

Sistemas Controlados de Propulsão de Veículos Automotores

Clayton Vinicius Ferraz
GM do Brasil - Centro Tecnológico
Av. Goiás, 2769 - CT 2
09550-051–São Caetano do Sul - Brasil
E-mail: cvferraz@uol.com.br

Prof. Dr. Decio Crisol Donha
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Departamento
de Engenharia Mecânica
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, Cidade Universitária
05508-900 – São Paulo - Brasil
E-mail: decdonha@usp.br

Abstract

This work discusses automotive powertrain controlled systems, classified as traditional, hybrid or alternative propulsion systems. The text describes the application and development stages of the most promising technologies, including internal combustion engines, transmissions, electrical systems and fuel technologies. The work includes a discussion on future automotive propulsion systems, leading to the fuel cell solution, which unfortunately does not have a reasonable development time for market applications. Hybrid electrical vehicles based on batteries are then presented as an intermediate and alternative feasible solution. In the assessment section, the paper analyzes hybrid vehicles in details according to classification, systems and functionality. Furthermore, the work presents a case with the definition of an optimal solution for a hybrid vehicle under economical, environmental and technical aspects. In that case study, results of mathematical model simulations, using software ADVISOR 2002, validates the physical viability of the proposed model. Accomplished results are presented in a conclusion section, showing that the proposed solution satisfies the specifications in many aspects, whereas new alternatives for future work are proposed.

Keywords: powertrain, hybrid vehicles, vehicle simulation, pollution, Advisor,

Resumo. Este trabalho versa sobre os sistemas controlados de propulsão veicular, classificando-os em propulsão convencional, híbrida ou alternativa. Isto facilita o agrupamento em características técnicas e construtivas. O texto descreve os sistemas atuais, suas aplicações e estágios de desenvolvimento. Para tanto, o texto relaciona as tecnologias de motores de combustão interna, transmissões, sistemas elétricos e combustíveis empregados. O trabalho discute e analisa um plano para o futuro dos sistemas de propulsão veicular. A solução para este plano, as células de combustível, ainda não tem prazo definido para predominar no mercado e o texto apresenta os veículos híbridos como solução alternativa e intermediária. Na seção de desenvolvimento, o texto analisa os veículos híbridos em detalhes, quanto à sua classificação, sistemas e funcionalidades. Ainda, o texto apresenta um estudo de caso, com a definição da solução ótima para um veículo híbrido, sob aspectos econômicos, ambientais e técnicos. Neste estudo de caso, os resultados da simulação do modelo matemático no software ADVISOR 2002 corroboram a viabilidade física do modelo proposto. O texto finaliza com a revisão dos resultados obtidos, que atendem os requisitos apresentados em muitos aspectos, e propõe alternativas de continuidade para o trabalho.

Palavras- chave: propulsão veicular, veículos híbridos, simulação de veículos, poluição, Advisor.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objetivo apresentar e descrever os sistemas de propulsão de veículos automotores. A abrangência se limita a veículos de passeio ou comerciais leves (até 10 passageiros). Inicialmente, apresentam-se os sistemas de propulsão mais usual para veículos, compreendendo o motor, a transmissão e, em casos específicos, os sistemas de armazenamento da energia. Serão incluídas tecnologias em uso com desenvolvimentos passados, tecnologias com desenvolvimentos recentes e, tecnologias ainda em desenvolvimento para emprego futuro. O texto ainda aborda as tecnologias de sistemas de propulsão convencional e seus benefícios, discute as soluções híbridas e encerra com os vários tipos de veículos elétricos, incluindo aqueles movidos a células de combustíveis.

A seguir, discutem-se planos e estratégias globais para a solução dos problemas de consumo de combustíveis e emissões dos veículos. O texto define a solução final dos sistemas de propulsão veiculares e apresenta uma solução alternativa e intermediária, mais adequada para atender as exigências de adaptabilidade e aceitação comercial, baseado na necessidade percebida de médio prazo (10-30 anos) do mercado.

Na seqüência, os veículos híbridos são analisados e detalhados quanto à classificação, arquitetura, sistemas e funcionalidades. Em um estudo de caso particular, é definida a melhor solução para um veículo híbrido sob aspectos econômicos, ambientais e técnicos. Os resultados de simulação matemática do modelo matemático no software ADVISOR 2002, permitem a análise de sua viabilidade física. Finalmente, as soluções construtivas do sistema e os resultados de simulações são discutidos sob aspectos técnicos e teóricos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Para facilidade de discussão, optou-se por dividir os sistemas de propulsão em três categorias: Convencional, Alternativo e Híbrido. Esta classificação não pretende ser definitiva, mas apenas facilitar o agrupamento dos sistemas e permitir uma compreensão lógica dos mesmos.

2.1 Sistemas Convencionais

A propulsão convencional é composta por um motor de combustão interna (MCI) e um sistema de transmissão para maior eficiência do motor nas velocidades de trabalho. Os MCI são compostos por um ou mais cilindros, denominados câmara de combustão, onde o ar, misturado ao combustível, sofre compressão e combustão. O combustível define o tipo de ciclo do motor, e portanto, se há centelha no processo de combustão.

2.1.1 Combustíveis

As tecnologias envolvendo combustíveis focam a possibilidade de uso de combustíveis não derivados do petróleo, ou derivados em estado gasoso, utilizados em sistemas mono ou multi-combustível, os denominados sistemas flexíveis.

O gás hidrogênio pode ser utilizado como combustível em MCI, com ótimos resultados quanto à redução de emissões e consumo de combustível. Os principais sistemas modificados e/ou adicionados aos veículos regulares são os sistemas de armazenamento de combustível, distribuição e segurança para o hidrogênio, além de regulagens do MCI [16].

Recentemente, no Brasil, tem ganhado espaço o chamado veículo de abastecimento flexível que possui tanque de combustível, sistema de abastecimento e motor únicos. A tecnologia, criada nos EUA na metade da década de 1980, consiste em um motor que pode consumir gasolina sem chumbo e álcool combustível em qualquer mistura. O motor e o sistema de abastecimento do veículo deve ser minimamente adaptado para consumir álcool combustível, pois este é corrosivo. Também, deve haver um sensor especial na linha de combustível para analisar a mistura do combustível e controlar sua injeção e sincronização para se ajustar a diferentes composições de combustível [45].

2.1.2 Comandos de Válvulas e Fluxo de Ar

Alguns MCI se caracterizam pelo uso de válvulas para controle de admissão e exaustão da mistura ar-combustível na câmara de combustão. Os benefícios do uso de comando variável de válvulas são extensos e incluem [3]:

- permitir ao motor atingir seu torque máximo em rotações menores, e o sustentar por uma faixa de rotações mais ampla;
- viabilizar uma curva mais linear de geração de potência, e maior potência em altas rotações;
- melhorar a estabilidade da combustão em marcha lenta e acelerar o aquecimento do catalisador, reduzindo emissões;

- reduzir o consumo de combustível, ao reduzir as perdas relacionadas com a compressão do ar sem realização de trabalho útil;
- melhorar a eficiência de um motor a gasolina, ao gerar recirculação interna dos gases.
- em alguns casos, eliminar a válvula borboleta.

Um conceito para controle eletrônico de abertura e sincronização variável da válvula é apresentado na Figura 1.

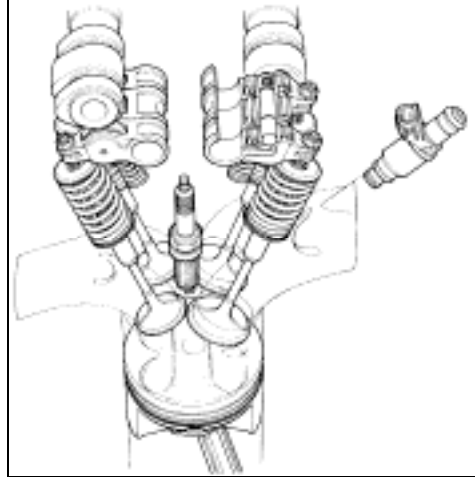


Figura 1 – Sistema i-VTEC da Honda no Acura RSX.

Quanto à tomada de ar, os motores podem ser naturalmente aspirados, turbocomprimidos e, mais recentemente, supercomprimidos [20]. O resultado, nos últimos dois casos, é o aumento da massa de ar-combustível admitida em cada cilindro e, conseqüentemente, maior pressão da expansão dos gases na câmara de combustão, gerando maior potência líquida no motor. Embora associado à melhoria de potência do veículo para acelerações, o sistema pode ser utilizados também para melhorar a eficiência geral do motor [14]. Os principais benefícios percebidos são o aumento substancial da potência disponível, a economia de combustível e a redução de emissões [5], [20].

2.1.3 Injeção e Queima de Combustível

Na tecnologia tradicional, a mistura A/C admitida no cilindro não pode se desviar muito da razão estequiométrica ótima (razão A/C 14,7:1), já que misturas muito pobres não queimam. A injeção direta em motores de ciclo Otto é uma aplicação recente para veículos de série, com o desenvolvimento de novos sistemas de injeção de alta pressão e o progresso nos catalisadores desnitrificadores. Os principais benefícios são o aumento de potência do motor e reduções de consumo de combustível (entre 10-15%) e emissões de hidrocarbonetos (HC) na partida a frio. Para maior economia de combustível, a operação do motor em carga parcial ocorre com razões A/C extremamente pobres. Em carga plena, a mistura A/C torna-se mais homogênea, permitindo ao motor gerar a máxima potência de saída [3].

Para os MCI com combustão por compressão, avanços recentes na tecnologia de injeção Diesel compreendem os Sistemas de Injetor Unitário e Conduto Comum (*Common Rail*).

O Sistema de Conduto Comum é ideal para aplicações em carros de passeio devido ao seu volume compacto e seu excelente desempenho [1]. Neste sistema, uma bomba de alta-pressão comprime o combustível até a pressão de injeção em um acumulador (conduto) que alimenta os bicos injetores dos cilindros. Este processo permite uma larga faixa de pressões de injeção, de 25MPa, em marcha-lenta, até 135MPa em rotação nominal. A quantidade de combustível injetado é determinada pela duração da abertura da válvula solenóide e a pressão do sistema [5].

Diferentemente, a solução de Injetores Unitários (UI) apresenta maiores pressões e melhores características de torque em todo o espectro de rotações do motor. O combustível é distribuído na câmara de combustão em pressões maiores que 200MPa. Válvulas solenóides controlam a vazão da quantidade necessária de combustível, direcionando o combustível para uma linha de sobre-vazão, quando aberta, ou através dos orifícios de jatos do bocal do injetor, quando fechada. O tempo de injeção é definido a partir do início da distribuição do combustível, enquanto o intervalo em que a válvula permanece fechada determina a quantidade de combustível [5].

2.1.4 Transmissões

Em relação às transmissões dos sistemas convencionais, estas podem ser divididas em manuais, automatizadas ou semi-automáticas, automáticas ou transmissões continuamente variáveis (CVT). Seu principal atributo da é fazer com que o motor trabalhe sempre próximo ao ponto de maior eficiência. O sistema dispõe de um sistema

de acoplamento/desacoplamento do motor para permitir a troca de marchas da transmissão. Este sistema pode consistir em embreagem, acoplamento hidráulico (conversor de torque), ou acionamento direto (sem sistema de acoplamento) e permite a partida do motor com o veículo parado.

As transmissões manuais automatizadas (AMT), são modelos que permitem trocas automáticas de marcha, além do modo manual, com desempenho, consumo de combustível e emissões comparáveis às transmissões manuais convencionais, mas com benefícios em dimensões e custos, se comparadas a uma transmissão automática [19]. Em relação às Transmissões de Embreagem Dupla (DCT), estas foram desenvolvidas utilizando uma caixa automática de mudanças direta, com 6 velocidades e 2 embreagens a óleo. A solução propicia economia de combustível, desempenho e facilidade de trocas de marcha, superiores a uma transmissão manual. O sistema de duas embreagens com óleo, ajustadas hidráulicamente, possuem grande capacidade de suportar cargas térmicas e melhor regulação térmica que os modelos secos. Uma destas embreagens atende às engrenagens ímpares, mais a ré, e a outra atende às engrenagens pares, formando, duas transmissões paralelas [21].

Atualmente, a maioria das transmissões automáticas no mercado mundial, é de 4 velocidades, mas recentemente, o uso e projeto de transmissões de 5, 6 ou até 7 velocidades tem crescido. Uma transmissão automática de 7 velocidades está ilustrada na Figura 2 [22], porém, segundo especialistas, devido a seu projeto compacto, as transmissões de 6 velocidades se tornarão a solução preferida para motores de instalação longitudinal [11].



Figura 2 – Transmissão automática 7 velocidades 7G-Tronic da Mercedes-Benz.

Em relação ao CVT, há diversas soluções para os conceitos existentes e dois tipos básicos [6]. O mais popular em aplicações automotivas é do tipo correia-e-polia, já utilizada em “scooters” e motos para neve. Neste tipo de CVT [18], a variação das razões entre entrada e saída é executada por duas metades separadas de polias, que se aproximam se ou afastam para aumentar ou diminuir o raio de uma correia que as percorre.

O outro tipo de CVT transfere potência através de superfícies metálicas curvas, sendo mais conhecido o sistema toroidal. Charles Hunt inventou o CVT toroidal em 1877 e, a então denominada transmissão de acionamento por fricção. Foi empregado pela primeira vez em veículos na década de 1920. Em 2001 foi desenvolvido um sistema semi-toroidal, que utiliza rolamentos para transferir a potência entre os discos de entrada e saída, capaz de transmitir alto torque [6].

2.1.5 Sistemas Híbridos

Os sistemas de propulsão híbrida são caracterizados pela diversidade de configurações existentes, todavia, sempre apresentam um sistema de conversão de energia, onde o combustível é transformado em energia mecânica ou elétrica, e uma ou mais máquinas elétricas (ME), que auxiliam na tração do veículo. Além disso, dispõem de sistemas de armazenamento de energia elétrica. Tais Veículos Elétricos Híbridos (VEH), podem apresentar muitas combinações de conversão e armazenamento de energia, cujo objetivo principal é aumentar a eficiência total do veículo [39]. Um destes sistemas de propulsão híbrida está ilustrado na Figura 3 [7].



Figura 3 – Sistema Híbrido IMA da Honda.

A principal desvantagem dos sistemas híbridos é a redução de espaço e da carga útil, quando comparados com sistemas convencionais, devido aos sistemas adicionais necessários.

Em relação à tecnologia de armazenamento de energia, o desenvolvimento de baterias de tração de alto desempenho é um problema chave para a futura aceitação de veículos híbridos e elétricos no mercado. O sistema de Hidreto Metálico de Níquel (NiMH) é, ao lado do sistema de Íon-Lítio (Li-Íon), o mais promissor sistema de baterias para veículos elétricos. Estas tecnologias são preferidas à tecnologia tradicional de baterias chumbo-ácidas (PbA) e Níquel-Cádmio (Ni-Cd) por razões de densidade de energia, densidade de potência e potência de saída em baixo estado de carga [26], [37]. Outra alternativa tecnológica é o ultracapacitor. Simulações em veículos indicaram que tais dispositivos poderiam ser usados para substituir as baterias em veículos elétricos. Projeções de densidade de energia, baseadas na combinação das características dimensionais e de materiais, indicam que há grande possibilidade de alcançar densidades de energia similares às de baterias com a continuidade do desenvolvimento de materiais para ultracapacitores [24].

2.1.6 Sistemas Alternativos

Os sistemas de propulsão alternativa são formados basicamente por motores elétricos, onde a fonte de energia pode variar entre rede convencional de energia elétrica, irradiação solar ou células de combustível.

Os veículos solares nunca ultrapassaram a fase de protótipos para atingir a produção em série. Até hoje, as aplicações de maior relevância são competições internacionais. Na Austrália, há o “*World Solar Challenge*”, competição de veículos solares com percurso total de 3.000km, e nos EUA, há o “*American Solar Challenge*”, com percurso total de 3.680km [23].

Diferentemente do caso anterior, o veículo elétrico de suprimento de energia pela rede convencional chegou à produção com diversos fabricantes. Inventado em 1834, várias companhias produziram veículos elétricos nos EUA, Inglaterra e França durante a última década do século 19 [30] Mais tarde, outros sistemas foram desenvolvidos, visando atender programas americanos de veículos de emissões nulas.

O terceiro tipo de sistemas alternativos, são os veículos com célula de combustível que, ao invés de um MCI, possuem um sistema que converte o combustível diretamente em energia elétrica, sem emissões, que alimenta sistemas elétricos de propulsão para mover o veículo. Este sistema de geração, denominado células de combustível, consiste de uma pilha de células de troca gasosa, onde íons de hidrogênio do combustível reagem com gás oxigênio do ar para produzir água, calor e eletricidade. Os íons de hidrogênio podem ser obtidos diretamente de gás hidrogênio abastecido no veículo ou de combustíveis compostos de hidrocarbonetos, através de reformadores de combustíveis. O sistema mais comumente utilizado em automóveis é o do tipo de membrana de troca de Prótons (PEM) e a energia elétrica gerada pode ser utilizada diretamente nos motores e sistemas elétricos do veículo ou armazenada para consumo posterior [10].

Uma montadora americana apresentou, em 2002, um conceito de veículos com tecnologia de célula de combustível. O veículo, ilustrado na Figura 4, utiliza os sistemas desenvolvidos nos últimos anos pela empresa e seus parceiros, revolucionando processos de manufatura, tecnologia e modelo de negócios automotivos. Todo o sistema de controle e propulsão restringe-se a um chassi em forma de prancha [4], [10], [16].



Figura 4 – Prancha do AUTOmomy da GM

3. DISCUSSÃO

Os veículos automotores representam fonte significativa de poluição atmosférica, resultado das emissões de Óxidos de Carbono (CO_x), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Óxidos de Enxofre (SO_x), material particulado, Aldeídos, entre outros, decorrentes da queima de combustíveis fósseis e combustíveis alternativos como o etanol e gás natural veicular. Pressões ambientalistas nos últimos anos levaram países integrantes da Comunidade Européia e o Japão, a limitarem suas emissões automotivas, através de leis restritivas. Na América do Norte, especialmente nos EUA, leis rigorosas têm sido criadas, trata-se, contudo, de solução a longo prazo [17]. Para certa montadora européia, as legislações européias de emissões Euro III e IV resolverão o problema dos poluentes tradicionais, todavia, os materiais particulados e o CO_2 ainda representam dificuldades de solução [8].

Os dois principais temas enfocados nas discussões das tecnologias futuras dos veículos automotores são o combustível e o meio de propulsão a ser adotado. Sobre o segundo tema, as soluções são amplas e abrangentes, tais como alterações nos MCI atuais para utilização de combustíveis alternativos e menos poluentes, soluções híbridas que mesclam tecnologias de propulsão convencional com sistemas elétricos alternativos ou paralelos, e a última palavra da tecnologia: as células de combustível com motores elétricos. Grupos ou conglomerados mundiais apresentam sua solução própria, porém, as soluções são ainda comercialmente inviáveis ou de comercialização ainda restrita a nichos de mercado.

O primeiro tema citado tende a ser consensual, mesmo que em longo prazo. O hidrogênio mostra grande receptividade em todas as companhias, embora se discuta a sistemática de distribuição, armazenamento e produção [16]. Um estudo encomendado por uma montadora analisou 36 sistemas de combustíveis com 18 conceitos de propulsão, desde a produção até o consumo final do combustível, sob condições Européias em 2010. Os resultados mostraram que o uso de gás natural para produzir hidrogênio para uso em veículos com célula de combustível, seria atrativo em termos de emissões, dependendo da fonte do gás natural. Porém, o resultado ótimo seria obtido com hidrogênio produzido de fontes renováveis de energia, como a biomassa ou de usinas eólicas e utilizado em células de combustível[15].

Para o período de transição, discute-se qual seria a melhor solução para os combustíveis e não há consenso imediato entre Europa EUA e Japão. Em última análise, o combustível a ser utilizado no futuro seria o hidrogênio e reformadores de gasolina poderiam ser utilizados na fase de introdução [8].

A convergência dos dois temas propostos acima ainda é incerta, como é incerto o período de transição das tecnologias atuais para a tecnologia futura definitiva. Como referência, a eficiência do uso do combustível desde a produção até o acionamento da roda (“*well-to-wheel*”), nos sistemas convencionais é de cerca de 14% e nos sistemas híbridos atuais está entre 26% e 42% [13]. Resultados de previsão recente, indicam 92% de participação de MCI, 6% de veículos híbridos e 2% de veículos com células de combustível no período 2015-2020 [12]. Os híbridos elétricos são uma pré-condição para avanços na direção das células de combustível, já que estão em caminhos convergentes.

Todas as companhias americanas têm planos para lançar até 2005 vários modelos comerciais leves híbridos para disputar uma fatia neste mercado [7]. No entanto, Rovera [12] é mais cauteloso acerca dos híbridos por causa de seu alto custo, peso e desafios de tecnologia de armazenamento de energia. Outros concordam que as soluções híbridas são válidas apenas para nichos de mercado muito pequenos, enquanto que os motores de combustão interna de hidrogênio ofereceriam um futuro mais promissor [12], [16].

Em relação a células de combustíveis, especialistas da indústria especulam [5] que seu sucesso na indústria automotiva ocorrerá num prazo de 5 a 10 ou 30 anos. Numa destas avaliações, sistemas de potência auxiliares

poderão ser introduzidos em 2005 [9], contudo em 2010, apenas 1% dos veículos produzidos possuirão tração a partir de célula de combustível e em 2020, veículos de produção acionados por células de combustível representarão 10-15% do volume total produzido [16]. Outros são mais cautelosos, acreditando que não haverá entrada significativa de células de combustível para propulsão no mercado antes de 2020, e que a produção de larga escala de veículos de células de combustível ocorrerá, daqui a duas décadas, embora frotas controladas possam ser disponibilizadas mais cedo, como já vem acontecendo com certos fabricantes, disponível para ser adquirido por meio de “leasing” por clientes restritos no Japão e EUA [15].

Os motores convencionais, têm recebido novo impulso decorrente das tecnologias adotadas nos últimos anos e certos fabricantes europeus indicam que os MCI serão os principais meios de propulsão nos programas projetados para 2020. Possivelmente, os MCI e todas suas variantes continuarão a ser a forma dominante de propulsão de veículos de passageiros pelo menos pelas próximas três décadas [17].

Não há dúvida que os MCI ainda são capazes de melhorias em termos de emissões, consumo de combustível e potência específica, e a longo prazo, poderiam usar as mesmas fontes de energia alternativa como as de células de combustível, enquanto são opções de baixo risco em termos de custo de manufatura e infra-estrutura de serviço [12]. Para todos, em última análise, os avanços tendem a criar um motor multi-combustível em longo prazo. Este motor multi-combustível poderia utilizar desde óleo diesel a etanol, incluindo combustíveis de baixas emissões como GNV, combustíveis sintéticos ou hidrogênio [8].

Concluindo, a última palavra em tecnologia de propulsão para o futuro próximo (de 20 a 50 anos), tendo em vista esta situação transitória, recai sobre a solução que garante o menor consumo de combustível, da maneira mais eficiente e menores emissões, com aplicação em sistemas existentes, que utilize a cadeia de distribuição de combustíveis atual e eventual, com possibilidade de adaptação a novas tecnologias que forem criadas. Para este cenário, a tecnologia híbrida é a única que atende a todos os requisitos, permitindo sua adoção imediata, com grande flexibilidade para atender todos os segmentos de mercado e todas as plataformas existentes. Deste modo, optou-se por direcionar este trabalho para o detalhamento de sistemas híbridos, suas interfaces e o controle geral do sistema, que em última análise é o objetivo deste trabalho.

4. TIPOS DE HIBRIDIZAÇÃO

4.1 Classificação Tradicional

No advento dos veículos híbridos, os projetistas os classificaram pela configuração de seus componentes de propulsão, já que era de grande importância determinar se o MCI era diretamente conectado às rodas do veículo. Esta classificação, geralmente aceita, define se o veículo híbrido é de configuração em série ou em paralelo [33], [35].

Na configuração em série, não há conexão direta do motor com as rodas. O MCI aciona um gerador que por sua vez alimenta uma bateria, de onde é extraída a energia para acionar um ou mais motores elétricos (ME) que movimentam o veículo [33]. Na configuração em paralelo, há conexão direta do MCI às rodas do veículo, permitindo a transferência de energia mecânica mais direta e eficiente do MCI e das ME para as rodas do veículo [33]. Entre as variações existentes para a configuração em paralelo, o MCI aciona o eixo da roda e um gerador, que alimenta uma bateria de onde é extraída a energia para acionar uma ou mais ME. Em alguns casos, as ME funcionam como geradores [33].

4.2 Classificação por Missão

O debate da divergência da técnica de cada uma das configurações da classificação tradicional obscureceu o fato de que a conexão mecânica não ser a metodologia de classificação mais lógica. Então, foi criado outro método para diferenciar os sistemas de propulsão híbridos baseado no tipo de missão para a qual o sistema foi projetado. A classificação, baseada em “missão”, divide os veículos híbridos em três classes: híbridos moderados (“*mild hybrids*”); híbridos de potência (“*power hybrids*”) e híbridos de energia (“*energy hybrids*”) [34].

A classe de veículos híbridos moderados ou leves apresenta o menor custo adicional ao sistema de propulsão, com efeitos moderados na economia de combustível. A ME é do tipo de motor de partida/gerador integrado (ISG), podendo ser acionado por correia ou montado no eixo de manivelas do MCI. As baterias possuem tensão inferior a 60V e nível de potência elétrico da ordem de 5kW [34].

A classe dos veículos híbridos de potência ou médios apresenta custos de sistemas de propulsão mais substanciais, com propulsão elétrica mais significativa. A potência manipulada de e para a bateria é de cerca de 20 a 40kW, embora o sistema de bateria seja projetado para pequena capacidade de armazenamento de energia. São capazes de recapturar mais agressivamente a energia cinética do veículo já que os motores elétricos, inversores e baterias são dimensionados para maiores níveis de potência [34], [37].

A classe dos veículos híbridos de energia emprega sistema de baterias de com maior nível de potência e de alta energia, capazes de movimentar o veículo por aproximadamente 110km, com níveis de potência de até 70kW [34].

5. SISTEMAS E FUNCIONALIDADES

5.1 Motores Elétricos

Dentro da ampla categoria de máquinas de ímãs permanentes (PM), diversas configurações de circuito magnético podem ser identificadas e estas incluem topologia de máquinas de ímãs permanentes de campo axial (AFPM) com terminações sem ranhuras, que ultimamente tem recebido substancial interesse em várias aplicações. A adoção destes arranjos particulares em máquinas PM para geradores, acionados por MCI, a serem usados em veículos híbridos, demonstra o reconhecimento de características únicas, tais como densidade de torque por volume muito maior e maior eficiência quando comparado com topologias de máquinas convencionais [31].

5.2 Inversores e Controle de Potência

Novos estudos demonstraram a viabilidade do uso de sistemas de corrente alternada (CA) de fase simples e alta frequência, como sua superioridade ante os sistemas CC [25]. O sistema de alta frequência CA possui uma vantagem singular de chaveamento suave dos dispositivos em tensão nula. Deste modo, há eliminação da perda no chaveamento, maior confiabilidade, menor interferência eletro-magnética, ausência de ruído acústico e menor estresse de variação de tensão no isolamento do motor elétrico. A tensão de distribuição, que é independente da tensão da bateria, pode ser isolada e regulada para valores mais altos, permitindo a otimização dos projetos de baterias, conversores e máquinas elétricas. Embora o sistema prescindia de um inversor ressonante adicional e transformador de alta frequência, os custos dos sistemas de suprimento de potência auxiliar para o veículo podem ser reduzidos. Finalmente, os cálculos gerais de dimensionamento dos componentes dos sistemas CC e CA indicam alguma vantagem de custo e eficiência dos sistemas CA.

5.3 Armazenamento de Energia

Os veículos híbridos mais recentes, protótipos ou em produção, utilizam pacotes de baterias com tecnologia de Hidreto Metálico de Níquel (NiMH), Íons de Lítio [37], ou sistemas com ultracapacitores. As baterias de Íons de Lítio e NiMH possuem maior potência específica que as de tecnologia de Chumbo-Ácidas (PbA), significando que elas resultarão em pacotes de baterias muito mais leves e compactos para iguais especificações. A alta potência específica também significa que as baterias de Íons de Lítio e NiMH são mais aptas a aceitar os altos níveis de pico de potência associados com a frenagem regenerativa, que é, freqüentemente, um fator de aumento do tamanho e o peso das baterias PbA [26]. Em estudos realizados recentemente, demonstrou-se que para veículos médios ou pequenos, os sistemas de Li-Íon são mais adequados para veículos de hibridização moderada, enquanto que os sistemas NiMH apresentam desempenho geral melhor em veículos de hibridização média-alta [29]. Em relação aos ultracapacitores, estes ainda não foram exaustivamente testados em condições reais, comprovando durabilidade e confiabilidade, o que inviabiliza seu uso imediato [2].

Motor de Combustão Interna

A definição do MCI requer estudo cuidadoso das características de operação em conjunto com as ME a serem utilizadas. As características de torque e potência desejadas no veículo são resultado direto do tipo e do nível de hibridização a ser adotado. Assim, um híbrido leve, que utiliza um gerador/motor-de-partida integrado, terá um motor mais próximo do convencional, do que um veículo híbrido de energia com configuração paralela, no qual o MCI será selecionado de acordo com a ME de propulsão e das baterias.

Devido, ainda, à massa extra dos sistemas híbridos, a estratégia de motorização deve garantir alta eficiência no consumo de combustível, aliado à alta potência de saída. A alternativa mais aceita é o MCI turbocomprimido com injeção direta de gasolina, que elimina o problema de emissões de Óxidos de Nitrogênio e material particulado dos motores Diesel [37].

Estudo de Caso

Projeto do Sistema de Propulsão

O desempenho do VEH depende, da taxa de hibridização, definida pela razão porcentual entre a potência elétrica e a potência de propulsão total. A hibridização do sistema de propulsão, em geral, aumenta o peso total do veículo e, assim, o tempo de aceleração. A comparação entre conceitos de controle de híbridos paralelos, indica que maiores taxas de hibridização levam a um menor consumo de combustível e à redução de emissões. O controle mais adequado é do tipo “eletronicamente assistido” cuja estratégia é usar o MCI como a principal fonte de potência nos pontos de maior eficiência e o motor elétrico apenas nos casos em que o MCI funciona ineficientemente ou quando potência extra seja necessária [35].

5.4 Aspectos Econômicos e Ambientais

Segundo pesquisa do IBOPE em 2000, 99% da população brasileira de Classe C e 94% da população de Classe D possuíam pelo menos um televisor em suas residências, contudo, há falta de veículo próprio pela maior parte da população destas classes [46]. Além disso, no Brasil, a carga tributária federal para veículos apresenta uma política de alteração, redução e revisão das alíquotas de imposto recentemente que não permite qualquer planejamento. Além disso, não há no país qualquer incentivo para redução de consumo de combustível, o que tornaria os híbridos mais vantajosos.

No aspecto ambiental, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) criou o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), considerado como um dos mais bem elaborados para o controle de emissão em fontes móveis. A CETESB, órgão técnico responsável pela implantação e operacionalização PROCONVE, adaptou as metodologias internacionais às necessidades brasileiras e desenvolveu os fundamentos técnicos para combater a poluição gerada pelos veículos automotores, que serviu de base para que o CONAMA criasse o Programa. O cronograma de implantação, com limites progressivamente mais restritivos em suas diversas fases, está previsto para ser implementado até 2011 [44].

6. MODELO PROPOSTO

Observando-se o mercado global de veículos de passeio, os veículos médios apresentam o maior volume de comercialização. Dentro desta categoria, os modelos sedãs apresentam a melhor possibilidade de hibridização, já que o volume ocupado pelos sistemas adicionais como pacote de baterias, poderia ocupar parte do compartimento do porta-malas sem afetar em demasia a capacidade de carga útil. Optou-se pelo uso das características Chevrolet Vectra, pelo longo tempo no mercado e os dados técnicos serem mais facilmente acessíveis.

O problema de definição da configuração a ser utilizada exige uma análise apurada das possibilidades existentes, restringindo-se ao uso das soluções mais comumente adotadas, o que limita favoravelmente tanto o esforço de análise, quanto o número de combinações possíveis. A Tabela 1 mostra as principais configurações, seus efeitos e funções disponíveis.

	Efeito na Redução do Consumo de Combustível				Efeito no Desempenho do Veículo			
	Ligar/Desligar o Motor em Marcha Lenta	Frenagem Regenerativa	Controle de Operação com Alta Eficiência	Propulsão Puramente Elétrica	Redução de Vibração do Motor	Aceleração e Auxílio na Arrançada	Alta Potência de Saída Ininterrupta	Potência Adicional
Híbrido de Configuração em Série	<u>Superior</u>	<u>Excelente</u>	Superior	<u>Excelente</u>	-	<i>Pouco Favorável</i>	<i>Pouco Favorável</i>	-
Híbrido Moderado (acionamento por correia)	<u>Superior</u>	Reduzido	<i>Pouco Favorável</i>	-	-	<u>Superior</u>	<i>Pouco Favorável</i>	-
Híbrido Moderado (motor de partida/gerador integrado)	<u>Superior</u>	<u>Superior</u>	<i>Pouco Favorável</i>	-	<u>Excelente</u>	<u>Superior</u>	<i>Pouco Favorável</i>	Reduzido
Híbrido de Potência (Série/Paralelo)	<u>Excelente</u>	<u>Excelente</u>	<u>Excelente</u>	<u>Excelente</u>	-	<u>Superior</u>	<u>Superior</u>	<u>Superior</u>

Tabela 1 – Comparação de Funcionalidades e Efeitos dos Sistemas Híbridos [41].

Através da análise do quadro, observa-se que a configuração híbrido de potência é superior ou excelente na maioria dos quesitos apresentados. Apenas no quesito de redução da vibração do motor ela se mostra sem efeito. A configuração série/paralela, é a mais utilizada em veículos híbridos de potência atualmente comercializados ou em fase de comercialização [43]. Graças à capacidade do MCI em mover o veículo e alimentar as baterias, através do moto-gerador, ou acionar a ME, esta configuração apresenta boa eficiência em condições de cruzeiro em altas velocidades, ou em situações transitórias em baixas velocidades. Deste modo, utilizaremos o modelo do Toyota Prius.

6.1 Sistemas de Controle

O modelo de controle a ser utilizado, será aquele utilizado no Toyota Prius, o qual usamos como modelo, e que por sua vez, usa uma abordagem de controle distribuída. Nesta abordagem, cada componente tem seu próprio controle individual, gerenciado por um controle híbrido central e com o qual se comunica através da rede de comunicação interna do veículo. O sistema de controle híbrido do veículo proposto irá determinar, coordenar e controlar [36]:

- o torque de tração para todos os motores elétricos e de combustão, tanto nas marchas à frente, quanto na marcha à ré;
- o torque de frenagem distribuído entre frenagem regenerativa no ME de tração e frenagem hidráulica no sistema de freio;
- partida e desligamento do MCI para redução de emissões e consumo de combustível;
- distribuição de torque de tração entre o motor de combustão e as máquinas elétricas, de acordo com a aceleração e velocidade requeridas pelo motorista.

7. SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Para avaliarmos os resultados do modelo proposto, utilizaremos o software ADVISOR 2002, que permite a simulação de diferentes configurações e arquiteturas de veículos convencionais, híbridos ou elétricos [40]. O sistema – fundamentalmente baseado em uma abordagem empírica – usa o desempenho dos componentes do trem de potência para estimar o consumo de combustível e emissões em um dado ciclo de tráfego, bem como a capacidade de aceleração do veículo em esforço máximo.

Estudo recente, analisando o ADVISOR, mostram que a precisão dos resultados difere apenas em 0,8% para o tempo de aceleração e 1,9% para uso de energia [28], quando comparados a resultados de testes de veículos reais. No entanto, outro estudo, utilizando a versão 3.1 do ADVISOR, especificamente para o Toyota Prius 1997, demonstra que algumas considerações do modelo empírico devem ser revistas, para aproximar melhor os resultados do modelo com aqueles obtidos em testes de um veículo real [38]. O estudo ainda indica que a versão citada do programa não atende condições de partida-a-frio no motor, provocando divergências de resultados em alguns ciclos de tráfego que exigem partida a frio. Através da análise dos resultados de simulações do Toyota Prius, conclui-se ainda, que o ADVISOR também não é preciso no aspecto de resultados de emissões atmosféricas [32], mas não invalidam o uso do sistema para avaliar as soluções construtivas do sistema, seus aspectos técnicos e teóricos e resultados de simulações.

7.1 Revisão do Modelo do Toyota Prius

As considerações dos estudos indicados acima foram efetuadas, tanto quanto possível, ao modelo existente na versão 2002 do programa, e o modelo final foi submetido à criteriosa análise para observar sua validade. Na análise realizada no ADVISOR 2002 após as alterações anteriores do modelo proposto e consultando diferentes fontes de informações técnicas sobre os diversos modelos Prius lançados até hoje [27], [30], [40], [41], [42], percebe-se que algumas melhorias e alterações realizadas no Prius 2004, podem ainda ser agregadas ao modelo matemático, melhorando o desempenho geral do modelo apresentado. Usa-se, para efeito de ilustração, os resultados numéricos obtidos com o ciclo de tráfego NEDC (*New European Driving Cycle*), demonstrando os ganhos percebidos nas alterações realizadas no modelo matemático.

A primeira alteração foi efetuada no parâmetro de velocidade máxima na qual o motor de combustão interna do Prius permanece desligado, redefinida para 45km/h [40]. Em conjunto, foi revisto o modelo de frenagem regenerativa com novo o valor do parâmetro alterado para 90% [42]. Os resultados encontram-se na Tabela II.

Alteração do Modelo	Consumo Estado Final de Carga da		Emissões (g/km)			Reduções em relação à Revisão Inicial (%)				
	Combustível (km/l)	Bateria (SOC)	HC	CO	NO _x	Consumo	SOC	HC	CO	NO _x
Revisão Inicial	17,2	0,58	0,164	0,195	0,106	-	-	-	-	-
Velocidade/Frenagem	18,9	0,60	0,156	0,203	0,106	-9,4	3,4	-4,9	4,1	0,0
Potência	19,6	0,58	0,154	0,199	0,103	-13,7	0,0	-6,1	2,1	-2,8
Realimentação	24,4	0,56	0,137	0,167	0,079	-29,3	-3,4	-12,2	-17,7	-25,5

Tabela II – Evolução dos ganhos em consumo e emissões das alterações realizadas.

Continuando a análise do modelo, um outro parâmetro a ser verificado é aquele que delimita a potência mínima, acima da qual o motor deve aplicar torque máximo. Este parâmetro está ajustado para cerca de 15kW, forçando o motor a trabalhar a plena carga, mesmo quando isto não é necessário. Como alternativa proposta, o modelo implementado faz com que o MCI trabalhe em carga plena, toda vez que variação da rotação do motor

ultrapassar um valor mínimo. Investigando-se o módulo de simulação do motor, percebe-se que há uma realimentação do sistema para a predição de carga no motor. Esta realimentação utiliza a média da velocidade entre o instante anterior e o atual para prever qual é a carga do motor no próximo instante de tempo, adicionando uma carga extra de inércia e, deste modo, permitindo que o motor disponha de um torque adicional para melhorar o desempenho.

Foi constatado que este método adiciona uma carga que realmente não existe e que, portanto, há excesso de torque disponível na saída do motor. O resultado é uma oscilação das saídas do sistema. Ao remover-se a realimentação adicional do sistema, ocorre redução de carga significativa e o sistema apresenta, reduções de consumo de combustível e emissões.

Como resultado final das melhorias propostas, obtém-se redução total de cerca de 29% no consumo original de combustível para o ciclo analisado. O potencial de redução de emissões é de cerca de 12% para hidrocarbonetos, 18% para monóxido de carbono e 26% para óxidos de nitrogênio. O estado de carga final da bateria tem redução de cerca de 3%.

7.2 Aplicação no Vectra

Neste estudo, o desempenho da aceleração definido para o veículo projetado deve ser igual ou superior àquele do veículo padrão que se pretende hibridizar. Para o Vectra 2.0, a aceleração de 0 a 100km/h ocorre em 11s, sua velocidade máxima é de 193km/h no plano e sua economia de combustível urbano de 10,2km/l e na estrada de 14,5km/l, com resultado médio de 12,1km/l. A capacidade de carga útil no modelo é de 530kg, totalizando 1.800kg de massa total do veículo. Devido à ausência de modelo específico no Advisor 2002 para o Vectra proposto com os sistemas híbridos, foi utilizado o modelo matemático do Toyota Prius, incluídas as melhorias propostas. Na medida do possível, foram alterados parâmetros para aproximar o modelo proposto com aquele disponível. As principais características alteradas foram massa total e sua distribuição, aspectos aerodinâmicos, relação final do diferencial e diâmetro dos pneus. Para análise do modelo foi utilizado o Procedimento de Teste Federal (FTP) dos EUA e adotado no Brasil pelo CONAMA como procedimento padrão do PROCONVE [44].

Através de análises do modelo, observou-se que a relação de diferencial 1:5 fica próximo da ótima na aplicação do modelo proposto. Portanto foi utilizada na continuidade do estudo de caso.

Modelo Vectra Simulado	Potência (kW)	Carga Útil (kg)	Volume do Motor (cm³)	Relação Diferencial	Consumo de Combustível (km/l)	Velocidade Máxima (km/h)	Aceleração (s)		Capacidade de Rampa (%)
							0-100km/h	80-120 km/h	
Original 2.0	81	530	1998	4,17	12,1	193,0	11,0	14,6	N/A
Motor Prius 1.5	41	470	1500	5	22,2	137,7	16,1	12,1	11,9
Motor 1.9	63	400	1900	5	17,5	137,2	14,0	9,4	15,7
Motor 1.5 (ME 49kW)	41	470	1500	5	21,7	176,7	15,8	11,8	12,3
Motor 1.9 (ME 49kW)	63	400	1900	5	17,2	195,1	13,3	9,1	16,2

Tabela III – Resultados de simulações de diferentes motores no modelo do Vectra.

MCI disponíveis foram simulados e os resultados avaliados usando o mesmo modelo proposto, como apresentado na Tabela III. Uma análise geral da tabela, demonstra que a arquitetura com e-CVT proposta apresenta problemas de aceleração (até 46% inferior) e capacidade de rampa (até 63% inferior), explicados pelo fato de a relação final de marcha em baixa velocidade ser menor que o da transmissão manual do Vectra original. Em oposição, o consumo dos sistemas híbridos é, pelo menos, 24% menor e a retomada de 80 a 120km/h é, no mínimo, 16% superior ao modelo original. Os MCI indicados com “ME 49kW”, significam que a ME da configuração original foi substituído por um ME de maior potência. A mesma ME foi aplicada à configuração do Vectra com MCI 1.9 de 63kW de potência. Os resultados finais foram muito superiores aos obtidos originalmente e posiciona esta solução como a mais adequada para o modelo proposto. Em relação ao Vectra original, as desvantagens deste híbrido são 25% na redução da capacidade de carga, 21% no tempo maior de aceleração de 0 a 100km/h. As vantagens incluem velocidade final 1% maior, reduções de 38% no tempo de retomada de 80 a 120km/h e de 42% no consumo de combustível. Isso tudo associado a um MCI 22% menos potente que o original. Isto valida a proposta inicial de hibridização do modelo, afetado apenas pela ausência de dados mais precisos de motores apropriados ao modelo híbrido. Um motor mais leve, aumentaria a carga útil e reduziria o tempo de aceleração do modelo.

8. CONCLUSÃO

A grande variedade de soluções em desenvolvimento e aplicações nos veículos automotores tem criado muitas frentes de pesquisa e diversificado as possibilidades de novos sistemas no futuro, adicionando mais incertezas no caminho das tecnologias até a implementação da solução final ótima – os veículos de células de combustível abastecidos com hidrogênio. Como solução intermediária, os veículos híbridos são os mais beneficiados pelas melhorias obtidas no desenvolvimento das demais tecnologias por poder utilizar desde combustíveis alternativos até sistemas de armazenamento de energia. O estudo dos veículos híbridos e os sistemas a eles associados, demonstram que seu nível de maturidade é suficiente para a adoção imediata em qualquer tipo de veículo e quaisquer novos desenvolvimentos agregados aos sistemas existentes, aumentariam ainda mais seu desempenho, reduzindo seus custos.

As simulações executadas confirmam a previsão dos benefícios de hibridização de modelos convencionais e validam a proposta apresentada, apesar das dificuldades de validação dos dados com testes reais. Os resultados obtidos com a proposta híbrida foram superiores aos do modelo convencional. Em relação ao Vectra original, o modelo híbrido apresenta um motor de combustão interna 22% menos potente e que traz como desvantagens 25% de redução na capacidade de carga e 21% no aumento de tempo de aceleração de 0 a 100km/h. Suas vantagens compreendem velocidade final 1% maior, tempo na retomada de 80 a 120km/h 38% menor e consumo de combustível 42% menor. Ainda de acordo com as propostas analisadas, outras melhorias poderiam ser implementadas, visando principalmente à substituição dos componentes do sistema de propulsão por outros mais potentes ou de maior capacidade, tais como o MCI, além das próprias características dinâmicas do veículo.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BUCHHOLZ, K. Tech briefs: Bosch accents Diesel technology. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.109, n.11, p.38-40, Nov. 2001. SAE International.
- [2] YAMAGUCHI, J. Global vehicles: concepts from Tokyo – 2001 Tokyo motor show. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.109, n.12, p.8-24, Dec. 2001. SAE International.
- [3] JOST, K. Spark-ignition engine trends. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.110, n.1, p.26-39, Jan. 2002. SAE International.
- [4] JOST, K. Fuel cell autonomy. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.110, n.2, p.35-37, Feb. 2002. SAE International.
- [5] BROGE, J. L. Revving up for Diesel. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.110, n.2, p.40-49, Feb. 2002. SAE International.
- [6] CARNEY, D. Tokyo motor show supplier technology: NSK Powertoros unit CVT. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.110, n.2, p.67, Feb. 2002. SAE International.
- [7] PONTICEL, P. High time for hybrids. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.110, n.2, p.77-80, Feb. 2002. SAE International.
- [8] BIRCH, S. VW thinks ahead. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.110, n.2, p.146-149, Feb. 2002. SAE International.
- [9] DANA CORPORATION. Innovation by design. *In*: **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.110, n.2, p.5, Feb. 2002. SAE International.

- [10] CARNEY, D. Developments in fuel cell. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.110, n.3, p.47-52, Mar. 2002. SAE International.
- [11] GEHM, R. Global viewpoints North America: powering the future. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.110, n.5, p.40-49, May 2002. SAE International.
- [12] _____. Global viewpoints Europe: engines for growth. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.110, n.6, p.25-30, June 2002. SAE International.
- [13] _____. Global viewpoints Japan: engines and electric motors. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.110, n.8, p.35-43, Aug. 2002. SAE International.
- [14] BIRCH, S. Tech briefs: electrically boosting turbochargers. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.110, n.8, p.47-48, Aug. 2002. SAE International.
- [15] JOST, K. Fuel-cell commercialization. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.110, n.9, p.26-33, Sept. 2002. SAE International.
- [16] CHINWORTH, M. Hydrogen and the automobile. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.110, n.9, p.89-96, Sept. 2002. SAE International.
- [17] JOST, K. Engine strategies and engineering. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.111, n.1, p.19-38, Jan. 2003. SAE International.
- [18] WEISSLER, P. Tech briefs: a traditional CVT from Nissan. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.111, n.3, p.53, Mar. 2003. SAE International.
- [19] BIRCH, S. Tech briefs: AAD: shifting for itself. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.111, n.4, p.36-40, Apr. 2003. SAE International.
- [20] CARNEY, D. Forced induction. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.111, n.4, p.62-66, Apr. 2003. SAE International.
- [21] JOST, K. A different automatic. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.111, n.7, p.32-36, July 2003. SAE International.
- [22] BIRCH, S. Tech briefs: Mercedes automatically goes from 5 to 7. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.111, n.7, p.38-40, July 2003. SAE International.
- [23] BIRCH, S. Performance & aftermarket: battery technology races ahead. **Automotive Engineering International**, Brimfield, v.112, n.3, p.105, Mar. 2004. SAE International.
- [24] BURKE, A. F. **Prospect for ultracapacitors in electric and hybrid vehicles**. [S.I.]: IEEE, 1996. 6p. IEEE 0-7803-2994-5/96.
- [25] BOSE, B. K.; KANKAM, M. D. **High frequency ac vs. dc distribution system for next generation hybrid electric vehicle**. [S.I.]: IEEE, 1996. 7p. IEEE 0-7803-2775-6/96.
- [26] KOEHLER, U. et al. **High performance nickel-metal hydride and lithium-ion batteries**. [S.I.]: [s.n.], 1996. 6p. 97238.
- [27] SASAKI, S. **Toyota's newly developed hybrid powertrain**. From Proceedings of 1998 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON POWER SEMICONDUCTOR DEVICES & ICS, Kyoto. [S.I.]: IEEE, 1998. 6p.
- [28] WIPKE, K. B.; CUDDY, M. R.; BURCH, S. D. **Advisor 2.1: a user-friendly advanced powertrain simulation using a combined backward/forward approach**. In: IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, Vol. 48, No. 6, November 1999. [S.I.]: IEEE, Nov. 1998. 11p. IEEE 0018-9545/99.
- [29] BALCH, R. C.; BURKE, A.; FRANK, A. A. **The affect of battery pack technology and size choices on hybrid electric vehicle performance and fuel economy**. [S.I.]: IEEE, 2001. 7p. IEEE 0-7803-6545-3/01.
- [30] CHANG, C. C. **The state of the art of electric and hybrid vehicles**. In: Proceedings of the IEEE, Vol. 90, No. 2, FEBRUARY 2002. [S.I.]: IEEE, Feb. 2002. 29p. IEEE 0018-9219/02.
- [31] CRESCIMBINI, F.; et al. **Compact permanent-magnet generator for hybrid vehicle applications**. [S.I.]: IEEE, 2003. 8p. IEEE 0-7803-7883-0/03.
- [32] DEPARTAMENT OF ENERGY – UNITED STATES OF AMERICA. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. **Technology Snapshot: featuring the Toyota Prius**. [S.I.]: Argonne National Laboratory, Jan. 2001. 8p.
- [33] NEDUNGADI, A.; WALLS, M.; DARDALIS, D. **A parallel hybrid drivetrain**. In: FUTURE TRANSPORTATION TECHNOLOGY CONFERENCE AND EXPOSITION, Costa Mesa, California, Aug. 17-19, 1999. Warrendale: SAE, 1999. 8p. SAE Technical Paper Series 1999-01-2928.

- [34] RONNING, J. J.; GRANT, G. L. **Global hybrid electric vehicle markets and missions**. In: FUTURE TRANSPORTATION TECHNOLOGY CONFERENCE AND EXPOSITION, Costa Mesa, California, Aug. 17-19, 1999. Warrendale: SAE, 1999. 15p. SAE Technical Paper Series 1999-01-2946.
- [35] RAHMAN, Z.; BUTLER, K. L.; EHSANI, M. **A comparison study between two parallel hybrid control concepts**. In: SAE 2000 WORLD CONGRESS, Detroit, Mar. 6-9, 2000. Warrendale: SAE, 2000. 11p. SAE Technical Paper Series 2000-01-0994.
- [36] KOSOWSKI, M. G.; DESAI, P. H. **A parallel hybrid traction system for GM's "Precept" PNGV vehicle**. SAE, 2000. 7p. SAE Technical Paper Series 2000-01-1534.
- [37] WALTERS, J.; HUSTED, H.; RAJASHEKARA, K. **Comparative study of hybrid powertrain strategies**. In: FUTURE TRANSPORTATION TECHNOLOGY CONFERENCE, Costa Mesa, Aug. 20-22, 2001. Warrendale: SAE, 2001. 12p. SAE Technical Paper Series 2001-01-2501.
- [38] WEIHUA, W. **Revisions on the model of Toyota Prius in advisor 3.1**. In: SAE 2002 WORLD CONGRESS, Detroit, Mar. 4-7, 2002. Warrendale: SAE, 2002. 14p. SAE Technical Paper Series 2002-01-0993.
- [39] ROUTEX, J. Y.; GAY-DESHARNAIS, S.; EHSANI, M. **Study of hybrid electric vehicle drive train dynamics using gyrator-based equivalent circuit modeling**. In: SAE 2002 WORLD CONGRESS, Detroit, Mar. 4-7, 2002. Warrendale: SAE, 2002. 12p. SAE Technical Paper Series 2002-01-1083.
- [40] **ADVISOR (ADvanced VehIcle SimulatOR) 2002**. [S.I.]: Midwest Research Institute, Apr. 30, 2002. Software developed at National Renewable Energy Laboratory (NREL) of Department of Energy (DOE) of the United States of America. Copyright 1998-2003.
- [41] TOYOTA MOTOR CORPORATION. Public Affairs Division. **Hybrid synergy drive: Toyota hybrid system – THS II**. Tokyo: [s.n.], May 2003. 24p. 4-8 Koraku 1-chome, Bunkyo-ku, 112-870.
- [42] _____. **A guide to hybrid synergy drive**. Japan: [s.n.], May 2003. 6p. PR-E-03BC11.
- [43] FORD MOTOR COMPANY. EUA. **Veículos e tecnologias desenvolvidos pela montadora**. Disponível em: <<http://www.ford.com>>. Acesso em 14 fev. 2004.
- [44] CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. Brasil. **Programa de controle de poluição do ar por veículos automotores – PROCONVE**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/emissoes/proconve.asp>>. Acesso em 23 mar. 2004.
- [45] U.S. DOE – United States Department of Energy. EUA. **Flex fuel vehicles**. Disponível em: <<http://www.fueleconomy.gov/feg/flextech.shtml>>. Acesso em 08 maio 2004.
- [46] FECAP – FUNDAÇÃO ESCOLA DE COMÉRCIO ÁLVARES PENTEADO. Brasil. **Administração on line: Impacto do Comércio Eletrônico nos Negócios**. ISSN 1517-7912. Volume 2, Número 2 (abril/maio/junho - 2001) Disponível em: <http://www.fecap.br/adm_online>. Acesso em 06 jun. 2004.