

DESENVOLVIMENTO DE NOVAS CONFIGURAÇÕES DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE MOTORIZAÇÃO E ANÁLISE DE DESEMPENHO LONGITUDINAL VEICULAR

Marcelo Gennari Tanikawa, marcelo.tanikawa@gmail.com¹
Geraldo Gonçalves Delgado Neto, geraneto@fem.unicamp.br¹
Reynaldo Barros de Souza, reybs@fem.unicamp.br¹
Ludmila Côrrea de Alkmin e Silva, ludmila@fem.unicamp.br¹
Vivianne Vieira Delgado, vivianne@fem.unicamp.br¹
Franco Giuseppe Dedini, dedini@fem.unicamp.br¹

¹ UNICAMP, Universidade Estadual de Campinas – FEM, Faculdade de Engenharia Mecânica, Rua Mendeleiev, 200 – Cidade Universitária “Zeferino Vaz” Barão Geraldo – Campinas – SP – Caixa Postal: 6122 – 13.083-970

Resumo: *Em veículos motorizados, um dos aspectos que vem se destacando atualmente é a análise da compatibilidade de motores e desempenho esperado para cada tipo de configuração. Em um mundo em que se torna cada vez mais comum a aplicação de motorização híbrida, o estudo de desempenho assume uma importância significativa na caracterização de sistemas integrados de transporte eficiente. Assim, a partir das curvas de vários motores, das características dinâmicas, inércia dos veículo e dos trajetos típicos pode-se criar uma simulação para verificar através de várias combinações possíveis o desempenho esperado para cada configuração. Para tal, é apresentado uma pesquisa e levantamento das funções que cada um dos componentes da montagem do sistema de transmissão de potência exerce e será possível fazer um quadro morfológico com as diversas opções e combinações de cada uma das peças. Desta forma, será possível definir quais as combinações serão mais promissoras em eficiência e menor agressão ao meio ambiente. Este trabalho contribui para o desenvolvimento de novas opções de veículos e também para permitir a comparação dos sistemas atualmente em uso, estando atualmente na fase de desenvolvimento de um software.*

Palavras-chave: *quadro morfológico, veículos híbridos, eficiência, dinâmica veicular, transmissão de potência*

1. INTRODUÇÃO

Através da crescente e acentuada preocupação com o meio ambiente, está se discutindo sobre veículos híbridos mais do que nunca. Estudos mostram que dentre os emissores de gases de efeito estufa, os meios de transporte estão, sem dúvida, em uma das primeiras colocações, segundo Ehsani et al. (2005).

Outro aspecto fundamental e que tem cada vez mais importância na sociedade em que vivemos é a quantidade de dinheiro despendido para se abastecer um tanque de combustível, cujo preço tem subido incessantemente, tornando inviável a possibilidade de que muitas pessoas possuam um carro, o que, hoje em dia, acaba complicando e muito o cotidiano movimentado e corrido que é familiar a todos.

É neste contexto que se faz imprescindível o desenvolvimento de tecnologia neste importante assunto que direta ou indiretamente afeta a todos.

Este estudo terá como objetivo determinar uma dentre as diversas configurações promissoras em termos de eficiência energética. Para isto, a metodologia usada consistirá na análise de cada componente do sistema de transmissão de potência isoladamente para, a partir das principais opções disponíveis, ser possível de ser traçar um quadro morfológico com o objetivo de fazer a melhor escolha.

1.1 Estado-da-arte

Segundo Rahman e Ehsani (1996), o conceito de veículo elétrico foi pensado no meio do século retrasado e, mesmo depois da introdução do motor de combustão interna, ambos continuaram a caminhar lado a lado por muitos anos.

O primeiro veículo elétrico foi construído por Frencheman Gustave em 1881. Tratava-se de um triciclo movido por um motor elétrico de corrente contínua de 0,1 hp alimentado por baterias chumbo-ácido. O veículo mais passageiro pesava aproximadamente 160 kg. Devido à época em que foi desenvolvido, esse projeto não teve grande aceitação, uma

vez que essa tecnologia não conseguia competir com as carruagens a cavalo. A máxima velocidade alcançada era de 15 km/h e a energia armazenada nas baterias era suficiente para propelir o triciclo por apenas 16 km, segundo Wakefield (1993).

Com o advento do automóvel, o interesse em carruagens sem cavalos, os já chamados automóveis, cresceu muito. Nessa época, o carro a gasolina foi ganhando mais e mais notoriedade, uma vez que ele era mais rápido e também era dotado de maior autonomia. Simultaneamente, cada vez mais ruas e rodovias começaram a ser pavimentadas, favorecendo os veículos com maior autonomia.

O primeiro veículo elétrico comercialmente vendido foi o Morris & Salom's Electroboat, que foi utilizado como táxi nas ruas de Nova Iorque. Cada carro poderia ser usado por 4 horas até que suas baterias se descarregassem, sendo o tempo de recarga de 90 minutos. O mesmo era provido de dois motores de 1,5 hp que o permitiam chegar a uma velocidade de 32 km/h e 40 km de autonomia, o que era considerável para a época.

Em 1897, M. A. Darracq desenvolveu a frenagem regenerativa. Trata-se de uma tecnologia que permite que parte da energia cinética do veículo seja recuperada durante a frenagem, recarregando desta forma as baterias e, conseqüentemente, aumentando a autonomia do mesmo. Em situações em que há certo trânsito, seria possível recuperar bastante energia, aumentando a eficiência energética do motor. Dois anos depois, o primeiro veículo alcançou os 100 km/h, o "La Jamais Contente", que era um elétrico criado por Camille Jenatzy na França.

Porém, os veículos a gasolina foram evoluindo e dominando o mercado cada vez mais, pois além de mais barato, eram mais eficientes e eram providos de uma autonomia maior. Com o invento do transistor em 1945, passou a ser mais fácil e melhor de se controlar motores elétricos de corrente alternada através de variação de frequência. Eis que, em 1996, surge a Electrovan desenvolvida pela GM, um automóvel movido por motores de corrente alternada de indução alimentados por inversores de frequência.

Na década de 70, a exacerbação dos problemas ambientais e suas conseqüências aliadas ao avanço nas baterias e na eletrônica introduziram os veículos elétricos como uma possível opção para sanar o problema. A tarefa agora seria de melhorar o desempenho e a autonomia.

Nas décadas de 80 e 90, alguns modelos de carros elétricos foram fabricados e comercializados. Entretanto, tudo era em pequena escala. Foi no fim da década de 90 que a indústria automobilística concentrou seus esforços no desenvolvimento de veículos híbridos, que após algum tempo, tiveram uma produção muito maior e mais avançada do que qualquer elétrico jamais teve.

Segundo Redondo (2006), no veículo híbrido elétrico, unem-se as qualidades do elétrico puro, como a alta eficiência energética e a baixa taxa de emissão de poluentes, e do à gasolina, que possuem uma autonomia muito alta. Assim sendo, as qualidades de cada meio de propulsão compensam os defeitos do outro. O conceito de veículo híbrido elétrico é tão antigo quanto o próprio automóvel. Segundo Ehsani e Gao (2005), o objetivo naquela época não era o de reduzir o consumo de combustível ou qualquer preocupação com o meio ambiente, mas sim fornecer um desempenho aceitável, já que naquela época, os motores a combustão interna eram bem menos evoluídos que os elétricos.

No Salão de Paris de 1899, foram apresentados dois híbridos. O primeiro foi um modelo híbrido paralelo com um pequeno motor de combustão interna refrigerado a ar e assistido por um motor elétrico e baterias de chumbo-ácido. As baterias eram recarregadas enquanto o veículo estivesse parado e quando a potência requerida era maior do que o motor a combustão poderia suprir, o motor elétrico era responsável por prover o adicional de potência. O segundo foi um triciclo híbrido com motorização independente nas duas rodas traseiras. Tratava-se de um motor de combustão interna de 0,75 hp acoplado a um gerador de 1,1 kW que funcionava para aumentar a autonomia do veículo, recarregando as baterias. Entre 1899 e 1914, mais veículos híbridos foram construídos utilizando largamente embreagens e acoplamentos magnéticos.

Segundo Granovskii et al. (2006), existem alguns critérios econômicos chave que devem ser levados em conta na análise de veículos, como por exemplo, preço do veículo (incluindo o preço da troca de baterias, no caso de híbridos ou elétricos), custo do combustível (que está relacionado com a vida do veículo) e a autonomia (que define o número de reabastecimentos necessários) e a comparação entre os parâmetros técnicos e econômicos dos veículos híbridos e convencionais, além de dois outros tipos, como são mostrados na Tab. (1).

Tabela 1. Características econômicas de três tipos de veículos, adaptado de Granovskii et al. (2006).

Tipo de carro	Combustível	Preço (mil US\$)	Consumo de combustível(MJ por 100 km)	Preço do Combustível (US\$ por 100 km)	Autonomia (km)	Preço de troca de baterias por ciclo de vida do carro (mil US\$)
Convencional	Gasolina	15.3	236.8	2.94	540	1 × 0.1
Híbrido	Gasolina	20.0	137.6	1.71	930	1 × 1.02

Tipo de carro	Combustível	Preço (mil US\$)	Consumo de combustível(MJ por 100 km)	Preço do Combustível (US\$ por 100 km)	Autonomia (km)	Preço de troca de baterias por ciclo de vida do carro (mil US\$)
Elétrico	Eletricidade	42.0	67.2	0.901	164	2 × 15.4

Depois da Primeira Guerra Mundial, os veículos com motor a combustão interna tiveram um grande avanço. Desta forma, os híbridos, ainda com tecnologia elétrica básica, não conseguiam competir com eles, que tinham uma potência maior, tamanho menor e não mais precisavam do auxílio de motores elétricos.

Uma das maiores dificuldades era o controle elétrico, uma vez que a eletrônica só surgiu na década de 60. Os acionadores mecânicos e resistores não eram bons o bastante para fazer o controle do motor elétrico, tornando muito difícil que o mesmo fosse compatível com a operação no veículo híbrido.

A partir de 1960, mesmo com a tecnologia da eletrônica, pouco foi feito em termos de híbridos. Foi a partir de 1980 que muitas pesquisas foram feitas, porém poucos foram de fato construídos. Com a diminuição em tamanho dos motores de combustão interna, a introdução de catalisadores e a popularização da injeção eletrônica, o interesse por híbridos diminuiu. Nos anos 90, a indústria, interessada em economia de energia, retomou as pesquisas na área, sendo a Ford a pioneira.

As montadoras seguiram a tendência e construíram protótipos que obtiveram ótimos resultados em economia de combustível. Nos Estados Unidos, a Dodge produziu o Interprid ESX 1, 2 e 3.

Segundo Souza (2008), um programa surgiu nos Estados Unidos com o objetivo de incentivar as montadoras a produzirem um sedan médio que fizesse 35 km/l. Dois automóveis surgiram desse programa, o Ford Prodigy e o GM Precept. Ambos alcançaram as especificações do programa, mas nunca seguiram para produção.

Na Europa, a Renault produziu o Next, que alcançava 29,4 km/l com o desempenho similar aos veículos convencionais. A Volkswagen produziu o Chico, com um banco de baterias Ni-MH e motores elétricos de indução. Porém, as produções mais promissoras foram de montadoras japonesas. Em 1997, a Toyota lançou o Prius. A Honda lançou o Insight e o Civic Híbrido. O Prius e o Insight foram os primeiros híbridos da era moderna a serem realmente comercializados, Ehsani e Gao (2005).

Atualmente, são conhecidas todas as ferramentas para a produção um híbrido elétrico que supere todas as expectativas do motorista em se tratando de gastos com combustível. Porém, o fator que difundiu a idéia de veículo híbrido foi a gestão ambiental, uma vez que os prejuízos ecológicos causados pelo crescente número de carros no mundo é tremendo.

Os veículos mais recentes, em quase sua totalidade, são abastecidos com combustíveis baseados em hidrocarbonetos, que são os responsáveis por suprir a energia necessária para a propulsão dos mesmos. É através da combustão, ou seja, reação com oxigênio do ar, que o combustível libera energia e calor, além de outros resíduos. Tais resíduos na forma de gases são liberados na atmosfera e são altamente prejudiciais e poluentes. Pesquisas mostram que o aquecimento global pelo qual estamos passando pode ter relação com o efeito estufa, causado pela presença de dióxido de carbono e outros gases produzidos através da queima de combustíveis, Honjo (1996).

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Diagrama De Blocos

Como ponto de partida para o desenvolvimento da proposta inicial, foi focado em cada componente presente ao longo do sistema de transmissão de potência separadamente.

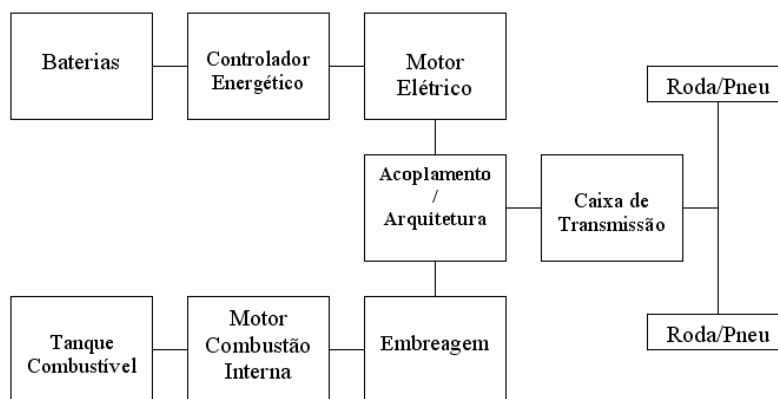


Figura 1. Diagrama de blocos referente ao sistema de transmissão de potência de um veículo híbrido.

Embora cada um dos componentes ilustrados na Fig. (1) exerça uma função fundamental para o funcionamento do automóvel, há duas peças que, caso trocadas por outro modelo ou tipo, não alterariam a eficiência energética do conjunto de forma tão significativa como as demais partes do sistema, a embreagem e o controlador energético.

2.2. Sistemas Envolvidos

Neste projeto foi adotada a metodologia de projeto utilizada no LabSin, na qual o desenvolvimento do produto pode ser dividido em três etapas: estudo de viabilidade, projeto preliminar e projeto detalhado. O estudo proposto por este artigo encontra-se em consonância com a primeira etapa, estudo de viabilidade, onde se faz necessário a análise dos sistemas envolvidos com o intuito de determinar certos parâmetros e condições relevantes para o total entendimento do problema em questão. Desta forma, uma revisão bibliográfica foi feita em cada um dos elementos que aparecem na Fig. (1).

2.2.1. Baterias

Ao analisar uma bateria, existem diversas variáveis a serem consideradas, sendo as mais importantes a energia específica, a potência específica e o tipo de material. A energia específica está diretamente relacionada com a capacidade, ou seja, autonomia que a mesma proporcionaria ao veículo. Neste caso, para uma energia específica alta, é necessário um par com um elemento muito eletronegativo e outro muito eletropositivo, ambos com peso molecular pequenos, segundo Crompton (2000). Em termos de potência específica, temos uma relação direta com a potência que poderá ser produzida, permitindo, conseqüentemente, maiores acelerações, conforme Souza (2008).

Entretanto, na prática, o que se observa é que para potências específicas altas, tem-se energias específicas baixas e vice-versa. Portanto, uma análise é necessária para que seja possível a ponderação de vantagens e desvantagens para cada bateria.

2.2.2. Controlador Energético

A importância da eletrônica em tecnologia veicular tem aumentado acentuadamente nos últimos anos. Segundo Hedge et al. (2009), um automóvel moderno é um sistema eletromecânico muito complexo, cujo conforto, segurança e desempenho dependem fortemente de controladores eletrônicos, os quais realizam funções fundamentais para o carro, como, por exemplo, controle de tração, controle de estabilidade, sistemas de segurança, entre outros. O controlador energético coordena a operação dos subsistemas veiculares com o intuito de cumprir certas metas tais como maximizar a economia de combustível e reduzir a emissão de poluentes. De acordo com Li et al. (2007), este componente é o núcleo de um sistema que rege um veículo híbrido elétrico.

2.2.3. Motor Elétrico

A função do motor elétrico é a de transformar energia elétrica proveniente das baterias em energia mecânica para propulsionar o veículo. No caso oposto, como por exemplo, em uma frenagem regenerativa, a energia cinética do carro é convertida em energia elétrica por um gerador, que é um dispositivo similar ao motor elétrico.

Em comparação ao motor de combustão interna, esse tipo de conversão de energia é muito mais eficiente, além de ter uma manutenção mais barata e maior simplicidade no comando e controle.

A maioria dos motores elétricos trabalha pelo eletromagnetismo, porém existem outros tipos de motores elétricos que possuem um diferente princípio de operação. Existem motores giratórios e lineares, sendo o primeiro o mais comum. Estes fatores desempenham um papel fundamental no funcionamento e rendimento do motor, de forma que uma boa escolha de motor elétrico é fundamental no projeto de um veículo híbrido elétrico.

Vários estudos estão sendo feitos nesta área, porém ainda não podemos dizer que existe um tipo de motor elétrico mais adequado para esta finalidade, uma vez que os resultados obtidos por diferentes pesquisadores nem sempre convergem. Segundo o estudo conduzido por Xue et al. (2008), no qual foram levados em conta eficiência, peso e custo do motor elétrico, o motor de relutância variável é o mais indicado no que diz respeito a veículos híbridos, ao passo que conforme Rahman e Ehsani (1996) e Zeraoulia et al. (2006) constataram em estudos similares, os motores de indução, no momento, tem claras vantagens para híbridos elétricos.

2.2.4. Arquitetura

A classificação de um veículo híbrido é simplesmente definida pela conexão entre os componentes constituintes, que define o fluxo de energia e os controles de potência. Geralmente, os veículos híbridos vinham sendo classificados como série ou paralelo. Entretanto, em 2000, alguns dos novos modelos híbridos não se encaixavam mais em nenhum dos tipos antigos. Sendo assim, dois novos tipos de veículos híbridos surgiram: o série-paralelo e o híbrido complexo, Bartilotti et al. (2009).

Segundo Maggeto e Mierlo (2000), o sistema de propulsão híbrido elétrico série baseia-se na configuração de um veículo elétrico alimentado pela combinação de duas ou mais fontes de energia. Motores a combustão interna ou células a combustível podem ser soluções para aumentar a autonomia deste sistema, ao passo que o motor elétrico ajudaria no fornecimento de potência, reduzindo o gasto de combustível. Já o sistema híbrido elétrico paralelo possibilita um aumento da eficiência do sistema e a aplicação de motores de menores potências do que os usados no sistema tradicional, Souza (2008).

2.2.5. Caixa De Transmissão

A função de uma transmissão é realizar conversão de velocidade e torque de uma fonte de potência rotativa, no caso o motor, para outro dispositivo, no caso as rodas, usando engrenagens. Os pistões do motor geram alta rotação e baixo torque, de forma que não é viável a conexão direta entre eles e o eixo das rodas.

Através do uso de diversas engrenagens, cria-se um sistema mecânico para aumentar ou diminuir o número de rotações transmitidas às rodas. Normalmente, as caixas de transmissão são constituídas de cinco engrenagens e da marcha ré. Além disso, há também a engrenagem do diferencial, que se localiza fora da caixa de câmbio, mas que também possui uma relação de transmissão, alterando a rotação e o torque do sistema.

2.2.6. Rodas/Pneus

A resistência ao rolamento é uma das maiores forças veiculares de resistência, sendo o arrasto aerodinâmico comparável à mesma apenas a partir de cerca de 90 km/h. Portanto, a baixas velocidades e pavimentos duros, a resistência ao rolamento é a força majoritária no sentido de oposição ao deslocamento do carro, chegando em alguns casos a ser a única resistência significativa. Além disso, a resistência ao rolamento tem outra propriedade indesejável: o aquecimento do pneu. O aumento da temperatura reduz as resistências à abrasão e fadiga, limitando o desempenho do pneu, segundo Gillespie (1992).

2.2.7. Embreagem

Conforme Norton (2004), uma embreagem é constituída de dois elementos conectados que podem rodar entre si, fornecendo uma conexão que pode ser interrompida entre dois eixos, permitindo, por exemplo, que o motor de combustão interna possa continuar rodando quando um veículo está parado. Além disso, a função dela é de suavizar a troca de marchas através da absorção de variações bruscas de torque e também possibilitar a saída do veículo suavemente.

2.2.8. Motor

O motor a combustão interna é responsável pela produção de energia que será utilizada na movimentação do automóvel e isto é feito através da queima da mistura ar pressurizado e combustível. Trata-se de uma máquina térmica, que funciona através de ciclos termodinâmicos que envolvem expansão e compressão.

Na escolha deste tipo de motor, é necessário ter atenção no que tange certos parâmetros, como por exemplo, o peso do mesmo, a eficiência energética, a taxa de produção de potência e a emissão de poluentes.

De acordo com Bajay (2009), o primeiro motor a pistão que foi comercializado proporcionava uma potência máxima de 6 hp e máxima eficiência de cerca de 5%. Hoje em dia os motores mais utilizados em automóveis de uso pessoal possuem uma eficiência em torno de 30%-35%.

2.2.9. Tipos De Combustível

Teoricamente, qualquer substância que reage com o oxigênio pode ser considerada combustível. Tal reação libera energia e calor em maior ou menor quantidade, dependendo do reagente químico, gerando mais ou menos potência

líquida para acelerar o carro. Quanto maior a potência liberada pelo combustível por unidade de massa, maior é a sua autonomia por litro sendo, portanto, mais interessante.

Em contrapartida, temos que tomar cuidado com os produtos dessa reação de combustão, uma vez que as preocupações ambientais foram o que mais contribuiu para que as pesquisas em veículos híbridos se intensificassem de tal magnitude.

Mais recentemente, também devido às discussões sobre os impactos ambientais, tem-se aumentado o uso e pesquisa sobre biocombustíveis. Segundo Peters e Thielmann (2008), o interesse em biocombustíveis está crescendo em nível mundial já que as preocupações sobre a segurança do suprimento energético e as alterações no clima mundial estão sendo discutidas com certa frequência. Entretanto, com exceção do bioetanol produzido no Brasil, a produção dos mesmos custa muito mais do que a extração de combustíveis fósseis.

2.3. Quadro Morfológico

Este trabalho visa o estudo de viabilidade para carros híbridos, assim uma das ferramentas utilizadas é o quadro morfológico. Tal método consiste em decompor o problema global em problemas parciais ou parâmetros do sistema, de acordo com Delgado Neto (2005). Estes dados são esquematizados no formato de uma tabela, onde os parâmetros a serem trabalhados localizam-se na coluna da esquerda e para cada um deles, em sua respectiva linha, são apresentadas algumas das possíveis alternativas de opção para o parâmetro descrito na primeira coluna. Ao se fazer o cruzamento de dados entre todas as possíveis soluções de cada linha, o número de soluções obtidas pode ser muito elevado. Teoricamente, o número de soluções possíveis seria o produto do número de possibilidades por parâmetro. Cada uma das possíveis soluções consiste na escolha e utilização conjunta de um item por linha, sendo que o resultado é aleatório e cabe ao usuário discernir se o resultado é ou não promissor. Entretanto, obviamente nem todas as soluções são viáveis, seja por motivos financeiros ou especificações técnicas como, por exemplo, dimensão ou praticidade. Como mencionado por Delgado Neto (2005), entre as vantagens do uso de um quadro morfológico para resolução de um problema estão: a representação de problemas complexos mediante um simples quadro, o uso de procedimento sistemático, além da possibilidade de uma análise completa do sistema.

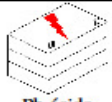
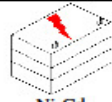
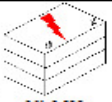
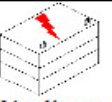
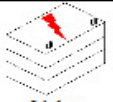
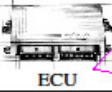




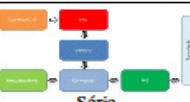
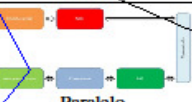
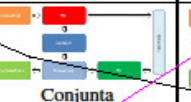













Bateria	 Pb-ácido	 Ni-Cd	 Ni-MH	 Li-polímero	 Li-íon
Unidade de Controle	 ECU				
Motor Elétrico	 Relutância Variável	 Indução	 Ímã	 Escovado	
Arquitetura	 Série	 Paralelo	 Conjunta	 Mild/Soft	
Caixa de Transmissão	 Manual	 Sequencial	 Automática	 DSG	 CVT
Motor	 Ignição por compressão	 Ignição por centelha			
Tipo de Combustível	 GNV Gás natural	 Gasolina	 Etanol	 Diesel	 Carvão vegetal

Figura 2. Quadro morfológico.

O quadro morfológico apresentado na Fig. (2) pode gerar inúmeras soluções. Ao se cruzar todos os possíveis dados apresentados no quadro morfológico, são geradas novas soluções aleatórias. Na Fig. (2), são mostradas três possíveis soluções extraídas do quadro. No destaque em linhas azuis está a primeira solução, utilizando cada um dos parâmetros. Indicadas com as linhas rosa e preta estão mostradas outras duas soluções. Em posse destas soluções, é necessária que uma avaliação minuciosa seja feita para que se chegue a um resultado concreto que indique qual dentre as combinações abordadas é a mais promissora.

Entre as soluções ilustradas na Fig. (2), há uma combinação de baterias de níquel-cádmio fornecendo eletricidade a um motor elétrico escovado, que está conectado a um motor de ignição por compressão alimentado por gás natural através de uma arquitetura “mild” e uma caixa de câmbio automática. Outra possível solução consiste em uma

combinação entre baterias de lítio-íon, um motor elétrico de relutância variável, transmissão manual convencional, motor de ignição por centelha, etanol como combustível e uma arquitetura paralela. Quanto ao terceiro resultado gerado, trata-se de um banco de baterias de níquel e hidreto metálico conectado a um motor elétrico de indução que, de forma conjunta, fornece potência juntamente com um motor de combustão interna por centelha a gasolina e utiliza uma transmissão CVT. Este último resultado se assemelha muito à configuração utilizada no Toyota Prius.

De forma similar, o mesmo procedimento pode ser feito até que todas as combinações apresentadas no quadro morfológico sejam utilizadas.

2.4. Proposta De Análise

Tendo montado o quadro morfológico referente ao trem de potência de um veículo híbrido, é possível associar uma curva típica a cada um dos elementos que o constituem, como por exemplo, as curvas típicas de motores de ignição por compressão (Ciclo Diesel) e de ignição por centelha (Ciclo Otto), como é ilustrado na Fig. (3).

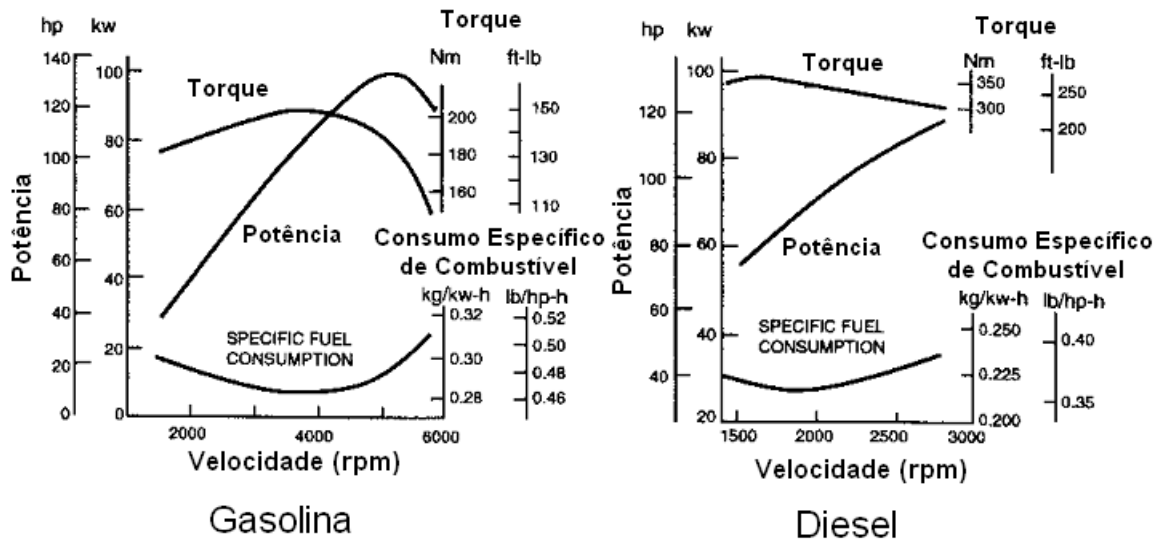


Figura 3. Formato de curvas características referentes aos motores de ignição por centelha e ignição por compressão, respectivamente, Gillespie (1992).

As curvas mencionadas acima representam um comportamento inerente a cada um dos sistemas, mas a cada um deles cabe uma análise mais cuidadosa, uma vez que nem todos os motores de combustão interna se comportam exatamente da forma representada na Fig. (3), porém apenas de maneira similar. Seguindo esta metodologia, é possível a organização de um novo diagrama de blocos representando, em tabelas ou graficamente, todos os dados relevantes para a análise de eficiência de um veículo híbrido elétrico. Segue abaixo um exemplo deste diagrama proposto.

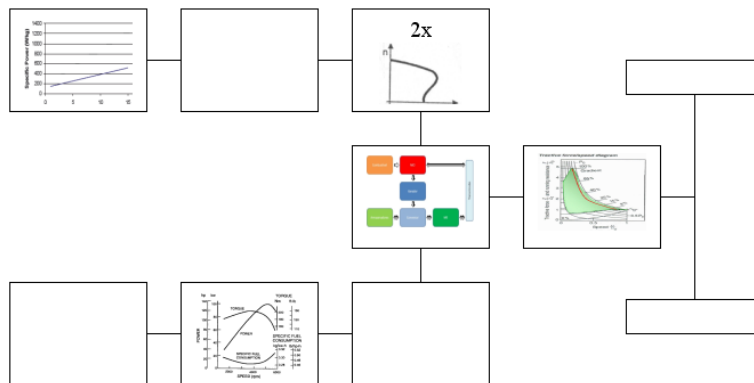


Figura 4. Dados sobre o Toyota Prius, um veículo híbrido, em forma de diagrama de blocos.

Na Fig. (4), um dos veículos híbridos mais bem sucedidos está representado de forma sucinta, porém suficiente para que uma análise via simulação numérica pudesse ser feita, obtendo, segundo expectativas, resultados aceitáveis. O Prius possui um banco de baterias de níquel e hidreto metálico, dois motores elétricos de indução, uma transmissão que utiliza engrenagens planetárias que se comporta de forma similar a uma CVT, um motor de combustão interna por centelha que utiliza o ciclo Atkinson e uma arquitetura do tipo conjunta.

A idéia inicial deste estudo era desenvolver um software que, ao ser alimentado com dados como os citados acima, simularia a eficiência energética de qualquer veículo. O software proposto seria capaz de analisar qualquer tipo de veículo, seja ele convencional, elétrico ou híbrido, que é o foco deste trabalho. No caso de convencionais ou híbridos, bastaria zerar todos os componentes referentes ao ramo contrário do trem de potência.

Para o desenvolvimento deste software, está sendo utilizada a metodologia proposta por Delgado Neto (2009). Para isto, três fases distintas são necessárias: fase de definição, fase de desenvolvimento e fase de operação. A primeira fase se subdivide em análise de requisitos, restrições e recursos, proposta de soluções, estudo de viabilidade, estimativa e análise de riscos utilizando o software e protótipos de apresentação.

A criação deste programa de simulação está no estudo de viabilidade, requerendo, portanto, uma vasta pesquisa e levantamento de dados.

Uma vez que o software esteja pronto e funcionando corretamente, será possível fazer a análise proposta levando em conta os parâmetros relevantes e, a partir daí, descartar as opções geradas pelo quadro que não servem para as propostas de projeto, qualquer que seja o motivo.

Segundo Albuquerque (2003), a simulação por meio software é citada desde os anos 60. A principal vantagem das simulações é a possibilidade de se criar alternativas de projeto sem a necessidade da construção de protótipos. A maior consequência disso reside em fatores econômicos e ambientais. Quanto ao primeiro, há uma redução de custos. O segundo se deve à diminuição da quantidade de lixo industrial produzida.

3. CONCLUSÃO

O diagrama de blocos e o quadro morfológico referentes ao trem de potência de um veículo híbrido elétrico ilustrados na Fig. (1) e Fig. (2) esquematizam a transmissão de potência entre as fontes e o solo. Associado a estas ferramentas vem o software de simulação de eficiência já em desenvolvimento. Uma vez concluído, o software possibilitará a execução de uma simulação com resultados aceitáveis no que tange viabilidade de projeto e permitirá uma comparação dos sistemas já existentes, além da possibilidade de se efetuar análises a fim de se maximizar a chance de desenvolver um projeto com sucesso.

O quadro morfológico é uma poderosa ferramenta no que diz respeito a desenvolvimento de projetos e de produtos, facilitando a compreensão de todo o sistema. Através dele, pode ser gerado um número muito alto de soluções, entretanto, nem todas são interessantes do ponto de vista de projeto. Para verificar as soluções mais promissoras e que merecem maior atenção, é necessário que simulações computacionais sejam feitas.

Vale ressaltar, também, que este tipo de análise envolveria não só veículos híbridos, mas também veículos convencionais e elétricos, uma vez que um veículo convencional pode ser modelado como um híbrido sem potência proveniente do motor elétrico e vice-versa.

Este trabalho visa condensar estudos específicos de diversos autores em cada um dos itens presentes no quadro morfológico para escrever um algoritmo de análise de desempenho longitudinal veicular. Uma bibliografia bem vasta foi consultada a fim de observar o problema de diversos ângulos e considerar o maior número de aspectos envolvidos possível.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a CNPq, Capes e Unicamp pelo apoio e incentivo ao longo dos anos.

5. REFERÊNCIAS

- Albuquerque, A.A., 2003, "Caracterização da Resposta Dinâmica de uma CVT por Polias Expansivas", Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Bajay, S.V., 2009, "Introdução a Motores de Combustão Interna", Apostila de Sistemas Fluidotérmicos I, Graduação, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Bartilotti, R.R., Genesini, P.R., Raizer, B., Souza, R.B., Dedini, F.G., 2009, "Functional modeling of the powertrain system of a hybrid vehicle", Document No. 2009-36-0258, SAE.
- Crompton, T.R., 2000, "Battery Reference Book", SAE.
- Delgado Neto, G.G., 2005, "Uma contribuição à metodologia de projeto para o desenvolvimento de jogos e brinquedos infantis", Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Delgado Neto, G.G., 2009, "Desenvolvimento e aplicação de um programa computacional, para abordagem sistemática de desenvolvimento de produtos e services", Dissertação de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Ehsani, M., Gao, Y., Gay, S.E., Emadi, A., 2005, "Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles, Fundamentals, Theory and Design".
- Gillespie, T.D., 1992, "Fundamentals of Vehicle Dynamics", SAE.
- Granovskii, M., Dincer, I., Rosen, M.A., 2006, "Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen cell vehicles", Journal of Power Sources, Vol. 159, No. 2, pp. 1186-1193.
- Hedge, R., Gurusurthy, K.S., 2009, "Load Balancing in Multi ECU Configuration", 2009 International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing, pp. 103-106.

- Honjo, K., 1996, "R&D for technology to solve global warming", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 59, No. 3, pp. 218-220.
- Li, W., Tong, H., Xu, G., Xu, Y., 2007, "Design of vehicle control unit based on DSP for a parallel HEV", Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, pp. 1597-1601.
- Maggeto, G., Mierlo, J.V., 2000, "Electric and Electric Hybrid Vehicle Technology: A Survey", IEEE Seminar.
- Norton, R.L., 2004, "Projeto de Máquinas – Uma Abordagem Integrada", Ed. 2, Bookman, Brasil.
- Peters, J., Thielmann, S., 2008, "Promotion biofuels: Implications for developing countries", Energy Policy, Vol. 36, No. 4, pp. 1538-1544.
- Rahman, K.M. and Ehsani, E., 1996, "Performance analysis of electric motor drives for electric and hybrid electric vehicle applications", Power Electronics in Transportation, IEEE, pp. 49-56.
- Redondo, S.M., 2006, "Optimização de Sistemas de Propulsão de Veículos para Frotas", Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Souza, R.B., 2008, "Veículos híbridos, uma visão preliminar do balanço de energia", Trabalho de Graduação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Wakefield, E.H., 1993, "History of the Electric Automobile", SAE.
- Xue, X.D., Cheng, K.W.E., Cheung, N.C., 2008, "Selection of electric motor drives for electric vehicles", 2008 Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC 2008.
- Zeraoulia, M., Benbouzid, M.E.H., Diallo, D., 2006, "Electric Motor Drive Selection Issues for HEV Propulsion Systems: A Comparative Study", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 55, No. 6.

6. DIREITOS AUTORAIS

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

DEVELOPMENT OF NEW CONFIGURATIONS OF HYBRID SYSTEMS OF MOTORIZATION AND VEHICULAR LONGITUDINAL PERFORMANCE ANALYSIS

Marcelo Gennari Tanikawa, marcelo.tanikawa@gmail.com¹
Geraldo Gonçalves Delgado Neto, geraneto@fem.unicamp.br¹
Reynaldo Barros de Souza, reybs@fem.unicamp.br¹
Ludmila Côrrea de Alkmin e Silva, ludmila@fem.unicamp.br¹
Vivianne Vieira Delgado, vivianne@fem.unicamp.br¹
Franco Giuseppe Dedini, dedini@fem.unicamp.br¹

¹ UNICAMP, State University of Campinas – FEM, Mechanical Engineering Faculty, 200 Mendeleiev Street – Cidade Universitária “Zeferino Vaz” Barão Geraldo – Campinas – SP – Zip Code: 6122 – 13.083-970

Abstract: *When it comes to motorized vehicles, one of the most important points nowadays is the compatibility analysis of engines and their hoped performance for each single type of configuration. In a world where the application of hybrid motorization becomes more and more common, the study of performance is of essential importance in the characterization of integrated systems of efficient transport. Thus, from the torque and speed curves of several different engines, typical tracks and dynamic characteristics, such as inertia, a simulation could be created to verify the expected performance for different possible combinations. For such, it is presented a research and survey of each component of the assembly of a powertrain and its respective function. This way, it will be possible to put together a morphological chart with all the options of part combinations. Thus, it will be defined which combinations are the most promising about efficiency and environmental impact. This paper contributes for the development of new vehicles options and it allows the comparison of systems currently in use, as well, being currently situated in the phase of development of a software.*

Keywords: *morphological chart, hybrid vehicles, efficiency, vehicle dynamics, power transmission*