

# PROJETO DE UM VEÍCULO HÍBRIDO PARA USO URBANO

**Raphael Halfeld Vasconcellos**

rhvasconcellos@gmail.com

**Resumo.** Este trabalho tem como objetivo o projeto de um veículo híbrido para o uso em grandes cidades e que atenda as necessidades básicas de um trabalhador, ou seja, que realize o trajeto casa-trabalho-casa de uma única pessoa.

O projeto se inicia com o estudo da necessidade de se buscar alternativas ao uso exclusivo de combustíveis fósseis. Em seguida se faz um breve estudo da viabilidade do projeto. Feita esta etapa inicial, é realizada a síntese de soluções, ou seja, todas as configurações possíveis que um veículo híbrido pode ter e para cada uma delas realiza-se uma mensuração dos principais componentes. Com as soluções apresentadas, se escolhe a que melhor atenda aos requisitos de projetos estabelecidos.

Foi realizada a mensuração dos principais componentes do sistema trativo das duas configurações principais de veículos híbridos, em série e em paralelo. Para a configuração em série foi encontrado que a potência do motor elétrico deve ser de 46 kW e a do motor a combustão interna de 24,7 kW, sendo que a bateria deve ter uma capacidade de 41,3 kW. Para o sistema em paralelo a motor elétrico deve ter 41 kW o motor a combustão interna 21 kW, sendo que a bateria deve ter uma capacidade de 57 kW.

Conclui-se ainda que a arquitetura ideal é a paralela com o motor elétrico sendo usado como acoplador de torque e de velocidade. Selecionou-se ainda o motor elétrico (relutância variável), bateria (lítio-íon) e o sistema de freios regenerativos (em série com estratégia de ótima regeneração de energia).

**Palavras chave:** híbrido, série, paralelo, urbano, emissões.

## 1. Introdução

Nos últimos anos as pessoas se familiarizaram com os veículos movidos por mais de uma fonte propulsora, veículos movidos por um motor a combustão interna e um motor elétrico. Os veículos híbridos permitem a redução do consumo de combustível e da emissão de poluentes, mas este é apenas o primeiro passo de uma longa jornada que irá acabar em carros elétricos com emissões zero com alta autonomia.

Os primeiros veículos fabricados no início do século passado eram elétricos, movidos a baterias de ácido-lítio, mas foram abandonados pelo baixo desempenho das baterias e pela alta oferta de combustíveis fósseis. Porém a situação mudou radicalmente nos últimos anos, a alta dos preços dos combustíveis fósseis e a deterioração do meio ambiente levam a reconsiderar o uso de baterias, cujo desempenho vem aumentando potencialmente desde os anos 90. Com isso os veículos híbridos ganham espaço pela alta autonomia e pela expressiva redução do consumo de combustível e da emissão de gases poluentes.

## 2. Classificação dos Veículos Híbridos

Veículos híbridos são definidos como uma classe de sistema de propulsão que emprega pelo menos dois tipos diferentes de processo de conversão de energia e dois diferentes tipos de armazenamento de energia. Com algumas exceções, o conceito geralmente emprega como conversão de energia o motor a combustão interna e o motor elétrico e o armazenamento de energia é dado em forma de combustíveis líquidos e baterias.

Os veículos híbridos apresentam duas configurações principais, a configuração em série e a em paralelo como serão descritas a seguir.

### 2.1. Configuração em série

Nesta configuração a propulsão é realizada somente pelo motor elétrico, sendo a energia elétrica fornecida por uma bateria e pelo motor à combustão interna, funcionando como um gerador. O motor elétrico é o responsável por tracionar o veículo e como a curva de torque de um motor desse tipo possui um maior torque a baixas rotações, esta configuração é bastante recomendada para veículos de grande porte. A Figura 1 mostra um esquema simplificado de um veículo híbrido com uma configuração em série.

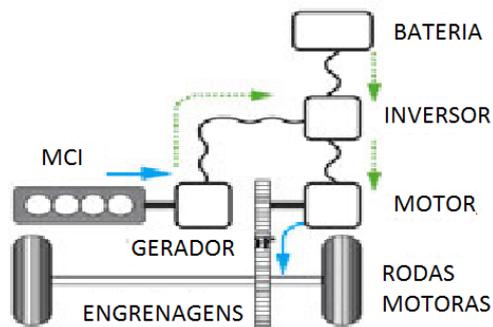


Figura 1. Esquema simplificado de uma configuração em série

Neste tipo de configuração o motor a combustão interna está desacoplado das rodas, assim ele pode ser operado em qualquer ponto do seu mapa, sendo então operado na região de máxima eficiência. Isso implica em uma redução na emissão de poluentes e no consumo de combustível. Outra vantagem desta configuração é o fato dos motores elétricos possuírem uma relação torque-velocidade próxima da ideal, permitindo assim que não se use uma transmissão com diversas engrenagens, diminuindo o custo do projeto e simplificando o mesmo.

Porém tal configuração possui algumas desvantagens, ela possui maiores perdas por ter que converter a energia duas vezes, o gerador adiciona peso e custo e o motor elétrico deve ser maior para que ele atenda aos requisitos de projeto.

## 2.2. Configuração em paralelo

Neste tipo de configuração, o motor à combustão interna e o motor elétrico podem ser utilizados simultaneamente como forma de propulsão. Isso significa que o motor à combustão ou o motor elétrico podem ser utilizados sozinhos ou pode ser utilizada uma combinação de ambos.

Usualmente, este tipo de configuração é utilizado em veículos de pequeno porte.

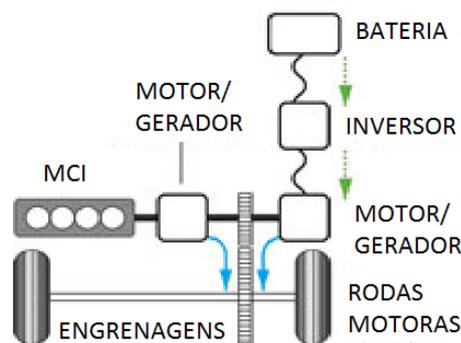


Figura 2. Esquema simplificado de uma configuração em paralelo.

Tal configuração tem como vantagem o fato de não ser necessário um gerador, o motor elétrico é menor e não é necessário duas conversões de energia como na configuração em série. Porém a sua complexidade é muito maior devido ao acoplamento mecânico entre os motores e as rodas movidas.

## 3. Requisitos de Projeto

O veículo projetado deve ser um veículo híbrido de passeio com capacidade para duas pessoas e que seja capaz de percorrer diariamente o percurso da casa de seu ocupante até o seu trabalho e o seu trajeto de volta (do trabalho até sua casa). De acordo com pesquisas da EPA (Environmental Protection Agency) e com dados de pesquisas retiradas de Miller 2008, a velocidade média em grandes centros urbanos é de 35 km/h, a velocidade máxima é de 90 km/h, a distância média percorrida é de 50 km e a aceleração média é de 1,5 m/s<sup>2</sup>. Com base nesses dados estipulou-se como requisito de projeto velocidade final de 120 km/h, aceleração de 0-100 km em 12 segundos e que o veículo deva percorrer a maior parte dos 50 km no modo puramente elétrico. Para a configuração em paralelo, até a velocidade de 35 km/h apenas o motor elétrico deve tracionar o veículo.

Foi estipulado também que o veículo deve ser capaz de recarregar a bateria através do MCI e que a mesma deve possuir um estado de carga de até 30%. Além disso, o motor a combustão terá o ciclo Otto e será movido puramente a álcool.

As dimensões utilizadas, terão como base o Mini, assim a massa do veículo será suposta 1000 kg, o coeficiente de arrasto será de 0,35, a área frontal será 2 m<sup>2</sup>, a densidade do ar será suposta constante e de 1,205 kg/m<sup>3</sup> e a resistência ao rolamento também será suposta constante com o valor de 0.01.

#### 4. Projeto de um veículo híbrido em série

O motor a combustão interna está desacoplado das rodas motrizes, assim sua rotação e torque são independentes da velocidade do veículo. Assim, ele pode ser controlado em qualquer ponto de operação, com isso ele é operado na sua região de operação ótima, minimizando o consumo de combustível.

Os principais componentes da planta trativa de um veículo híbrido em série são o motor elétrico, o motor a combustão interna e a bateria.

##### 4.1. Projeto do Motor Elétrico (Trativo)

A potência do motor elétrico do veículo em série é determinada pelos requisitos de desempenho de aceleração, das características do motor e da transmissão. No início do projeto, a potência pode ser estimada a partir do desempenho da aceleração através da seguinte fórmula (retirada de Mehrdad et al, 2005):

$$P_t = \frac{\delta \cdot M_v}{2 \cdot t_a} \cdot (V_f^2 + V_b^2) + \frac{2}{3} \cdot M_v \cdot g \cdot f_r \cdot V_f + \frac{1}{5} \rho_a \cdot C_D \cdot A_f \cdot V_f^3 \quad (1)$$

Onde:

- $M_v$  é a massa total do veículo;
- $\delta$  é o fator de massa, considerando a massa equivalente adicionada pelos momentos angulares dos componentes rotativos;
- $t_a$  é o tempo esperado de aceleração;
- $V_f$  é a velocidade final esperada;
- $V_b$  é a velocidade base do motor como é mostrada na figura abaixo;
- $f_r$  é a resistência ao rolamento;
- $\rho_a$  é a densidade do ar;
- $C_D$  é o coeficiente aerodinâmico;
- $A_f$  é a área frontal.

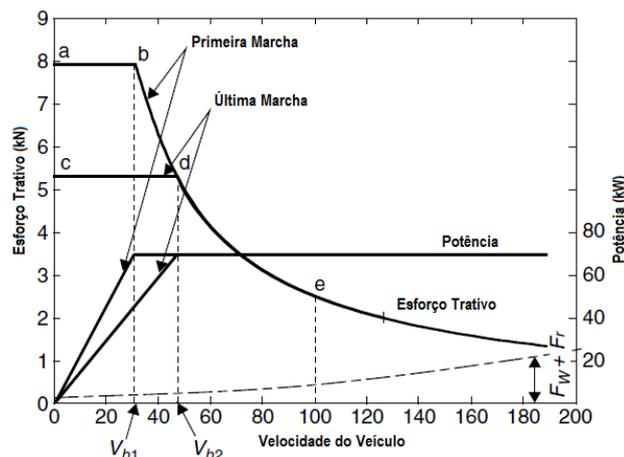


Figura 3. Curva de esforço trativo de um motor elétrico (retirada de Mehrdad et al, 2005).

O veículo projetado neste projeto terá características semelhantes ao Mini Cooper, assim, para se realizar os cálculos de estimativas de potência dos motores será utilizado os dados dinâmicos do Mini Cooper:

$$M_v = 1.000 \text{ kg}; C_D = 0,35; A_f = 2 \text{ m}^2$$

Foi considerado ainda que  $f_r = 0,01$ ;  $\delta = 1,04$  e que a densidade do ar é de  $\rho_a = 1,205 \text{ kg/m}^3$ . Com  $V_f = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  e  $V_b = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}}$  e considerando-se o tempo de aceleração de 0 a 100 km/h de  $t=12\text{s}$  obteve-se que a potência do motor elétrico é de 46 kW.

## 4.2. Projeto do Motor a Combustão

Como visto anteriormente, o motor a combustão interna em um veículo em série é usado para suprir as necessidades do veículo, impedindo que a bateria seja descarregada completamente. Para o seu projeto, deve-se considerar duas condições de operação: veículo em cruzeiro com velocidade constante e veículo em condições de aceleração e parada, como no trânsito dentro de cidades.

Para a condição do veículo em cruzeiro potência do motor á combustão interna deve ser de acordo com Mehrdad et all, 2005:

$$P_e = \frac{V}{1000 \cdot \eta_t \cdot \eta_m} \cdot (M_v \cdot g \cdot f_r + 0,5 \cdot \rho_a \cdot C_D \cdot A_f \cdot V^2) \quad (2)$$

Para o Mini Cooper, considerando  $\eta_t = 0,9$  e  $\eta_m = 0,85$  tem-se que a potência demandada pelo motor seria de 24,7 kW para uma velocidade constante de 120 km/h. Com a potência de 24,7 kW do motor, é possível manter o veículo a uma velocidade constante de 83 km/h em uma pista com inclinação de 5%, como mostra o gráfico a seguir:

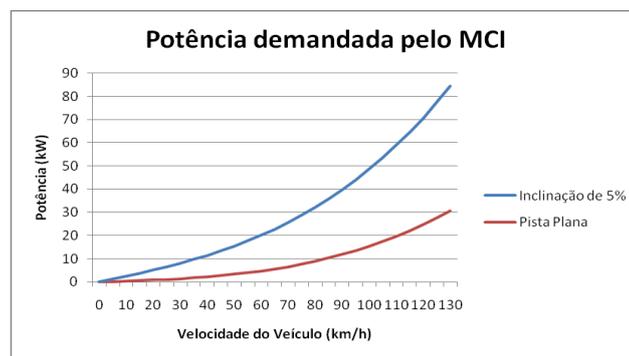


Figura 4. Curvas de potência do MCI para configuração em série

Na condição de aceleração e parada (que é o escopo deste projeto) o motor a combustão deve produzir energia suficiente para manter a carga da bateria para que seja possível transmitir energia suficiente em momentos de aceleração. Assim, a potência média pode ser expressa por:

$$P_{média} = \frac{1}{T} \int_0^T \left( M_v \cdot g \cdot f_r + \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot C_D \cdot A_f \cdot V^2 \right) \cdot V dt + \frac{1}{T} \cdot \int_0^T \delta \cdot M_v \cdot \frac{dV}{dt} dt \quad (3)$$

Onde  $\delta$  é o fator de massa e  $\frac{dV}{dt}$  é a aceleração do veículo. O primeiro termo da equação é a potência consumida para se superar a resistência ao rolamento e a força aerodinâmica. O segundo termo é a potência consumida na aceleração e desaceleração. Se o veículo possuir um meio de recuperar toda a energia cinética, esse segundo termo será igual a zero.

No projeto, alguns ciclos de operação em regiões urbanas podem ser usados para se prever a potência média do veículo, por questões de projeto, a potência fornecida pelo motor deve ser maior que a potência média de tais ciclos, alguns valores típicos de tais ciclos são mostrados a seguir:

Tabela 1. Valores de referência dos ciclos urbanos

	Max. Speed (km/h)	Average Speed (km/h)	Average Power with Full Regen. Braking (kW)	Average Power with No Regen. Braking (kW)
FTP 75 urban	86.4	27.9	3.76	4.97
FTP 75 highway	97.7	79.6	12.6	14.1
US06	128	77.4	18.3	23.0
ECE-1	120	49.8	7.89	9.32

Como se pode observar, com o motor tendo uma potência de 24,7 kW ele irá possuir uma potência maior que a média de qualquer ciclo urbano mostrado acima, atendendo assim aos requisitos de projeto.

### 4.3. Projeto da Bateria

Primeiramente deve-se estimar a potência máxima que a bateria é capaz de fornecer ao motor elétrico. Tal potência deve ser igual ou maior a potência do motor elétrico:

$$P_{MaxBat} \geq \frac{P_{m,max}}{\eta_m} - P_{MCI} \quad (4)$$

Onde  $P_{m,max}$  é a potência máxima do motor,  $\eta_m$  é a eficiência do motor e  $P_{MCI}$  é a potência do motor a combustão interna. Assim temos que:

$$P_{MaxBat} = \frac{54}{0,85} - 24,70,9 = 41,3 \text{ kW}$$

De acordo com Fuhs (2009), o alcance do veículo utilizando apenas a bateria como sua fonte primária de energia é dada por:

$$R = \frac{VE_B}{P_R} \quad (5)$$

Sendo V a velocidade,  $E_B$  a energia da bateria e  $P_R$  é a potência necessária para mover o veículo. Como foi dito anteriormente, o alcance do veículo deve ser de 50 km, e supondo uma velocidade de 35 km/h temos que  $P_R=1,75$  kW e, assim  $E_B$  deve ser de 2,5 kWh. Assim o Epps da bateria deve ser de 2,5 kWh.

## 5. Projeto de um Veículo Híbrido Paralelo

Diferentemente da configuração em série, a configuração em paralelo permite que tanto o motor a combustão interna quanto o motor elétrico tracionem o veículo. As maiores vantagens desta configuração em relação à configuração em série são: (1) não é necessário o uso de um gerador; (2) o motor de tração é menor; (3) não há diversas conversões da potência do motor a combustão até as rodas girantes.

Há diversas possibilidades de configurações de um veículo híbrido paralelo. O projeto para uma particular configuração talvez não seja aplicável a outra, e assim os resultados esperados irão diferir. Aqui será dado um enfoque no projeto de uma configuração em paralelo com acoplador de torque, na qual o motor a combustão interna deve suprir a demanda de energia a uma velocidade constante em uma pista sem ou com pouca inclinação, ou deve suprir a energia média demandada em um percurso de parada e aceleração (trânsito), enquanto o motor elétrico deve suprir os picos de potência demandados.

Nesta configuração, a potência média do motor a combustão será menor que a do motor elétrico.

### 5.1. Projeto dos principais componentes

Os parâmetros do powertrain como potência do motor a combustão, potência do motor elétrico, relações de engrenagem da transmissão e potência e capacidade energética da bateria são os parâmetros-chaves.

#### 5.1.1. Projeto do motor a combustão interna

Como mencionado anteriormente, o motor a combustão deve suprir a demanda de energia a velocidades constantes tanto em pista inclinada como em pista sem inclinação sem o auxílio da potência fornecida pela bateria. Ao mesmo tempo, tal motor deve ser capaz de fornecer mais potência do que a potência média demandada em um percurso de parada e aceleração, ou seja, no trânsito.

Para o primeiro tipo de operação a potência necessária é:

$$P_s = \frac{V}{1000 \cdot \eta_{t,e}} \cdot (M_v \cdot g \cdot f_r + 0,5 \cdot \rho_a \cdot C_D \cdot A_f \cdot V^2 + M_v \cdot g \cdot \text{sen} \alpha) \quad (6)$$

Sendo  $\eta_{t,e}$  a eficiência da transmissão do motor até as rodas movidas.

O projeto em questão visa a construção de um carro leve e de pequeno porte, para uso urbano. Assim, o veículo Mini Cooper é uma referência a este projeto, pois ele seria um dos seus principais concorrentes. Calculou-se então a potência necessária para o Mini, que tem as seguintes características:

$$M_v = 1.000 \text{ kg}; C_D = 0,35; A_f = 2 \text{ m}^2$$

Foi considerado ainda que  $\eta_{t,e} = 0,9$ ;  $f_r = 0,01$  e que a densidade do ar é de  $\rho_a = 1,205 \text{ kg/m}^3$ . Com isso obteve-se o gráfico a seguir:

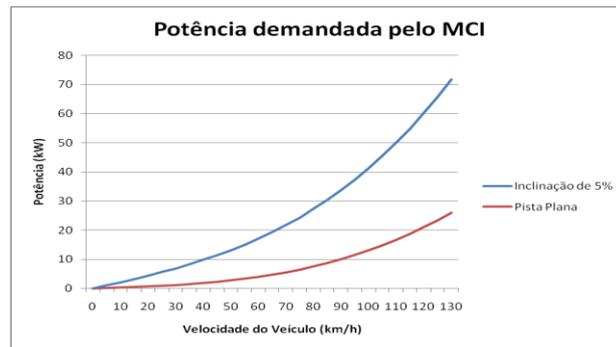


Figura 5. Curvas de potência do MCI para configuração em paralelo

A partir dos dados acima, observa-se que em uma pista plana a 120 km/h o MCI demandará uma potência de 21 kW. O ideal seria cruzar tal gráfico com o gráfico de potência do motor para ver o ponto de cruzamento entre as curvas estabelecendo-se o ponto ideal de aplicação. Mas realizando-se uma estimativa, para a mesma potência (21 kW) o veículo conseguiria andar em uma pista com inclinação de 5% a uma velocidade de aproximadamente 80 km/h.

O motor também deve suprir a demanda de uma operação de parada e aceleração.

Aqui, assim como no projeto de um veículo em série, se deve comparar a potência requerida para velocidade constante em pista plana com as potências médias demandadas nos ciclos urbanos. Como já foi visto, para o ciclo urbano US06 sem regeneração de energia de frenagem a potência média é de 23 kW, maior que a potência encontrada para o MCI. Como este projeto refere-se a um veículo totalmente híbrido, a regeneração por frenagem será usada como fator de projeto e a potência encontrada de 21 kW para o MCI atende a todos os requisitos de projeto.

### 5.1.2. Projeto do motor elétrico

A função principal do motor elétrico é suprir a demanda de pico de potência. O desempenho de aceleração é uma das principais preocupações neste caso.

Seria difícil projetar o motor diretamente das especificações de aceleração, assim, é necessário primeiro fazer uma boa estimativa baseando-se nas especificações de aceleração. Uma boa estimativa inicial é assumir que a resistência ao rolamento e o arrasto aerodinâmico são vencidos pelo motor a combustão interna e que as cargas dinâmicas (carga inercial na aceleração) são vencidas pelo motor elétrico. Assumindo isto, a aceleração é diretamente relacionada ao torque de saída do motor elétrico:

$$\frac{T_m \cdot i_{t,m} \cdot \eta_{t,m}}{r} = \delta_m \cdot M_v \cdot \frac{dV}{dt} \quad (7)$$

Onde  $T_m$  é o torque do motor. Usando um tempo de aceleração especificado,  $t_a$ , de zero até a velocidade final,  $V_f$ , e utilizando-se de equações anteriores temos:

$$P_{elétrico} = \frac{\delta_m \cdot M_v}{2 \cdot \eta_{t,m} \cdot t_a} \cdot (V_f^2 + V_b^2) \quad (8)$$

Usando as características do motor elétrico mostrados na figura abaixo, com  $V_f = 100 \text{ km/h}$  e  $V_b = 40 \text{ km/h}$ , e utilizando-se o Mini Cooper como referência, com peso de 1000 kg e tempo de aceleração de 0-100 km/h de  $t_a = 12 \text{ s}$ . Adotando-se ainda  $\delta_m = 1,04$  a potência do motor elétrico demandada será de:

$$P_{elétrico} = \frac{1,04 \cdot 1000}{2 \cdot 0,95 \cdot 12 \cdot 1000} \cdot (100^2 + 40^2) = 41 \text{ kW} \quad (9)$$

Estimou-se ainda o motor elétrico de uma segunda maneira, utilizando-se a equação 1. Sabendo que o motor elétrico será o responsável por acelerar o veículo quando o mesmo encontra-se parado e que ele será responsável por conduzir o veículo até uma velocidade de 35 km/h tem-se  $V_f = 100 \text{ km/h}$  e  $V_{f2} = 35 \text{ km/h}$ , com os outros valores permanecendo os mesmos de antes encontra-se que a potência necessária é de 39,5 kW.

### 5.1.3. Projeto da bateria

A potência que a bateria deve ser capaz de fornecer ao motor elétrico deve ser maior que a potência demandada pelo motor elétrico, assim temos:

$$P_{MaxBat} \geq \frac{P_{m,max}}{\eta_m} = \frac{49}{0,85} = 57 \text{ kW} \quad (10)$$

## 6. Seleção da arquitetura de powertrain

Foram selecionadas 10 arquiteturas distintas para comparação e seleção:

- Opção 1: Configuração em Série;
- Opção 2: Configuração em paralelo com acoplador de torque com dois eixos e duas transmissões;
- Opção 3: Configuração em paralelo com acoplador de torque com dois eixos e uma única transmissão;
- Opção 4: Configuração em paralelo com acoplador de torque com um eixo e o motor elétrico funcionando como acoplador;
- Opção 5: Configuração em paralelo com acoplador de torque com um eixo e o motor elétrico funcionando como acoplador e com um única transmissão antes do motor;
- Opção 6: Configuração em paralelo com acoplador de torque com dois eixos separados;
- Opção 7: Configuração em paralelo com acoplador de velocidade com uma planetária;
- Opção 8: Configuração em paralelo com acoplador de velocidade com um motor elétrico funcionando como acoplador;
- Opção 9: Configuração em paralelo com acoplador de torque e de velocidade;
- Opção 10: Configuração em paralelo com acoplador de torque e de velocidade com um motor elétrico funcionando como acoplador;

A complexidade da arquitetura é um dos requisitos nesta seleção. Quanto mais complexa for a sua arquitetura, mais difícil será o seu controle, além de aumentar o custo de construção e provavelmente o peso do conjunto. O que se quer é uma configuração que atenda a todos os requisitos e que ao mesmo tempo seja simples.

Deseja-se como projeto um veículo que seja capaz de recarregar a bateria através do MCI. Isso quer dizer que se busca uma configuração em que o motor a combustão interna seja capaz de recarregar a bateria, caso isso não seja possível a configuração em questão não será viável. Assim, a Opção 6 não é uma opção viável e nem entrará na matriz de decisão, pois ela não permite que o motor a combustão interna recarregue a bateria já que os eixos do MCI e do ME estão desacoplados.

Versatilidade é um requisito muito importante nesta seleção. A configuração que mais pontuar neste quesito é aquela arquitetura em que existem maiores opções de velocidade e torque, ou seja, ela consegue vencer com mais facilidade os ciclos de condução a que será exposta.

Este trabalho tem como objetivo o projeto de um veículo híbrido urbano. Assim, um dos principais focos é a diminuição da emissão de poluentes e do consumo de combustível visando a sustentabilidade do meio ambiente. Seguindo nesta mesma linha, é evidente que a eficiência do powertrain é de grande importância para a decisão e definição da arquitetura mais adequada. Aquela que for mais eficiente, ou seja, que consuma menos energia e que tenha menos perdas será a de maior pontuação.

Algumas arquiteturas demandam um maior motor a combustão interna, como a idéia deste projeto é reduzi-lo, a configuração que tiver a necessidade de um MCI maior, ou seja, a que emitir mais poluentes será penalizada e receberá uma baixa pontuação no quesito "MCI".

O veículo aqui sendo projetado é um carro pequeno, com capacidade para duas pessoas e com isso acaba sendo leve. Assim, o peso de seus componentes tem uma importância elevada. Além disso, o espaço interno para o powertrain não pode ser muito grande, ou seja, a arquitetura deve ser compacta.

Tabela 2. Peso dos critérios para seleção da configuração do powertrain.

Complexidade	Recarga da Bat. Pelo MCI	Versatilidade	Eficiência	Tamanho MCI	Peso	Custo	Espaço
1	2	2	2	1	1	1	2

Dado os pesos dos critérios pode-se então construir a matriz de decisão:

Tabela 3. Matriz de decisão da configuração do powertrain.

Critério/Opção	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Complexidade	4	3	3,5	4	4	X	3	4	3	3,5
Recarga da Bateria pelo MCI	5	5	5	3,5	3,5	X	5	3,5	5	3,5
Versatilidade	3	4	3,5	3	4	X	3,5	4	5	5
Eficiência	3	4	3,5	2,5	4	X	4	4	5	5
Tamanho MCI (Downsizing)	5	4	3	4	4	X	4	4	4	4
Peso	3	3	3,5	4	4	X	3,5	4	3,5	4
Custo	3	3	3,5	4	4	X	3,5	4	3,5	4
Espaço	4	3,5	4	5	5	X	3,5	5	3	4,5
<b>Total</b>	45	46	45,5	44	49	X	46	49	50	51,5

Após realizada um matriz de decisão para a escolha da configuração mais adequada conclui-se que a arquitetura mais vantajosa para a aplicação é a Paralela com o motor elétrico sendo utilizado como acoplador de torque e de velocidade, pois assim, seria possível utilizar o motor a combustão interna perto do seu ponto ideal aumentando seu desempenho e eficiência. Além disto, esta configuração é bastante compacta, simples e oferece diversas opções de uso e condução.

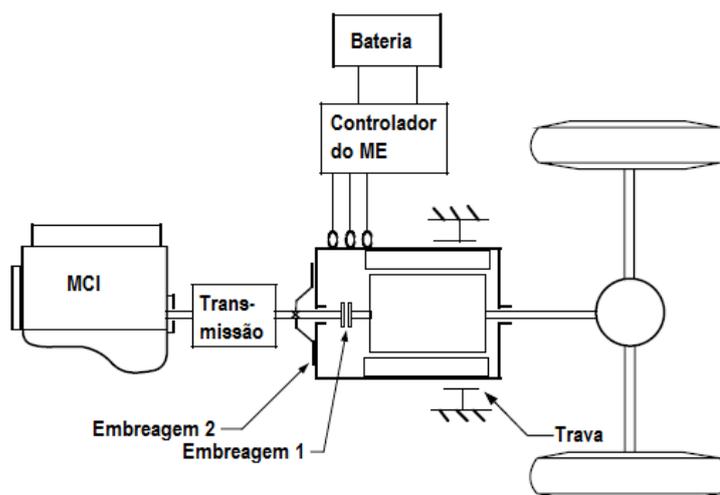


Figura 6. Arquitetura selecionada, configuração em paralelo com o motor elétrico funcionando como conversor de torque e de velocidade (retirada de Mehrdad et al, 2005).

## 7. Seleção do motor elétrico

Até o momento foram utilizados basicamente quatro tipos de motores elétricos em veículos elétricos ou híbridos, motores DC com escovas, motores por indução (IM), motores de corrente contínua sem escovas e os motores de relutância variável. Por serem os mais comuns e por terem sua tecnologia mais bem desenvolvida, será estudado neste trabalho estes quatro motores e se realizará a comparação entre eles.

O motor elétrico considerado melhor neste estudo, através de uma matriz de decisão (apresentada a seguir) foi o de relutância variável por apresentar, entre outras características, as melhores curvas de torque e velocidade, além de ser leve e de custo aceitável. Esses motores possuem uma construção simples, um controle simples e características de torque-velocidade muito boas. Suas características de torque-velocidade atendem perfeitamente os requisitos de veículos elétricos ou de híbridos plug-in. Ele possui altas velocidades e possui uma grande região de potência constante, tendo também alto torque em baixas velocidades. O motor possui uma aceleração bastante rápida e possui uma faixa de operação de velocidade bastante extensa dispensando a necessidade do uso de uma transmissão acoplada a ele.

Tabela 4. Matriz de decisão do Motor Elétrico.

	Corrente Contínua com Escova	Indução	Corrente Contínua sem Escova	Relutância Variável
Eficiência	2	4	5	4,5
Peso	2	4	4,5	5
Custo	5	4	3	4
Potência	2	3	4	4
Total (já multiplicado pelo peso do critério)	16	24	27,75	<b>28.5</b>

### 8. Seleção da bateria

As unidades de armazenamento de energia elétrica devem ser dimensionadas de forma que elas possam armazenar energia suficiente (kWh) e fornecer potência de pico adequada (kW) para o veículo possa atingir o desempenho e aceleração especificados e cumprir o ciclo de condução apropriado. Para os veículos cujo objetivo é ter um grande alcance no modo elétrico, a unidade de armazenamento de energia deve armazenar energia suficiente para que o carro tenha capacidade de atingir grandes quilometragens no mundo real. Além disso, a unidade de armazenamento deve ter um ciclo de vida adequado.

As unidades de armazenamento de energia são projetadas através de requisitos de energia e de potência. No caso das baterias, elas são projetadas a fim de se atingir o alcance especificado do veículo. O peso e volume da bateria podem ser calculados a partir da energia consumida (Wh/km) do veículo. Na maioria dos veículos que utilizam bateria como fonte de energia, a bateria sendo projetada a partir do alcance desejado se consegue atingir a potência (kW) requerida para uma determinada aceleração, inclinação e velocidade máxima em cruzeiro. As baterias usadas nestas aplicações são regularmente descarregadas e carregadas usando-se a eletricidade da rede. Assim, o ciclo de vida para grandes descargas é um aspecto considerável e é essencial que a bateria atinja os requisitos mínimos especificados.

Atualmente, as baterias viáveis para o uso em veículos elétricos e híbridos são as de chumbo-ácido, níquel-cádmio, níquel-ferro, níquel-hidreto de metálico e as baterias de lítio -íon. Atualmente, parece que as baterias de chumbo-ácido ainda irão ser a maioria por suas grandes vantagens, porém, no longo prazo, aparentemente as baterias de cádmio e de lítio serão mais usadas em veículos.

Tabela 5. Matriz de decisão da bateria.

	Chumbo Ácido	Ni-Mh	Lítio Íon
Energia Específica	1,5	3,5	5
Potência de Pico	5	3,8	3
Eficiência	4	3,7	5
Custo	5	2	4
Total (já multiplicado pelo peso do critério)	23,5	23,8	30

A bateria selecionada através de uma matriz de decisão foi a de lítio-íon que já é utilizada em alguns veículos como, por exemplo, no carro da Nissan. Esta bateria possui a mais alta energia específica dentre as três opções além de possuir altos valores de potência de pico e energia específica.

## 9. Seleção do sistema de freios regenerativos

Um dos aspectos mais importantes dos veículos híbridos é a sua capacidade recuperar grandes quantidades de energia gastos na frenagem. O motor elétrico pode ser controlado para operar como gerador para converter energia potencial ou cinética do veículo em energia elétrica que poder ser armazenada na bateria e ser reutilizada.

Geralmente, o torque de frenagem necessário é muito maior do que o torque que o motor elétrico pode produzir. Nos veículos híbridos, sistemas de freios por fricção mecânica devem coexistir com os freios regenerativos elétricos. Assim, o projeto apropriado e o correto controle de ambos os freios, mecânico e elétrico, são as maiores preocupações.

Mehrdad et al (2005) mostra que em áreas urbanas típicas a energia de frenagem pode atingir cerca de 25% da energia total de tração. Em cidades grandes, como, por exemplo, em Nova Iorque, este valor pode atingir cerca de 70%. Conclui-se então que a frenagem regenerativa pode aumentar significativamente a economia de combustível em veículos híbridos.

Também foi selecionado o sistema de frenagem regenerativa, no caso, o mais bem avaliado foi o sistema de freios em série com a estratégia de ótima regeneração de energia. Apesar fornecer uma sensibilidade ao motorista menor que os outros, ele consegue recuperar uma maior parte da energia gasta na frenagem.

## 10. Referências

- Braes, H.-H., & Seiffert, U. (2005). *Handbook of Automotive Engineering*. Warrendale: SAE International.
- Burke, A. (2007). *Batteries and Ultracapacitors for Electric, Hybrid and Fuel Cell Vehicles*.
- Stone, R., & Ball, J.K., (2004). *Automotive Engineering Fundamentals*. Warrendale: SAE International.
- Crolla, D.A., (2009). *Automotive Engineering – Powertrain, Chassis System and Vehicle Body*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Costa, D., & Sharp, B. (2010). Economizar combustível para menos emissões de CO<sub>2</sub>, a ordem do dia. *Engenharia Automotiva e Aeroespacial*, 30-34.
- Costa, D., & Sharp, B. (2010). Economizar combustível para menos emissões de CO<sub>2</sub>, a ordem do dia - parte 2. *Engenharia Automotiva e Aeroespacial*, 18-20.
- Fuhs, A. (2009) *Hybrid Vehicles and the Future of Personal Transportation*. CRC Press .
- Hayashida, M. & Narusawa, K. & Odaka, M. & Noda, A., (1997). *Study on series hybrid electric commuter-car concept*. Detroit, SAE International.
- Mehrdad, E. et al. *Modern-Electric-Hybrid-Electric-And-Fuel-Cell-Vehicles*. CRC Press 2005.
- Miller, J. M., (2008). *Propulsion System for Hybrid Vehicle*.
- Parra, H. et al. (2009) *Challenges for Electric Machines and Power Electronics in Automotive Applications*.
- Pistoia, G. (2010). *Electric and Hybrid Vehicles*. Amsterdam, Elsevier.
- Silva, W. M. da, (2010). *Veículos elétricos e híbridos*: SAE Brasil.
- Xue, X. et al. (2008) *Selection of Electric Motor Drives for Electric Vehicles*, Australasian Universities Power Engineering Conference.

## PROJECT OF A HYBRID VEHICLE FOR URBAN USE

**Raphael**

rhvasconcellos@gmail.com

**Abstract.** This paper aims to design a hybrid vehicle for use in large cities and that meets the basic needs of a worker, that is, to undertake the journey home-work-home of a single person.

The project begins with the study of the need to seek alternatives to the exclusive use of fossil fuels. Then it makes a brief study of the feasibility of the project. Having made this initial stage, is carried out the synthesis of solutions, that means all the possible configurations that a hybrid vehicle can have and, for each one of the solutions, the main components are measured. With the solutions measured, we choose the one that best meets the requirements of project.

The key components of the powertrain of the two main configurations, series and parallel, were measured. For the series configuration, has been found that the electric motor needed is 46 kW and the engine needed is 24,7 kW, and the battery must have the capacity of 41,3 kW. For the parallel configuration, the electric motor needed is 41 kW and the engine needed is 21 kW, and the battery must have a capacity of 57 kW.

It is also concluded that the optimal architecture is parallel with the electric motor being used as torque and speed coupling. It was also selected the electric motor (variable reluctance), battery (lithium ion) and the regenerative braking system (series – optimal regeneration).

**Keywords.** hybrid, series, parallel, urban, emissions.