)$$

A Equação (16) demonstra a potência mecânica consumida.

$$P_{mec} = 4,1614 \text{ N} \cdot 7 \text{ m/s} = 29,13 \text{ W} \quad (16)$$

Obtém-se a potência elétrica demandada na Eq. (17) e a eficiência na Eq. (18):

$$P_{el} = \frac{P_{mec}}{\eta_{tração}} = \frac{29,13}{0,4851} = 60,04 \text{ W} \quad (17)$$

$$\text{Eficiência} = \frac{7}{60,04} = 0,1165 \text{ m/J} \times 31,8584 \text{ MJ/litro} = 3714 \text{ km/litro} \quad (18)$$

Este valor mostra que se precisa investir mais na carroceria, na transmissão, e no peso do veículo, para poder competir com veículos do nível do Pac Car II.

4 Conclusões

Os trabalhos envolvidos no desenvolvimento de veículos elétricos abrangem uma grande gama de conhecimentos técnicos, podendo-se enfatizar máquinas e acionamentos elétricos, a compreensão de esforços internos, da construção de estruturas, da transmissão mecânica de energia, e aerodinâmica. Observou-se que o veículo original tem eficiência de 5308 km por litro em pista reta plana.

Com as simulações numéricas de escoamento em torno do veículo, verificou-se que modificando o formato da carroceria é possível diminuir a força de arrasto para um valor igual 64,23% da força de arrasto sobre a carroceria original. A eficiência ficará em 3714 km/litro, com velocidade superior a 24 km/h.

O resultado do trabalho de projeto com esta metodologia permitiu vencer a Maratona Universitária de Eficiência Energética durante dois anos consecutivos, na categoria veículos elétricos, e vencer a categoria a gasolina no terceiro ano, validando o modelo adotado. Conforme demonstrado neste trabalho, é necessário investir muito mais em carroceria, motor e transmissão, e peso do veículo. O projeto traz como suas principais contribuições o desenvolvimento educacional, a obtenção de bons resultados com baixo custo e simplicidade, e uma visão mais abrangente quanto às necessidades energéticas inerentes à mobilidade.

Referências

- BOSCH. *Bosch automotive handbook*. 7th ed. London: John Wiley, 2007.
- BOTTURA, C. P.; BARRETO, G. *Veículos elétricos*. Campinas, SP: Ed. da UNICAMP, 1989.
- EHSANI, M. et al. *Modern electric, hibrid electric, and fuel cells vehicles: fundamentals, theory and design*. New York: CRC Press, 2005.
- MUNSON, B. R.; YOUNG, D. F.; OKIISHI, T. H. *Fundamentos da mecânica dos fluidos*. São Paulo: Edgar Blucher, 1997. v. 2. 408 p.
- PEREIRA, M. A. R. *Bambu de corpo e alma*. Bauru, SP: Canal6, 2007.
- RIEZENMAN, M. J. Engineering the EV future. *IEEE Spectrum*, California, v. 35, n. 11, p. 18-20, nov. 1998.
- SANTIN, J. J. et al. *The world's most fuel efficient vehicle: design and development of PAC-Car II*. VDF Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2007.
- TOLEDO, E. D. *Tração elétrica*. São Paulo: Nobel, 1987.
- VANTSEVICH, V. V. Power losses and energy efficiency of multi-wheel drive vehicles: a method for evaluation. *Journal of Terramechanics*, v. 45, p. 89-101, 2008.
- YAMAKAWA, J.; WATANABE, K. A Method of optimal wheel torque determination for independent wheel drive vehicles. *Journal of Terramechanics*, v. 43, p. 269-285, 2006.

Sobre os autores

Luiz Antônio Righi

Engenheiro Elétrico e Civil pela Universidade Federal de Santa Maria, UFSM. Mestre em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, UFSM. Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Prof. Adjunto do Departamento de Eletromecânica e Sistemas de Potência da Universidade Federal de Santa Maria, UFSM.

Leopoldo Heitor da Costa

Graduando do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Maria, UFSM.

Carlos Henrique de Andrade Molenda

Engenheiro Mecânico e Químico pela Universidade Federal de Santa Maria, UFSM. Mestre em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Docteur de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, França. Prof. Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Maria, UFSM.

