

USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola Politécnica
Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética

RICHARD MOREIRA DO LIVRAMENTO

**VEICULOS HÍBRIDOS E SISTEMAS DE REGENERAÇÃO DE ENERGIA
AUTOMOTIVA**

SÃO PAULO
2015

USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola Politécnica
Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética

RICHARD MOREIRA DO LIVRAMENTO

**VEICULOS HÍBRIDOS E SISTEMAS DE REGENERAÇÃO DE ENERGIA
AUTOMOTIVA**

Monografia apresentada como forma de avaliação final do Curso de Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética na Universidade de São Paulo (USP), sob orientação do prof. Dr. Marcos de Mattos Pimenta.

Orientador: Prof. Dr. Marco de Mattos Pimenta

SÃO PAULO
2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Livramento, Richard Moreira do

**VEICULOS HÍBRIDOS E SISTEMAS DE REGENERAÇÃO DE
ENERGIA AUTOMOTIVA**

R.M. Livramento – São Paulo, 2015.

Monografia (Especialização em Energia Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Programa de Educação Continuada em Engenharia

**I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa
Educação Continuada em Engenharia**

RICHARD MOREIRA DO LIVRAMENTO

**VEICULOS HÍBRIDOS E SISTEMAS DE REGENERAÇÃO DE ENERGIA
AUTOMOTIVA**

Aprovado em: _____

BANCA EXAMINADORA

_____/__/_____
Prof.

_____/__/_____
Prof.

_____/__/_____
Prof.

_____/__/_____
Prof.

_____/__/_____
Prof.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha filha Julia Tomé do Livramento, a minha esposa Juliana Helena Tomé, aos meus familiares e amigos do curso de especialização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha filha Julia Tomé do Livramento, um presente de Deus que me gera alegria e motivação para superar os obstáculos da vida.

Um especial agradecimento a minha esposa e companheira Juliana Helena Tomé que acompanhou e me apoiou nas dificuldades, desde a minha graduação e agora nessa fase de especialização.

Ao meu orientador Professor Dr. Marcos de Mattos Pimenta pela paciência, atenção e disponibilidade.

A toda a equipe do programa, em especial ao coordenador Professor José R. Simões Moreira.

“Toda religião, arte e ciência são ramos de uma mesma árvore. Todas estas aspirações são enobrecimentos voltados para a vida do homem, levantando-o da esfera da mera existência física e elevando-o para a liberdade”.

(Albert Einstein)

RESUMO

Atualmente existe uma grande preocupação dos impactos ambientais que o alto consumo de combustíveis fósseis geram ao globo terrestre, afetando diretamente na saúde e qualidade de vida das populações de países pobres e principalmente em processo desenvolvimento.

Projeções demonstram que o setor de transportes será o maior consumidor de energia fóssil no mundo, ultrapassando até mesmo o setor industrial.

O aquecimento global, gases tóxicos na atmosfera em escala crescentes, justifica-se a necessidade no desenvolvimento de novas tecnologias, conhecida como fontes de energias limpas para o setor de transporte nos centros urbanos.

O objetivo é compreender o funcionamento dos transportes híbridos dotados de fontes de energia alternativas limpas e ambientalmente amigáveis e propor como solução prática a utilização dessa tecnologia em larga escala em grandes centros urbanos do Brasil, principalmente para transporte de pessoas, demonstrando os seus benefícios à população.

Demonstraremos como conceito inovador, híbridos compostos por Energia Solar e Células de combustível, princípio de fontes de energia totalmente limpa e abundante no globo terrestre.

Palavras-chave: Sistemas híbridos

ABSTRACT

There is a currently concern of the environmental impacts, caused by high consumption of fossil fuels to globe, affecting directly the health and quality of life for populations of poor countries, in especially by developing process.

Projections show the transport sector is the largest consumer of fossil energy in the world, surpassing even the same industrial sector. Global warming, toxic gases by the atmosphere in increasing scale, justifies the develop new technologies, known as sources of clean energy to the public transport sector in a urban centers.

The objective is understand the hybrid transports, providing alternatives and environmentally friendly solutions in urban centers of Brazil, mainly to carry passengers, demonstrating the benefits to the population.

I will demonstrate how innovative concept, hybrid composed by Solar Energy and Fuel Cells, principle totally clean and plentiful energy sources on the globe.

Keywords: Hybrid Systems

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Preço do Petróleo no Mercado Spot e Alguns Fatos Históricos	15
Figura 2: Consumo de Petróleo por Setor (10^3 toe).....	16
Figura 3: Primeiro veículo movido a vapor.....	17
Figura 4: Primeiro veículo anfíbio.....	17
Figura 5: Veículo criado por Karl Benz	18
Figura 6: Lohner Porsche	19
Figura 7: Curvas de Potência do Motor Elétrico e Potência.....	21
Figura 8: Relação entre Frota e Renda per-Capita (1960-2002)	23
Figura 9 : Relação entre Frota e Renda per-Capita na Coreia do Sul, Brasil, China e Índia (1960 - 2002)	23
Figura 10: Estrutura do veículo híbrido.....	29
Figura 11: Sistema de transmissão do veículo híbrido	30
Figura 12: Estrutura do alternador.....	31
Figura 13: Sistema Híbrido Tipo Série.....	36
Figura 14: Sistema Híbrido Tipo Paralelo	37
Figura 15: Sistema Híbrido Tipo Série/Paralelo	37
Figura 16: Toyota Prius	38
Figura 17: Motor Atkinson	39
Figura 18: GM Volt	40
Figura 19: McLaren P1	41
Figura 20: Locomotiva Híbrida	49
Figura 21: Mitsubishi Fuso Híbrido	49
Figura 22: Hibribus.....	51
Figura 23: Ford C-Max Solar Energy Concept	53
Figura 24 : Empilhadeira Híbrida RX 70	53
Figura 25: Contrapeso empilhadeira híbrida	54
Figura 26: Empilhadeira Trilateral Hyster	54
Figura 27: Esquema Hidráulico da descida da Torre	55
Figura 28: Trator PS110	56
Figura 29: Sistema Kers	57
Figura 30: Sistema Kers - 1	59

Figura 31 : Plug In.....	60
Figura 32: Mapa de Penetração de Novas Tecnologias.....	63
Figura 33: Esquema de Célula de Combustível	69
Figura 34: Esquema de Ônibus Híbrido	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Os 10 Maiores Fabricantes de Carros e Veículos Comerciais (2011).....	24
Tabela 2: Previsão de Venda de Carros Elétricos 2020 - 2030	65
Tabela 3: Veículos Leves e Mercado de Energia	67
Tabela 4: Frota de Veículos Leves em Milhões	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Área
AFC	<i>Alkaline Fuel Cell</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CA	Corrente Alternada
CaC	Célula de Combustível
CC	Corrente Contínua
cm	Centímetro
CO ₂	Gás Carbônico
cv	Cavalo
DMFC	<i>Direct Methanol Fuel Cell</i>
E	Tensão de Circuito Aberto
E.U.A.	Estados Unidos da América
EVAC	Electric Vehicle Association Canada
F1	Fórmula 1
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GM	General Motors
H	Hora
H ₂ O	Água
IEA	International Agency Energy
iL	Corrente limite
KERS	<i>Kinetic Energy Recovery Systems</i>
Kg	Quilograma
Km	Quilômetro
Km/h	Quilômetro/hora
KW	Quilowatt
L	Litro
LR	Regulador de Carga
MCI	Motor de combustão interna
min	Minuto
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NiCd	Níquel Cadmio
°C	Celsius
PB-acid	Chumbo Ácido
PEMFC	<i>Proton Exchange Membrane Fuel Cell</i>
R\$	Real
Rm	Resistência total
RPM	Rotação por minuto
s	Segundo
SOFV	<i>Solid Oxid Fuel Cell</i>

ton	Tonelada
US\$	Dólar estadunidense
V	Volt (Tensão Elétrica)
Vativ	Tensão de Ativação
Vconc	Tensão de Concentração
VE	Veículo Elétrico
Vohm	Tensão Ohmica
VVVF	Variador de Voltagem e Variador de Frequência

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. História dos Veículos	17
1.2. Veículos elétricos	18
1.3. Veículos Híbridos	19
2. JUSTIFICATIVA.....	22
3. OBJETIVO.....	27
4. TECNOLOGIA HÍBRIDA	28
4.1. Tecnologia aplicada nos veículos híbridos.....	28
4.2. Transmissão.....	29
4.3. Alternador.....	30
4.4. Conjuntos Retificadores	32
4.5. Reguladores Eletrônico de Tensão	32
4.6. Reguladores Multifunção	32
4.7. Gerenciamento Eletrônico	32
4.8. Controle Eletrônico de Carga na Partida	33
4.9. Sensor de Carga da Bateria.....	33
4.10. Modo de Operação de Segurança	33
4.11. Controlador Eletrônico de Resposta	33
4.12. Controle Eletrônico da Temperatura.....	33
4.13. Baterias	34
4.14. Tensão de Célula das Baterias	34
4.15. Voltagem Nominal.....	34
4.16. Tanque de Combustível	35
5. CONCEITO HÍBRIDO	36
5.1. Híbrido Tipo Série	36

5.2.	Híbrido Tipo Paralelo	36
5.3.	Híbrido Tipo Misto ou Combinado	37
6.	DIFERENTES APLICAÇÕES DOS HÍBRIDOS	38
6.1.	Prius-Toyota	38
6.1.1.	Volt – General Motors	40
6.1.2.	McLaren Híbrido P1	39
6.2.	Híbridos (Diesel / Elétrico).....	41
6.3.	Operação do Acelerador	43
6.4.	Operação do Sistema de Propulsão	45
6.5.	Transição	47
6.6.	Frenagem Dinâmica.....	47
6.7.	Ônibus Híbrido Mitsubishi Aerostar (Diesel / Elétrico).....	49
6.8.	Primeiro Ônibus Híbrido Produzido no Brasil (Biodiesel / Elétrico).....	49
6.9.	Híbridos Movidos a Energia Solar e Plug In.....	51
6.10.	Empilhadeiras Híbridas.....	53
6.11.	Tratores Híbridos	55
7.	SISTEMAS DE REGENERAÇÃO E DESEMPENHO DOS HÍBRIDOS	57
8.	VANTAGENS DOS VEÍCULOS HÍBRIDOS	57
8.1.	Desvantagens dos Veículos Híbridos Movidos a Bateria.....	59
9.	PERSPECTIVA DE CRESCIMENTO DOS HÍBRIDOS ELÉTRICOS NO BRASIL.....	63
10.	PROJETO: UTILIZAÇÃO DE ÔNIBUS MOVIDO A CÉLULAS DE ENERGIA DE HIDROGÊNIO E ENERGIA SOLAR	66
10.1.	Célula de Combustível para os Híbridos	66
10.2.	Descrições do Projeto (Energia Solar x Célula de Combustível)	73
	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

1. INTRODUÇÃO

Segundo Baran (2012, p. 01) desde 1973 o consumo de petróleo no mundo tem apresentado uma trajetória predominante e crescente, e os grandes países consumidores têm sido cada vez mais dependentes de fontes externas. Os preços praticados no mercado internacional se caracterizam pela forte volatilidade, com momentos de alta provocados por acontecimentos históricos. A figura 1 a seguir demonstra a série histórica do preço em dólares de 2008 do barril de petróleo, e alguns acontecimentos marcantes que influenciaram na sua variação.



Figura 1: Preço do Petróleo no Mercado Spot e Alguns Fatos Históricos

Fonte: Renato Baran, 2012.

De acordo com a figura 01, observa-se a alta volatilidade do preço do petróleo e a influência que acontecimentos globais têm sobre seu preço no mercado internacional, o produto sofre influência de fatores geopolíticos, econômicos e conjunturais. (Baran, 2012 p. 01).

De acordo com a (IEA, 2011) o setor da economia que mais consome petróleo, em todo o mundo, é o de transportes, responsável em 2009 por 61,7% do consumo de petróleo e 23% das emissões de CO₂ no mundo. Este setor foi também o maior responsável pelo

crescimento do consumo de petróleo nas últimas décadas, conforme pode ser observado na Figura 2.

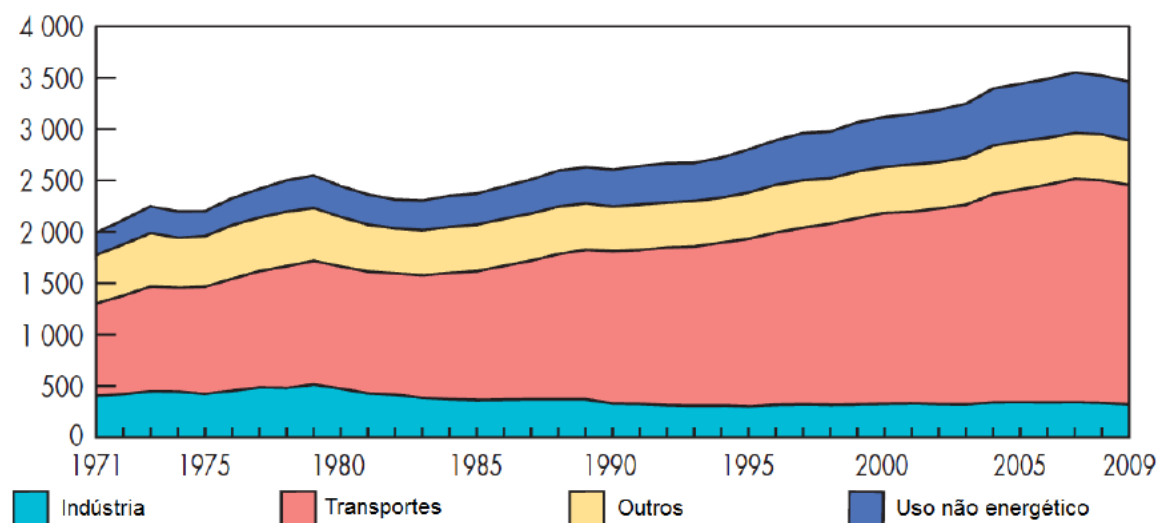


Figura 2: Consumo de Petróleo por Setor (10³ toe)

Fonte: IEA, 2011.

Nos países em desenvolvimento, a energia consumida no setor de transportes tem apresentado forte tendência de crescimento nos últimos anos, e a expectativa é de que esta tendência se repita caso não ocorram mudanças radicais no padrão de consumo de energia (WBSCD, 2004).

Segundo Renato Baran (2012, p. 03):

Os meios de transportes são essenciais para o desenvolvimento econômico, pois expandem as fronteiras de comércio e de trabalho, reduzem o isolamento de áreas rurais e permitem o aumento da qualidade de vida das pessoas que precisam se deslocar para trabalhar ou obter lazer. Nos países desenvolvidos, como E.U.A., Japão e alguns países da Europa, a dependência ao petróleo importado é uma fonte de insegurança e tem sido motivo dos altos gastos com defesa, voltados para garantir a logística de suprimento de petróleo.

Em busca de segurança energética, diversos países buscam soluções para a dependência ao petróleo importado, como: desenvolvimento de fontes domésticas, convencionais, biocombustíveis, energia nuclear e sistemas híbridos. (Baran, 2012).

Com o aumento do número de automóveis no Brasil, haverá certamente uma quantidade crescente da demanda de energia nos próximos anos, tornando o uso da eletricidade nos transportes coletivo e individual uma interessante alternativa para o ponto de vista estratégico (menor custo por distância percorrida) e ambiental (redução de poluentes na atmosfera). (Baran, 2012 p. 03)

1.1. História dos Veículos

O engenheiro francês Nicolas Joseph Cugnot, construiu em 1769 o primeiro veículo com o nome de fardier a vapeur (carroça a vapor), um trator de artilharia movido a vapor que pesava quatro toneladas e era capaz de se deslocar a uma velocidade de 3,6 km/h durante 12 a 15 minutos, antes de precisar ser reabastecido com água. Abaixo figura 3 – Primeiro veículo movido a vapor.



Figura 3: Primeiro veículo movido a vapor

Fonte: Sinal de trânsito, 2015.

Em 1789, o engenheiro e inventor norte americano Oliver Evans, patenteou o primeiro veículo anfíbio movido a vapor, mas somente em 1804 ele foi produzido.

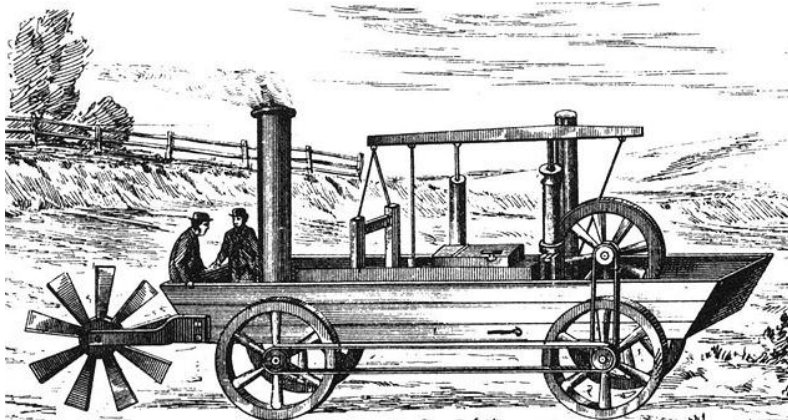


Figura 4: Primeiro veículo anfíbio

Fonte: Motor.ru, 2015.

Entre as décadas de 1860 e 1870 diversas experiências foram realizadas em toda a Europa.

Em 1874, o inventor austríaco Siegfried Markus, criou o motor a 4 tempos. Nos motores a vapor a queima do combustível ocorria fora dos cilindros, no conceito criado por Siegrified a queima ocorre no interior dos cilindros baseados em uma mistura de ar e gás. Este conceito de motor 4 tempos foi aperfeiçoado por Nikolaus Otto e é utilizado até os dias de hoje, como ciclo Otto.

Em 1858, o engenheiro belga Étienne Lenoir construiu um automóvel com o motor de combustão interna movido à gás de carvão. Sua experiência durou 3 horas para percorrer 10 milhas.

A invenção do veículo movido à combustão interna utilizando a gasolina como combustível ocorreu em paralelo por diversas pessoas. Em 1885, o engenheiro alemão Karl Benz, construiu o seu primeiro veículo movido à combustão interna utilizando a gasolina como combustível e em 1888 começou a produção em massa de sua patente. A seguir, Figura 5 – Veículo criado por Karl Benz.

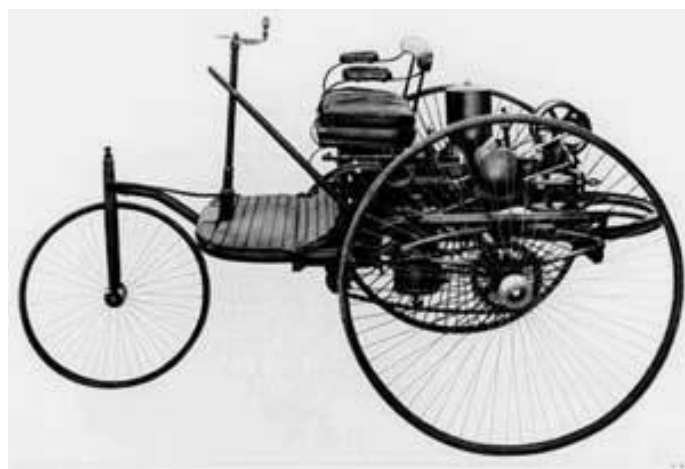


Figura 5: Veículo criado por Karl Benz
Fonte: Mercedes-Benz, 2015.

1.2. Veículos elétricos

De acordo com Hoyer (2008), a história dos carros elétricos está intimamente relacionada com a história das baterias. Segundo Renato Baran (2012, p. 07) em 1859, o belga Gaston Planté realizou a demonstração da primeira bateria utilizando chumbo e ácido. Este equipamento veio a ser utilizado por diversos veículos elétricos que foram desenvolvidos a partir do início da década de 1880 na França, E.U.A. e Reino Unido.

De acordo com Baran (2012, p. 07) em 1885, Karlz Benz apresentou o primeiro motor à combustão interna, mas foi na década de 1890 que a indústria automobilística começou a se desenvolver rapidamente (e inicialmente mais rápido na Europa do que nos E.U.A.). Naquela época, o mercado norte americano se dividia principalmente entre veículos elétricos e a vapor.

Em 1899, foram vendidos 1.575 automóveis elétricos, 1681 a vapor e 936 a gasolina. (Cowan e Hultén, 1996).

Ferdinand Porsche em 1899 idealizou e fabricou o primeiro carro com tecnologia dos motores elétrico com motor de ciclo Otto, o Lohner-Porsche, figura 06. Assim o primeiro carro híbrido foi um Porsche, porém a marca só surgiu em 1940.



Figura 6: Lohner Porsche
Fonte: Porsche, 2015.

O Lohner-Porsche possuía um motor elétrico para cada roda e um motor a combustão funcionando em rotação constante para recarregar as baterias. Esse carro atingia velocidade máxima de 56 Km/h e até chegou a ganhar uma de corrida na Áustria.

1.3. Veículos Híbridos

De acordo com Baran (2012, p. 23) o princípio de funcionamento dos automóveis híbridos é bem diferente dos automóveis convencionais. Os híbridos utilizam um motor elétrico movido pela energia armazenada em baterias, além do motor

de combustão interna. Há três tipos de sistemas nos automóveis híbridos comercializados atualmente:

- i. O sistema híbrido em série, em que um motor de combustão interna aciona um gerador que alimenta o motor elétrico;
- ii. O sistema híbrido em paralelo, em que o motor de combustão interna é auxiliado pelo motor elétrico nas situações que exijam mais potência;
- iii. É o sistema misto, em que dois motores elétricos atuam um em série e outro em paralelo ao MCI.

Nos três sistemas, as baterias são recarregadas também por um sistema de frenagem regenerativa, e o MCI é desligado quando o veículo fica parado no trânsito por muito tempo.

Hoje os veículos híbridos mais comuns são constituídos por um motor elétrico acoplado a um propulsor movido a motor de combustão. Este veículo colhe informações do carro através de um computador que calcula, entre outras coisas, o torque e a potência. Se exigir pouco torque o motor elétrico é acionado, mas se exigir um torque maior o motor a combustão é acionado. A ideia principal do carro híbrido é manter uma relação entre os dois motores para que tenha diminuição no consumo de combustível e consequentemente diminuição dos gases.

Os Veículos elétricos são de 30% a 40% mais eficientes do que os de combustão interna tanto do ponto de vista energético quanto ambiental (MacLean e Lave, 2003; MPCA, 2007; Sovacool e Hirsh, 2008; Fontaras et al., 2008) mas por outro são mais caros e de mecânica mais complexa do que seus equivalentes convencionais (MacLean e Lave, 2003; Sovacool e Hirsh, 2008).

De acordo com Renato Baran (2012, p. 24), sobre veículos híbridos:

A maior parte da eficiência energética dos híbridos vem da combinação entre o MCI e o motor elétrico. O motor de combustão convencional (ciclo Otto) a gasolina é relativamente ineficiente (de 5% a 10%) em baixa rotação, e relativamente mais eficiente (até 28%) em alta rotação, sendo a eficiência média em torno de 15%. A questão é que, no meio urbano, automóveis raramente trabalham em alta rotação.

O motor elétrico, por outro lado, produz torque máximo na partida, e sua curva de eficiência permanece quase constante até atingir alta rotação. A vantagem dos híbridos está em combinar os dois motores, utilizando o motor elétrico em baixa rotação e o MCI quando conveniente.

A figura 07 a seguir mostra as curvas de eficiência do motor elétrico versus o MCI a gasolina.

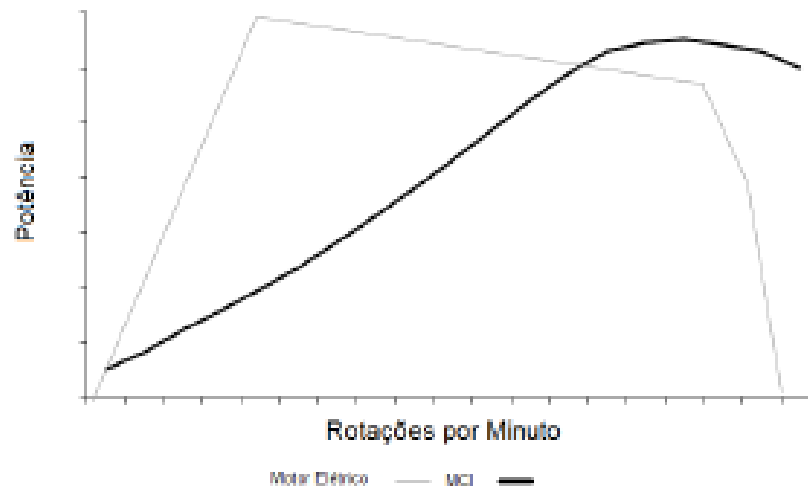


Figura 7: Curvas de Potência do Motor Elétrico e Potência

Fonte: Renato Baran, 2012.

Já os sistemas de regeneração de energia, são utilizados para converter energia cinética na geração de energia elétrica para alimentação de baterias. A gerada desaceleração do carro que seria desperdiçada e, em seguida, a pode ser reutilizada.

A tecnologia dos transportes híbridos certamente será umas das soluções para amenizar o impacto ambiental gerado pelo sistema atual de transporte público.

2. JUSTIFICATIVA

China e Índia são economias emergentes cujo forte crescimento econômico tem sido acompanhado pela demanda crescente por energia. Estes dois países consumiram em 2010 uma média de 12.376 mil bbl/dia de petróleo, o que corresponde a 14,5% do consumo mundial. Elas foram responsáveis por 75% do crescimento da demanda global de energia entre 2005 e 2010 e por 18% da importação de petróleo no mundo em 2010 (BP, 2011). China e Índia têm forte dependência de fontes externas de energia e são grandes consumidores de combustíveis fósseis, e estas estão entre as principais justificativas a favor da eletrificação do transporte individual nestes dois países.

Dargay *et al.* (2007) mostram que o padrão de crescimento da frota de automóveis que ocorreu entre 1960 e 2002 em países como E.U.A., Alemanha e Japão, também pode ser observado atualmente na China, Índia, Brasil e Coréia do Sul. A relação entre o tamanho da frota nacional e o nível de desenvolvimento, medido pelo PIB, tem a forma de uma curva em “S”, indicando que:

- i. A frota nacional cresce lentamente quando o país se encontra em níveis relativamente baixos de desenvolvimento;
- ii. O crescimento da frota se acelera na medida em que a renda nacional aumenta;
- iii. E que a frota atinge um nível de saturação quando o país chega a graus mais elevados de desenvolvimento.

A Figura 08 mostra a relação tamanho da frota versus desenvolvimento econômico nos E.U.A., Japão, Alemanha e Coréia do Sul.

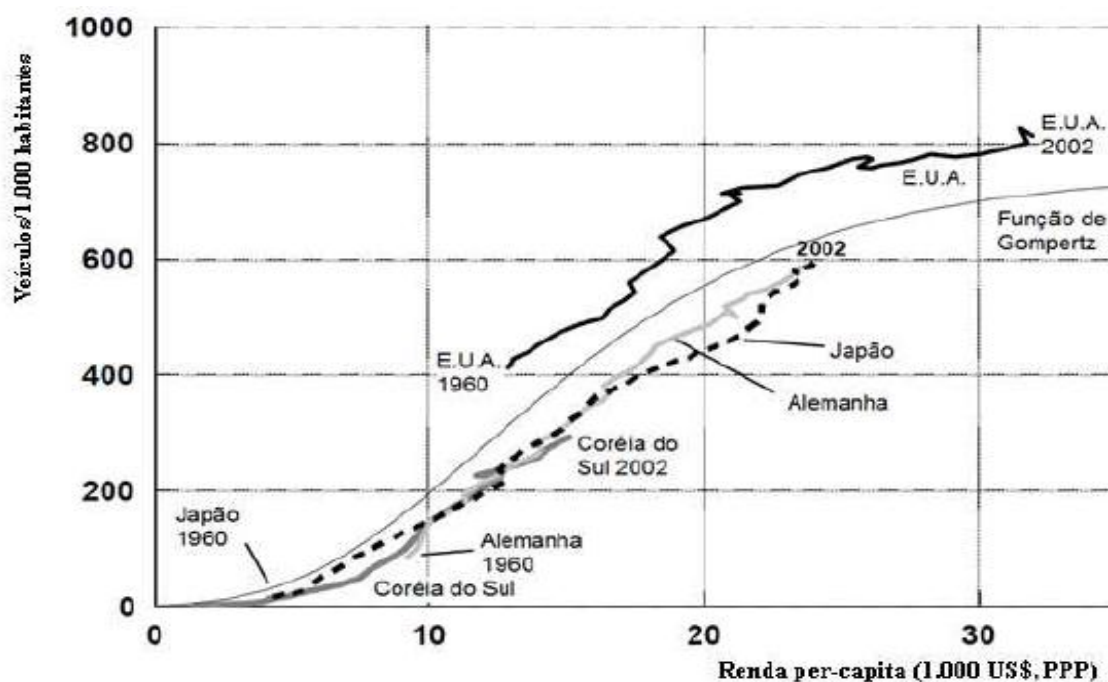


Figura 8: Relação entre Frota e Renda per-Capita (1960-2002)

Fonte: Dargay et al., 2007.

A figura 09 mostra a relação frota versus desenvolvimento econômico no Brasil, China, Índia e Coreia do Sul, num gráfico escala logarítmica.

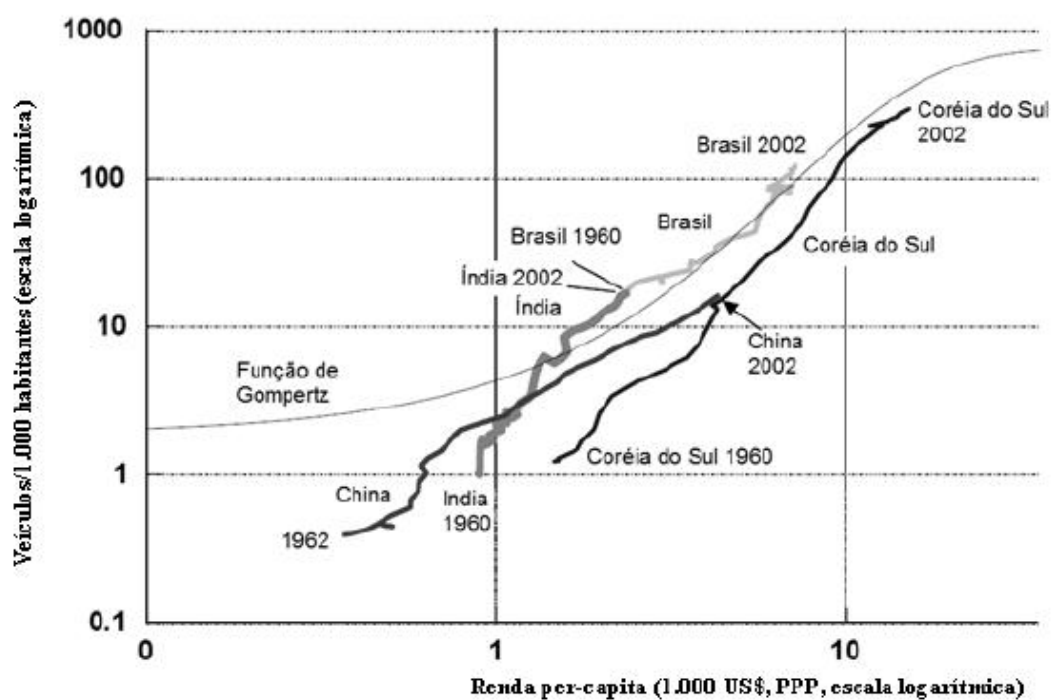


Figura 9 : Relação entre Frota e Renda per-Capita na Coreia do Sul, Brasil, China e Índia (1960 - 2002)

Fonte: Dargay et al., 2007.

Nota-se que os países representados na Figura 09 seguem a mesma trajetória dos países representados na Figura 08. China, Índia e Brasil se encontram atualmente numa zona de crescimento acelerado, e, de acordo com Dargay *et al.* (2007), atingirá o ponto de saturação quando a renda per-capita ultrapassar os US\$ 30.000. A tabela 01 a seguir mostra os 10 maiores fabricantes de automóveis do mundo.

Tabela 1: Os 10 Maiores Fabricantes de Carros e Veículos Comerciais (2011)

Posição	País	Carros Produzidos	Veículos Comerciais Leves Produzidos	Total
1	China	14.485.326	3.933.550	18.418.876
2	Japão	2.966.133	5.687.427	8.653.560
3	Alemanha	7.158.525	1.240.129	8.398.654
4	Coreia do Sul	5.871.918	4.394	6.311.318
5	Índia	4.221.617	435.477	4.657.094
6	E.U.A.	3.053.871	882.577	3.936.448
7	Brasil	2.534.534	871.616	3.406.150
8	França	1.657.080	1.022.957	2.680.037
9	Espanha	1.819.453	534.229	2.353.682
10	Rússia	1.931.030	363.859	2.294.889

Fonte: OICA, 2012

Projeções mostram que nos próximos 10 anos mais um bilhão de carros estarão rodando nas estradas de todo o mundo, com impactos incalculáveis ao meio ambiente com a emissão de gases tóxicos a atmosfera. (Fuhs).

A (AIE) indica, que em 2030 o setor de transportes será o maior consumidor de energia fosseis, ultrapassando inclusive o setor industrial. A procura mundial de energia crescerá mais de um terço, sendo estimado em 35% a 46% até 2035, esse crescimento é impulsionado pelos países emergentes, no qual a China, a Índia e o Oriente Médio representam 60% desse aumento.

Baseando-se no crescimento da população mundial, a industrialização emergente e a necessidade de desenvolvimento econômico nos países subdesenvolvidos, existe uma tendência no aumento de consumos dos recursos fosseis, extinguindo-os e causando maior impacto ambiental ao planeta.

Com esse cenário e elevado ao consumo de energia no mundo, acrescidos ao aumento nos preços do petróleo e do esgotamento dos combustíveis fósseis somados com as questões ambientais, são razões que justificam a utilização de veículos híbridos

no lugar dos atuais, pois o mesmo propõe uma boa e atraente solução para o transporte de pessoas em ambientes urbanos por serem ambientalmente mais amigáveis.

Um investimento adicional em tecnologias mais eficientes do ponto de vista energético compensaria na redução das despesas dos combustíveis atuais.

Outro fator relevante se dá ao impacto a saúde humana das tecnologias de transporte atual (combustão), o setor de transporte em grandes centros urbanos é o principal responsável pelas emissões de poluente, o número de internações por doenças respiratórias cresce cerca de 8% e a mortalidade geral aumenta entre 4% e 6%.

O mesmo estudo mostra que os mais afetados são os idosos e as crianças. Assim comprova-se que a poluição do ar não é apenas uma questão ambiental, mas também um problema de saúde pública.

Diversos países têm criado incentivos, por meio de leis, fomentando o desenvolvimento, a produção e consumo de veículos movidos a energia limpa. Esses fatos aliados às tecnologias já existentes têm popularizado os veículos movidos à energia renovável, propiciando a substituição gradativa da frota e proporcionando menores impactos ambientais e melhoria da saúde da população, especialmente nos grandes centros urbanos justificando a necessidade de incentivos e desenvolvimento de tecnologias que viabilizem os veículos elétricos.

No Brasil, alguns passos já estão sendo tomados para a popularização dos automóveis elétricos de produção nacional. Financiamentos foram anunciados pelo BNDES para o desenvolvimento de motores elétricos inovadores a serem fabricados pela WEG S/A, pretendendo abranger as modalidades de tração elétrica híbrida e de tração puramente elétrica. O alto potencial de crescimento do mercado de veículos elétricos de demanda nacional em nichos específicos justifica o financiamento.

Recentes propostas de leis do Estado de São Paulo pretende incentivar a disseminação de veículos elétricos e movidos a hidrogênio no Município, beneficiando diretamente os cidadãos com a diminuição da poluição e a consequente melhoria do meio ambiente, ocasionando significativa redução dos danos provocados à saúde pública e dos gastos públicos atualmente direcionados para esta área.

Estudos realizados e publicados pelo Instituto Nacional de Altos Estudos, INAE, revelam a viabilidade econômica, ambiental e técnica para a produção e comercialização de veículos elétricos e híbridos. Esses estudos sólidos demonstram os impactos positivos relativos à economia gerada pelo baixo consumo e elevado desempenho dos automóveis elétricos e híbridos. Foram propostos editais de pesquisa e

desenvolvimentos do CNPq em veicular, baterias e linhas de apoio para pesquisas em empresas nas áreas de desenvolvimento de acumuladores de energia (baterias, super-capacitores) e seus processos de reciclagem e desenvolvimento de partes, peças e equipamentos aplicados a veículos elétricos, híbridos e hidrogênio. Todas essas citações já referidas justificam o estudo e o desenvolvimento de trabalhos contemplando os veículos elétricos.

3. OBJETIVO

O objetivo é compreender o funcionamento e desempenho dos veículos híbridos dotados de fontes de energia alternativas limpas e ambientalmente amigáveis e propor como solução prática a utilização desta tecnologia em larga escala em grandes centros urbanos do Brasil, principalmente para transporte de pessoas e demonstrar os seus benefícios a população. Transportes mais eficientes e acessíveis a um vasto público serão fatores decisivos para operação dos híbridos nos centros urbanos.

Para o transporte de pessoas, os híbridos torna-se uma alternativa para utilização de fontes alternativas com baixo impacto ambiental; com o ganho de desempenho e o desafio de se tornar viável financeiramente para aplicação desse projeto. A busca continua pela diminuição de CO₂ (Gás carbônico) na atmosfera é o fator mais relevante nas escolhas das tecnologias híbridas para aplicação a um futuro próximo.

Estaremos demonstrando a evolução que esses veículos híbridos vêm sofrendo nos últimos anos e as tecnologias de aprimoramento de desempenhos para os próximos anos.

Demonstraremos a evolução que os veículos híbridos vêm sofrendo nos últimos anos e as tendências de tecnologias de aprimoramento de desempenhos para o futuro.

4. TECNOLOGIA HÍBRIDA

Existem atualmente algumas tecnologias de híbridos em atuação, as principais serão demonstradas, explicando as diferenças e comparando aos impactos do sistema automotivo convencional.

O desempenho inclui fatores, tais como, aceleração de 0 a 100 km/h, conforto, a distância de frenagem para parar e o percorrida. Outro fator importante é redução das emissões principalmente do gás carbônico a atmosfera CO₂.

4.1. Tecnologia aplicada nos veículos híbridos

Até 2010 a tecnologia mais utilizada entre os híbridos foram impulsionadas por motores (Combustão/Elétrico). Essa propulsão pode variar entre: (Gasolina/Elétrico), (Diesel/Elétrico), (GLP/Elétrico) e alguns estudos ainda em desenvolvimento entre (Hidrogênio/Elétrico). Nesse período a tecnologia (Gasolina/Elétrico) ganhou notável popularidade em países como Estados Unidos, Japão e Alemanha.

Comparando com as tecnologias convencionais, carro como o VOLT da General Motors (GM) aprimorou em 35 % o conceito de autonomia em distancias percorridas (Revista 4 rodas, 2011)

Os componentes são parecidos com os utilizados em carros tradicionais, é menor em dimensões, porém, sua alta tecnologia empregada lhe permite maior eficiência em relação à autonomia. Dessa forma reduzindo a emissão de gases poluentes. Já o motor elétrico, o dispositivo é muito sofisticado. A tecnologia lhe permite inúmeras formas de aproveitar as forças existentes no carro, como nas arrancadas e nas freadas. O motor elétrico pode ser utilizado como propulsor principal, ou como carregador das baterias.

Abaixo, figura 10 Estrutura do veículo híbrido.

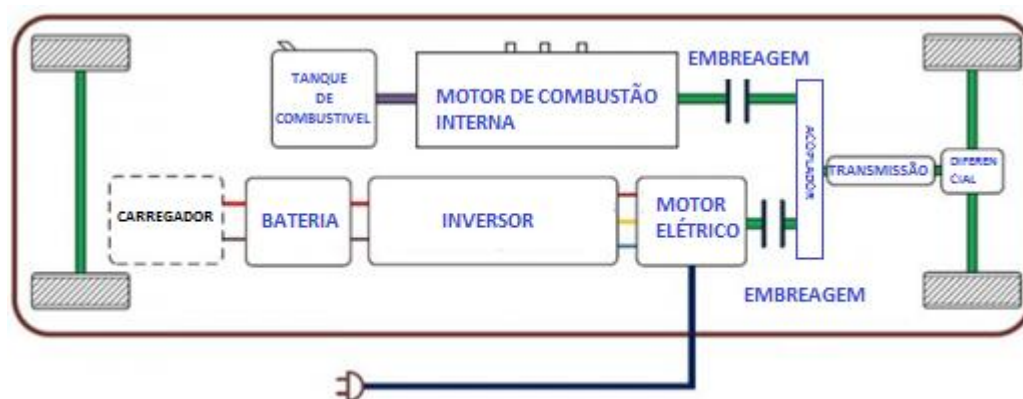


Figura 10: Estrutura do veículo híbrido

Fonte: Siddiq, 2015

4.2. Transmissão

A transmissão dos híbridos serve para levar a força do motor para as rodas do carro. O sistema de propulsão de um veículo, conhecido como trem de força é composto basicamente dos seguintes componentes: motor, sistema de transmissão (manual ou automático), eixo de transmissão, diferencial e roda para a transmissão. O motor é responsável por desenvolver potência, torque e rotação de maneira limitada. O veículo precisa desenvolver velocidades que podem ultrapassar a rotação governada do motor, e o mais importante, o veículo precisa receber torque nas rodas superior ao torque máximo desenvolvido pelo motor. As transmissões permitem o escalonamento de velocidades e torque conforme a necessidade de desempenho do veículo. Sistema de transmissão pode ser manual como nos veículos convencionais ou automáticos utilizado nos veículos mais sofisticados.

Eixo de transmissão é a parte responsável pela transferência de força do sistema de transmissão (câmbio) para o diferencial. É utilizado quando o motor fica na parte dianteira do veículo e a tração é traseira, ou vice versa.

Diferencial, é responsável pela transferência de força para as rodas, compensando as diferenças de forças e rotações.

Eixo traseiro é responsável por levar a força do diferencial para cada roda. Roda traseira, responsável pela transferência do atrito do piso ao carro, para um veículo de tração traseira.

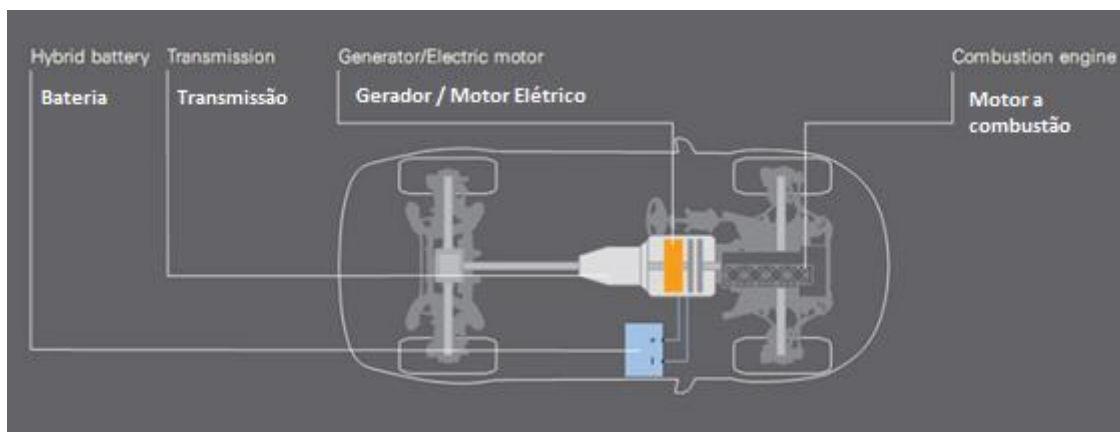


Figura 11: Sistema de transmissão do veículo híbrido

Fonte: ZF, 2015.

4.3. Alternador

O alternador é responsável por transformar energia mecânica em energia elétrica. Acionado pelo motor do veículo no momento da ignição, através de uma correia sincronizadora, o alternador é responsável pela produção de energia elétrica. Ao contrário do que muitas pessoas imaginam, é o alternador, e não a bateria, que alimenta todos os consumidores elétricos durante o funcionamento do veículo. Consequentemente, é ele também o responsável por recarregar a bateria.

Os automóveis operam com corrente contínua, por isso, em alternadores automotivos, existe a adição de dois componentes fundamentais: circuito retificador que transforma a corrente alternada em contínua, e o regulador de tensão, responsável pelo controle da tensão produzida. Alguns alternadores são desenvolvidos e fabricados com alta tecnologia, o que permite uma evolução para produtos cada vez menores e mais potentes. Alguns fabricantes de alternadores, por exemplo, a Bosch, possui diferenciais exclusivos, como reguladores multifunções para as famílias de modelos compactos: reguladores que excedem sua função básica e interagem com todo o sistema elétrico do veículo. A Bosch disponibiliza para o mercado de reposição, alternadores completos e componentes para reparo. Os principais componentes de reposição de alternadores são reguladores de tensão, retificadores, rotores e estatores.

É no rotor que começa o processo de produção de energia elétrica. Construído sobre um eixo de aço, possui em seu interior uma bobina fixada no seu eixo que é envolvida por um par de rodas polares. No momento em que a chave de ignição é ligada, o rotor, através do coletor, recebe da bateria a tensão que induzirá nos fios da

bobina uma corrente elétrica. Esta corrente, por sua vez, produz o campo magnético que é potencializado pela construção das garras polares em aço. Este campo magnético é que induzirá a produção de corrente elétrica. A quantidade de voltas e o diâmetro dos fios da bobina definem a potência, que varia de acordo com a necessidade de corrente elétrica de cada aplicação. O núcleo do rotor recebe um banho de verniz especial que resiste a temperaturas elevadas. Ao final da linha de produção, são testados e passam por balanceamento para eliminar a possibilidade de vibrações.

No estator é produzida a corrente elétrica. As bobinas de fios de cobre são fixadas sobre um núcleo constituído em aço. As bobinas do estator são construídas de forma a aproveitar ao máximo a produção de corrente, são isoladas entre si e cobertas por verniz especial para resistir às mais altas temperaturas e entrada de resíduos. A corrente elétrica é induzida pelo campo magnético, agindo nos fios do estator.

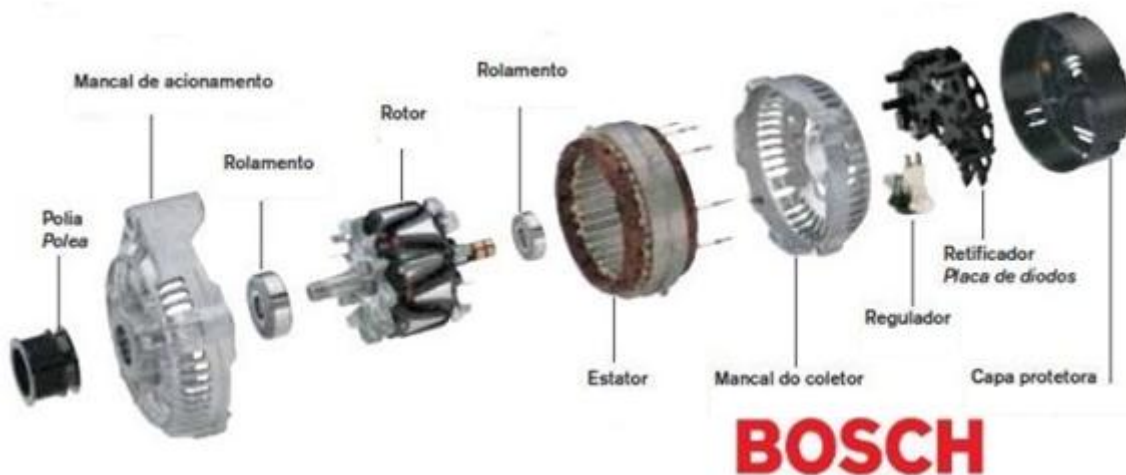


Figura 12: Estrutura do alternador

Fonte: Bosch, 2015.

4.4. Conjuntos Retificadores

A tensão e corrente produzidas no alternador são alternadas e não servem para alimentar os equipamentos elétricos do veículo nem para carregar a bateria, assim é necessário que sejam retificadas.

Também conhecido como placa de diodos, o conjunto retificador tem a função de transformar corrente e tensão alternadas em contínuas. Os conjuntos retificadores na sua maioria são equipados com diodos, que protegem os componentes elétricos e são montados de forma a bloquear correntes reversas, impedindo que a bateria se descarregue (BOSCH, 2010).

4.5. Reguladores Eletrônico de Tensão

Através dos contatos das escovas de carvão com o coletor, o regulador monitora e regula a tensão do alternador, adequando os níveis de tensão e corrente às condições ideais para o bom funcionamento do alternador. A tensão necessária à produção de corrente deve estar de acordo com o sistema elétrico do alternador, caso contrário todo o sistema pode ser danificado. A tensão final fornecida ao sistema elétrico do veículo pelo alternador após ser retificada e regulada.

4.6. Reguladores Multifunção

Atua na regulação de tensão, o regulador multifunção possui dispositivos que garantem o bom funcionamento e integração do sistema de eletrônica embarcada dos veículos mais modernos.

4.7. Gerenciamento Eletrônico

Evita picos de tensão produzidos pelo alternador. A falha ou falta deste dispositivo causa: ruídos elétricos e magnéticos, desbalanceamento elétrico, queima de conectores, relés e chicotes, secagem da bateria, dano no alternador, interferência nos demais equipamentos.

4.8. Controle Eletrônico de Carga na Partida

Este dispositivo garante partidas sempre seguras. O regulador multifunção realiza a pré-análise de falhas e informa, pelo painel do veículo, se há algum desequilíbrio no sistema elétrico. Ele reduz o torque no início do funcionamento, proporcionando mais conforto aos passageiros. A falha ou falta deste dispositivo causa: maior dificuldade e mais tempo para a partida do motor, descarregamento da bateria, levando a seu desgaste prematuro, desgaste ou até queima do motor de partida.

4.9. Sensor de Carga da Bateria

Avalia a tensão diretamente na bateria, compensando as quedas de tensão nos chicotes e conectores. Garante que a bateria esteja sempre carregada.

4.10. Modo de Operação de Segurança

O regulador multifunção é capaz de garantir a função de geração de energia do alternador mesmo que o chicote do regulador se rompa ou se desconecte.

4.11. Controlador Eletrônico de Resposta

Através do chip e do circuito multifuncional, o regulador Bosch monitora e compensa suavemente as variações de carga, evitando as conhecidas “rampas de carga”. Estas variações ocorrem ao acionar certos equipamentos elétricos como, por exemplo, o ar-condicionado e travas elétricas. A falha ou falta deste dispositivo causa: avaria no alternador, aumento no consumo de combustível, desregular na marcha lenta e descalibração do torque do motor do veículo.

4.12. Controle Eletrônico da Temperatura

O regulador multifunção possui um sistema de proteção que preserva o alternador e demais componentes em caso de superaquecimento. A falha ou falta deste dispositivo causa: falha no alternador, queima do retificador, rotor e estator, a perda da

regulagem de tensão e a redução na vida útil da bateria, podendo até causar vazamento de ácido.

4.13. Baterias

A bateria é um dispositivo eletroquímico que transforma energia química em energia elétrica e vice-versa. Uma bateria armazena energia elétrica para o uso quando necessário. O processo de transformação é reversível, o que significa que a bateria pode ser carregada e descarregada por várias centenas de vezes.

Em um veículo, a bateria desempenha o papel de uma unidade de armazenamento químico para a energia elétrica gerada pelo alternador quando o veículo está em funcionamento. Essa energia deve estar disponível para dar partida no motor depois que este tenha sido desligado. Por esse motivo, a bateria também é chamada de “bateria de partida”.

4.14. Tensão de Célula das Baterias

A tensão de célula é a diferença entre os potenciais que são gerados entre as placas positivas e negativas no eletrólito. Esses potenciais dependem dos materiais das placas, do eletrólito e de sua concentração. A voltagem de célula não é um valor constante, mas depende do estado da carga (densidade do eletrólito) e da temperatura do eletrólito.

4.15. Voltagem Nominal

No caso das baterias chumbo-ácido, a voltagem (teórica) nominal de uma única célula é definida em 2 volts (V). A voltagem nominal das baterias de partida é de 12 V. Os 24 V necessários para os sistemas elétricos dos caminhões são fornecidos através da conexão em série de duas baterias de 12 V. As baterias são compostas por uma determinada quantidade de células, que dependendo do material que são fabricadas, geram uma determinada tensão por célula. A célula de bateria é formada por cinco componentes principais:

- i. Eletrodos (anodo e catodo)
- ii. Separadores

- iii. Terminais
- iv. Eletrólito
- v. Case ou encapsulamento.

As células de bateria são agrupadas juntas num mesmo arranjo físico e são conectadas eletricamente nesta unidade, formando uma bateria. As baterias possuem dois terminais, um negativo e outro positivo. O eletrólito pode ser um líquido, gel ou material sólido. As baterias tradicionais são formadas por chumbo ácido (PB-acid), níquel-cadmio (NiCd), e outras (BOSCH,2010).

4.16. Tanque de Combustível

É o reservatório normal de combustível dos automóveis convencionais.

5. CONCEITO HÍBRIDO

5.1. Híbrido Tipo Série

O híbrido tipo série, o motor de combustão é utilizado apenas como gerador para as baterias e para o motor elétrico. Não há nenhum tipo de conexão mecânica do motor de combustão para as rodas, podendo assim, aperfeiçoar o motor de combustão interna na sua melhor eficiência e melhor controle de emissões de gases poluentes, independentemente das condições de direção. A tração das rodas é feita apenas pelo motor elétrico.

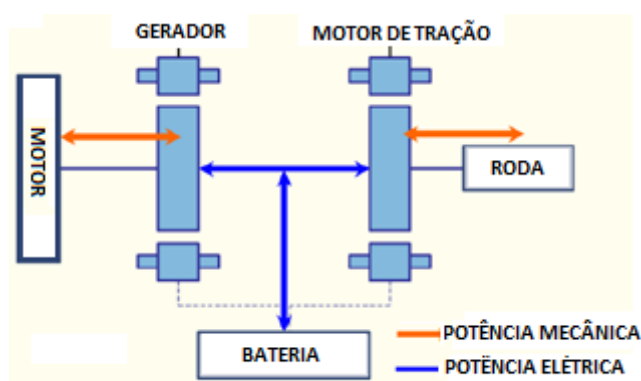


Figura 13: Sistema Híbrido Tipo Série

Fonte: Ford Motor Company, 2015.

5.2. Híbrido Tipo Paralelo

Híbridos em Paralelo nesta configuração o motor de combustão interna e o motor elétrico atuam de forma independente nas rodas do veículo. A forma de atuação dessas duas fontes de energia depende da solicitação de carga do veículo. A propulsão do veículo é feita exclusivamente pelo motor de combustão interna que pode ser auxiliado pelo motor elétrico, fazendo que os dois motores trabalhem simultaneamente. Enquanto o motor elétrico está sendo utilizado para carregar as baterias (gerador), não poderá ser utilizado para tracionar as rodas.

Assim o motor elétrico apenas auxilia o motor principal quando é exigida maior potência.

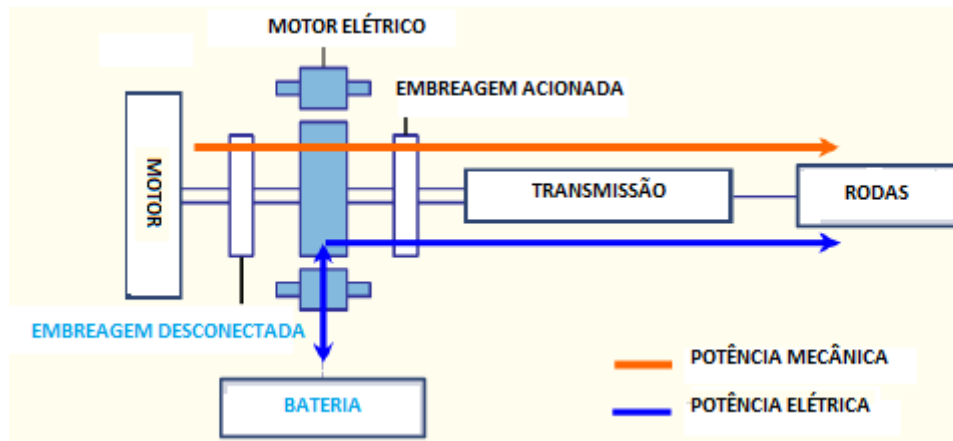


Figura 14: Sistema Híbrido Tipo Paralelo
 Fonte: Ford Motor Company, 2015.

5.3. Híbrido Tipo Misto ou Combinado

Híbrido combinado nesta configuração utilizam-se aspectos dos sistemas séries e sistemas paralelos, que tem como objetivo extrair os benefícios que os dois sistemas possuem. Este sistema permite gerar para as rodas e carregar as baterias ao mesmo tempo através de um gerador. Através da solicitação de carga e estratégia da unidade de comando é possível tracionar o veículo apenas com o motor elétrico, apenas com o motor a combustão ou os dois motores simultaneamente.

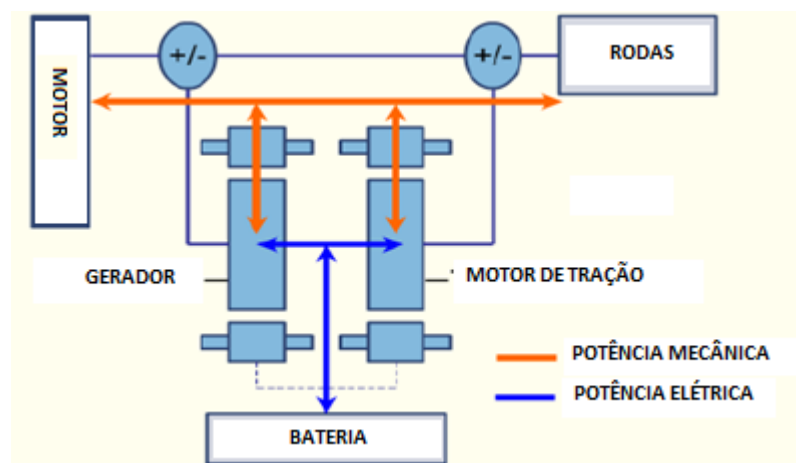


Figura 15: Sistema Híbrido Tipo Série/Paralelo
 Fonte: Ford Motor Company, 2015.

6. DIFERENTES APLICAÇÕES DOS HÍBRIDOS

Os conceitos foram desenvolvidos para ilustrar uma proeza das empresas, e avaliar a resposta do público sobre o novo conceito de tecnologia. Alguns veículos de conceito incluem gás/elétrica; diesel/elétrico, e outros do que o gás ou diesel híbrido. Algumas categorias usam sistemas de regeneração de energia de baterias.

A parceria para a geração do programa de veículos, também conhecido como supercarro, gerou vários carros-conceito. Alguns serão apresentados abaixo.

6.1. Prius-Toyota

No fim de 1997 foi lançada a Toyota Prius, o principal carro com sistema híbrido, que até nos dias de hoje serve como referência quando o assunto são veículos híbridos.



Figura 16: Toyota Prius
Fonte: Site Toyota.

A cada 10 litros de combustível consumido estima-se que apenas 3 litros são revertidos em trabalho útil para o veículo, os outros sete são desperdiçados em calor, atrito, transmissão ou acionamentos de periféricos. Para aproveitar o máximo de energia desperdiçada foi criado o sistema de reaproveitamento energético (Toyota Prius geração 3) tração híbrida por sinergia.

Esta tecnologia está aplicada no Toyota Prius, que no início de funcionamento do Prius até chegar aos 45 Km/h utiliza apenas o motor elétrico zerando emissões de CO₂ e diminuindo emissões sonoras. Este sistema possui controle de nível de bateria, através do monitoramento da tensão. Se a bateria estiver com tensão baixa, coloca-se em funcionamento o motor de combustão interna para seu recarregamento. Em velocidades médias o Prius utiliza o motor a gasolina de 1,8L e os dois motores elétrico.

O primeiro motor elétrico chega a 10000 RPM. É utilizado para dar partida no motor à combustão e dar contra torque no câmbio. O Segundo motor elétrico tem rotação máxima de 1500 RPM e auxilia na produção de potência para o motor de combustão interna. Quando se exige maior potência, numa subida, por exemplo, entra em funcionamento o motor elétrico e o motor a combustão gerando uma maior potência e torque. Numa frenagem, o motor de combustão é desligado e os motores elétricos funcionam como geradores de energia elétrica para o carregamento da bateria. Este veículo possui a opção de veículo elétrico, ou seja, deixar a locomoção do veículo apenas com motor elétrico.

O motor de combustão que o Prius possui é o de ciclo Atkinson, e não o de ciclo Otto. O motor de ciclo Atkinson, permite que os tempos de admissão, compressão, expansão, e exaustão dos motores de quatro tempos ocorram em uma única volta do virabrequim e foi projetado dessa maneira para evitar algumas patentes que cobriam motores ciclo de Otto. O desenho único do motor, com ligações mecânicas complexas entre apoios e o virabrequim do ciclo Atkinson, resultou num motor cuja taxa de expansão é diferente da taxa de compressão. Na prática, o período de expansão é maior que o de compressão, o que resulta numa eficiência térmica melhor que a média dos motores a pistão tradicionais. Os motores modernos estão se utilizando de tempo de abertura de válvulas diferenciados, que imitam o efeito da redução da compressão e o aumento da expansão, notando sensível melhoria no consumo de combustível.

O ciclo de Atkinson tem vantagem de melhor eficiência sobre o ciclo Otto de mesma dimensão e desvantagem de ter menor potência.

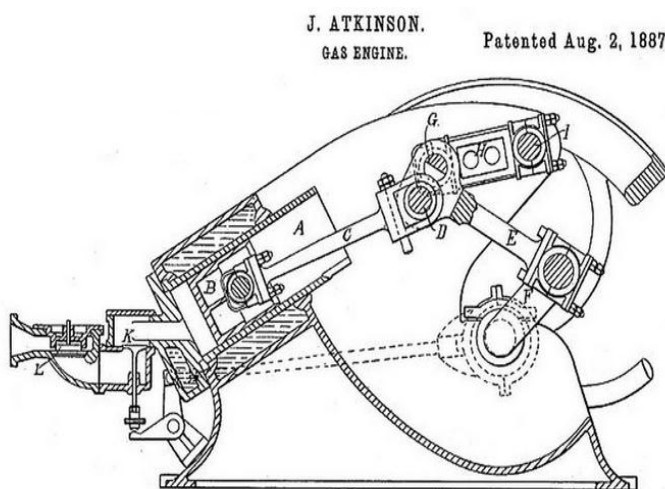


Figura 17: Motor Atkinson
Fonte: Noticias Automotivas , 2014.

6.1.1. Volt – General Motors

A autonomia das baterias elétricas do Volt é de cerca de 64 km (40 milhas), segundo a GM. Após essa distância, o carro passa a ser impulsionado por um motor a combustão tradicional.

O Volt conta com um motor elétrico de 150 cv. No caso das baterias estarem descarregadas, um propulsor a gasolina de 1.4 litros e 72 cv de potência se encarrega de mover o veículo. A GM também oferecerá uma garantia de oito anos ou 160 mil km para as baterias de íon de lítio do modelo.

O Volt não é o primeiro carro da GM a ser movido a energia elétrica. Nos anos 1990, a empresa lançou o EV1, veículo que foi retirado das ruas pela GM em 2002, alegando que não seria possível produzir o carro em escala suficiente para ele ser rentável.



Figura 18:GM Volt
Fonte: PHYS, 2015.

6.1.2. McLaren Híbrido P1

O sistema de propulsão do novo McLaren é híbrido. Há um motor convencional a gasolina, um V8 de 3.8 litros, e um propulsor elétrico. A combinação dos dois motores garante ao P1 potência de 903 cv, número que deixa para trás até o motor Mercedes da equipe de F1 da McLaren.

O conhecimento técnico da F1 foi aproveitado no P1. O sistema DRS, que reduz o arrasto aerodinâmico do carro em retas, aumentando a velocidade final do bólido, foi adaptado para o carro de rua. A diferença é que o DRS do P1 é coordenado

automaticamente, embora existam botões no painel para ativar o sistema manualmente, enquanto o DRS do McLaren de F1 é acionado exclusivamente pelo piloto.

Outra ideia que migrou das pistas para o P1 é o sistema de recuperação de energia cinética das frenagens do carro. Com um simples toque num botão no painel, o motorista/piloto pode liberar 176 cavalos de potência para as rodas do carro. É como se você pudesse adicionar, simplesmente apertando um botão, a potência de um carro de passeio médio.

A McLaren P1 é um híbrido, mas com alguns pontos que o diferem dos carros com esse tipo de propulsão. Enquanto carros de passeio híbridos buscam o equilíbrio no uso das motorizações a gasolina e a eletricidade, o P1 se apoia no motor a explosão, deixando o propulsor elétrico para atingir desempenho de pista, não para mover o carro em trajetos comuns. Se desejar rodar apenas com eletricidade, o motorista do P1 terá autonomia de apenas 10 km/h.



Figura 19: McLaren P1
Fonte: Veja Abril, 2015

6.2. Híbridos (Diesel / Elétrico)

Neste sistema, um motor diesel transmite energia ao gerador ou alternador que por sua vez transmite essa energia ao eixo por meio de um motor elétrico.

Unidades diesel-elétricas também são empregadas em submarinos e navios de superfície, bem como em veículos terrestres pesados, tais como grandes caminhões fora-de-estrada de mineradoras. Em alguns casos, a energia elétrica pode ser armazenada em baterias recarregáveis, caracterizando dessa maneira certa classe de veículo elétrico híbrido.

Em uma locomotiva diesel-elétrica, o motor primário (motor diesel) aciona um gerador elétrico que irá transmitir a potência para os motores de tração. Não existe conexão mecânica entre o motor primário e as rodas de tração. Algumas vezes, este tipo de locomotiva é classificado como um veículo híbrido do tipo série.

Importantes componentes da tração elétrica são o motor primário (motor diesel), gerador principal (ou gerador de tração, que atualmente é um alternador), motores de tração e o sistema de controle que consiste no governador do motor diesel, regulador de carga e o chaveamento (disjuntor) dos motores de tração. Em princípio, a eletricidade de saída do gerador é diretamente enviada do disjuntor para os motores de tração, que são mecanicamente acoplados às rodas via engrenagens de redução. Originalmente os motores de tração e o gerador principal são máquinas CC.

Seguindo o desenvolvimento de retificadores de alta capacidade nos anos 60, o gerador CC foi substituído por um alternador usando ponte de diodo para retificar a saída para CC. Isto aumentou a confiabilidade das locomotivas e minimizou os custos de manutenção pela eliminação do comutador e escovas.

A eliminação das escovas e comutador, por sua vez, resolveu um tipo de evento particularmente destrutivo relacionado à faiscamento, que comumente causa falha imediata do gerador e, em alguns casos, início de incêndio na casa de máquinas.

Mais recentemente, o desenvolvimento do Variador de Frequência e Variador de Voltagem (VVVF) de alta potência, ou "inversores de tração", foi seguido pelo uso de motores polifásico CA, eliminando também o comutador e as escovas destes. O resultado é maior eficiência, maior confiabilidade e manutenção relativamente mais simples além de suportarem melhor condições de sobrecarga em que velhos tipos de motores seriam destruídos.

O maquinista controla a locomotiva diesel-elétrica por meio de alavancas. A alavanca próxima do centro é o acelerador (pontos) e a alavanca à esquerda é o controle da válvula de freio.

Em termos mecânicos, uma locomotiva diesel é uma máquina de "potência constante". Em outras palavras, uma locomotiva diesel-elétrica tem a mesma potência em qualquer condição de aceleração (em teoria) sem levar em consideração a velocidade, contanto que a unidade esteja realmente em movimento. Portanto, a capacidade da locomotiva de desenvolver esforço de tração tende a variar inversamente com a velocidade. Quanto maior a velocidade, menor a força sem que haja alteração na potência. Em contraste, uma locomotiva a vapor é uma máquina de "força

constante", em que teoricamente o máximo esforço de tração será relativamente independente da velocidade da locomotiva, mas a potência de saída tende a aumentar com a velocidade, limitada pela capacidade da caldeira de produzir vapor.

Desde que a locomotiva diesel é uma máquina de potência constante, o sistema de propulsão foi projetado para, de uma vez por todas, aplicar seguramente a carga máxima do motor primário o quanto ele pode suportar, dessa maneira, a máxima eficiência irá se realizar. Abaixo da carga máxima não é exatamente prejudicial, mas causará perda de eficiência se a saída do motor primário não for totalmente utilizada. Em outro extremo, a sobrecarga irá causar também perda de eficiência devido ao motor primário ser forçado a girar em velocidade abaixo do observado em relação ao consumo, efeito referido como "arrasto". O arrasto causará grande anormalidade na pressurização dos cilindros durante a combustão, com emissão excessiva de fumaça na exaustão e, se persistir, resultará em severo dano mecânico.

O parâmetro aceitável de manutenção foram os primeiros projetos que tiveram que ser resolvidos no desenvolvimento das primeiras locomotivas diesel-elétricas. Finalmente chegando ao complexo sistema de controle das modernas unidades.

6.3. Operação do Acelerador

A potência de saída do motor primário é primeiramente determinada pela sua velocidade de rotação (RPM) e seu consumo de combustível, que são reguladas por um governador ou mecanismo similar. O governador é projetado para reagir ao regulador de aceleração (pontos), que é determinado pelo maquinista e a velocidade a qual o motor primário está girando.

A potência de tração da locomotiva, assim como sua velocidade é controlada pelo maquinista usando uma chave de pontos que produz sinais elétricos correspondentes à posição do acelerador. As locomotivas norte-americanas, tais como as fabricadas pela EMD e General Electric, possuem nove posições de ponto, uma neutra e oito de potência (assim como em uma emergência, o neutro interrompe a potência). Muitas locomotivas britânicas possuem 10 posições de ponto. As posições são referidas frequentemente por grupos como "run 3" ou "notch 7" por exemplo.

Em locomotivas mais antigas, o mecanismo de aceleração (alavanca de pontos) era por catraca, de modo que não era possível avançar mais de uma posição de uma vez. O maquinista não poderia, por exemplo, pular do ponto 2 para o ponto 4 sem parar no

ponto 3. Esta característica pretendia impedir a áspera manipulação do trem devido ao aumento abrupto da potência de tração causando rápida aceleração. Modernas locomotivas não tem esta restrição, já que seu sistema de controle é capaz de modular linearmente a potência e evitar mudança repentina na carga do trem, de qualquer maneira que o maquinista opere os controles.

Quando o acelerador (ponto) está em posição neutra, o motor primário irá receber um mínimo de combustível, fazendo com que rode em marcha lenta. Também, os motores de tração não estarão conectados ao gerador principal e os enrolamentos de campo do gerador não estão excitados (energizados) - o gerador não irá produzir eletricidade se não estiver excitado.

Consequentemente a locomotiva estará parada. Conceitualmente, equivale a um automóvel com a transmissão em neutro e o motor em funcionamento.

Para colocar a locomotiva em funcionamento, primeiramente a alavanca reversora é colocada manualmente na posição desejada (para frente ou para trás). Os freios então são liberados e o acelerador é movido para a posição 1 (ponto 1). Isto causará a conexão dos motores de tração ao gerador principal no mesmo momento que as bobinas de campo do gerador serão excitadas. Entretanto, isto não aumentará o RPM do motor primário. Com excitação aplicada, o gerador principal irá enviar eletricidade para os motores de tração. Se a locomotiva estiver sem carga (sem vagões acoplados) e não estiver em uma subida ela irá acelerar facilmente. Por outro lado, se ela estiver começando a puxar um longo trem, a locomotiva tende a logo parar (conforme a rotação dos motores de tração aumenta, sua força diminui proporcionalmente), pois o arrasto imposto pelo trem excede a força de tração desenvolvida. O maquinista então irá avançar o acelerador (pontos) a fim de manter o ritmo da aceleração.

Como o acelerador está sendo movido para pontos de maior potência de tração, o consumo de combustível do motor primário irá aumentar resultando no correspondente aumento de RPM e potência de saída. Ao mesmo tempo, a excitação de campo do gerador principal será proporcionalmente aumentada para absorver o aumento da potência do motor primário. Isto traduzirá no aumento da saída elétrica para os motores de tração, com o correspondente aumento da força de tração. Eventualmente, dependendo das exigências do trem, o maquinista deverá mover a posição do acelerador para a potência máxima de tração e manter lá até que o trem atinja a velocidade desejada.

A transmissão elétrica de uma locomotiva é projetada a fim de produzir força máxima na partida. Isso explica como modernas unidades são capazes de partir com trens pesando acima de 15.000 toneladas, às vezes em subidas. Atualmente, modernas unidades podem desenvolver força de tração igual a 30% do seu peso. Consiste que se tais unidades produzirem mais força de tração do que o suficiente poderia danificar ou descarrilhar os vagões (se em curva) ou quebrar os engates.

6.4. Operação do Sistema de Propulsão

Como explicado previamente, o sistema de controle de uma locomotiva é projetado de modo que a saída do gerador principal em qualquer velocidade em que gire seja constante e combinado com a potência máxima produzida pelo motor primário nesse RPM. Devido a características inatas aos motores de tração, assim como a maneira em que estes estão conectados ao gerador principal, o gerador irá produzir alta corrente e baixa tensão quando a locomotiva estiver em baixa velocidade e gradualmente mudando para baixa corrente e alta tensão para quando a locomotiva estiver em velocidades mais elevadas. Consequentemente, a potência líquida produzida pela locomotiva permanecerá constante independentemente da posição do acelerador.

O governador do motor primário e um dispositivo chamado regulador de carga (LR) têm um papel fundamental no sistema de controle. O governador possui 2 entradas externas: o verificador da velocidade do motor diesel, determinado pela aceleração do maquinista e a velocidade real do motor. O governador possui ainda 2 saídas externas: o ajuste do injetor de combustível, o qual determina o consumo de combustível e o posicionamento do regulador de carga (LR), o qual influi na excitação do gerador principal. O governador também incorpora um mecanismo de proteção de sobre velocidade, o qual irá cortar imediatamente o combustível para os injetores no evento de o motor primário exceder um limite definido de RPM.

O LR é essencialmente um grande potenciômetro que controla a potência de saída do gerador principal pela variação da excitação do campo e o grau de carga aplicado ao motor primário. O trabalho do LR é relativamente complexo devido ao fato de a potência do motor primário ser proporcional a sua RPM e a saída do gerador principal não ser.

Como a carga do motor primário muda também a velocidade de rotação tende a mudar. Isso é detectado pelo governador via uma mudança na velocidade do sinal (feedback). Tendo como efeito o ajuste no consumo de combustível e o

reposicionamento do LR. Consequentemente, o RPM e o torque do motor primário irão permanecer relativamente constantes, não obstante a velocidade real do trem.

Nas unidades mais recentes controladas por computador, para cada etapa da rotação do motor primário é distribuída uma potência de saída apropriada, ou "referência de KW". O computador compara este valor com a potência real do gerador principal, avalia e combina com o valor de referência para controlar a excitação do campo, como descrito acima. O governador ainda tem que controlar a velocidade do motor primário. O LR já não tem um papel fundamental nesse tipo de sistema de controle. Entretanto é tido como um "apoio" em caso de sobrecarga do motor primário. Modernas locomotivas são equipadas com injeção eletrônica (EFI) e poderiam não ter o governador, entretanto um "virtual" LR é requisitado.

O desempenho dos motores de tração é controlado variando a tensão de saída CC do gerador principal para os motores CC, ou variando a frequência e a tensão de saída para os motores CA. Com motores CC, algumas combinações de conexão são utilizadas para adaptar a tração às diversas condições de operação (transição).

Os motores de tração CC são conectados através do gerador principal na configuração série, isto é, as bobinas de campo do motor são ligadas em série com as bobinas da armadura, geralmente 2 motores em série um com o outro. Deste modo, a potência de saída do gerador principal é inicialmente baixa tensão/alta corrente, 46 funcionamento excedem 1000 amperes por motor quando em plena potência. Quando a locomotiva está parada ou está próximo da paralisação o fluxo da corrente será limitado apenas pela resistência do enrolamento e a interconexão dos circuitos, assim como a capacidade do próprio gerador. O torque do motor CC série é aproximadamente proporcional ao quadrado da corrente. Então os motores de tração irão produzir altíssimo torque de partida, permitindo à locomotiva superar a inércia do trem. Esse efeito é análogo ao que acontece com um automóvel de transmissão automática na partida, onde a primeira marcha irá produzir a multiplicação de torque máximo.

Tal como a locomotiva acelera, a rotação da armadura do motor irá começar a gerar uma EMF (força eletromotiva de retorno, em que o motor começa a atuar como gerador), o qual irá se opuser a saída do gerador e causar redução na corrente dos motores. A tensão do gerador principal irá aumentar correspondentemente em uma tentativa de manter a potência dos motores de tração, mas irá eventualmente alcançar um nível plano. A partir desse ponto, a locomotiva irá cessar a aceleração, iniciando uma perda no esforço de tração. Como forma de evitar isso, devem-se mudar algumas

características da tração para continuar o processo de aceleração. Esta mudança é chamada de “transição”. Um processo análogo a mudar as marchas em um automóvel.

6.5. Transição

Transição é o nome que se dá a mudanças nas conexões dos motores de tração série ou série/paralelo para a configuração paralelo. No modo paralelo, a força motriz eletromagnética desenvolvida pelos motores não irá aumentar tão rapidamente quanto na operação série, já que o agora campo paralelo irá desenvolver um fluxo magnético independente da corrente da armadura. Consequentemente, a corrente da armadura poderá continuar a aumentar sem causar aumento da corrente do campo, impedindo assim a mudança para um nível em que a EMF possa atuar.

Outra forma de transição é reduzindo a corrente de campo do motor quando esta atua no modo série por resistência em paralelo com o campo. Isto tem o efeito de diminuir a corrente da armadura, produzindo um correspondente aumento no torque e velocidade.

Reconectando os dois rolamentos separados do estator do gerador principal de paralelo para a configuração série a tensão de saída aumenta. Isso se chama “transição do gerador”.

Em locomotivas mais antigas, era necessário que o maquinista execute a transição manualmente através da utilização de um controle separado. Como a execução têm que ser no tempo exato, um medidor de carga (um indicador que informa ao maquinista quando a corrente está muito alta nos motores de tração) foi projetado para indicar em qual ponto a transição deve ocorrer. A transição automática foi consequência do aprimoramento das locomotivas e para 47 funciona o gerador principal e os motores de tração da sobrecarga causada por transição indevida.

6.6. Frenagem Dinâmica

Um recurso comum nas locomotivas diesel-elétricas é a frenagem dinâmica (reostática). A frenagem dinâmica aproveita-se do fato que a armadura dos motores de tração, sempre que a locomotiva estiver em movimento, eles também estão independentemente de estar em aceleração plena ou em uma severa frenagem. Na frenagem dinâmica, o motor de tração atua como um gerador pela excitação separada da

bobina de campo. Quando isso acontece, os circuitos de controle de tração são configurados desse modo:

A bobina de campo de cada motor de tração é conectada ao gerador principal.

A armadura de cada motor de tração é conectada em uma grade de resistência resfriada a ar (grade do freio dinâmico) no teto da carenagem da locomotiva.

O RPM do motor primário aumentará e o campo do gerador principal será excitado, causando correspondente excitação do campo dos motores de tração.

Isto fará com que cada motor de tração gere energia elétrica que será dissipada através de calor na grade do freio dinâmico por um ventilador. Este acionado por um motor que é diretamente conectado à saída dos motores de tração. Consequentemente, quanto mais energia é aplicada à grade, mais rápido o ventilador irá girar.

Como os motores estarão fornecendo energia, produzirão uma força contrária ao fluxo da corrente (Lei de Lenz) que irá impor arrasto e frear a locomotiva. Quando a velocidade diminui, o efeito de frenagem irá diminuir e se tornará inefetivo a cerca de 10 mph (16 km/h) aproximadamente, dependendo da relação de engrenagem entre o motor de tração e o eixo.

A frenagem dinâmica é particularmente benéfica quando opera em regiões montanhosas, onde há sempre o perigo de superaquecimento dos freios a ar durante a descida. Em vários casos a frenagem dinâmica é aplicada em conjunto com os freios a ar, referida como frenagem mista.

Uma locomotiva diesel-elétrica tem a capacidade de partir do zero com torque máximo constante, potência contínua ininterrupta, possibilidade de inverter seu sentido de funcionamento, entre outras. Também na deficiência inerente a motores térmicos a pistão, que possuem limite mínimo de velocidade de funcionamento, torque e potência máximos restritos a uma estreita faixa de funcionamento, necessitando, portanto de uma caixa de velocidades (diesel-mecânica ou hidráulica).

Em uma diesel-elétrica, evitam-se as dificuldades impostas pelas limitações do motor térmico a pistão bem como o uso de um complicado sistema de transmissão da potência do motor às rodas. O motor diesel trabalha em velocidades menores e com menor variação, trabalhando em condição otimizada de funcionamento, privilegiando o consumo de combustível e sua durabilidade.



Figura 20: Locomotiva Híbrida

Fonte: Skyscraper, 2015.

6.7. Ônibus Híbrido Mitsubishi Aerostar (Diesel / Elétrico)

O Eco Híbrido (ônibus diesel-elétrico) agora está definindo novos padrões em testes práticos no Japão. Pode reduzir o consumo de combustível em até 30 por cento. A Mitsubishi Fuso Aero Star Eco Híbrido opera com um drive híbrido série, em que o motor diesel não dirige rodas diretamente, mas em vez disso é usado exclusivamente para dirigir um gerador elétrico para recarregar as baterias de lítio-íon, ligado à dois motores elétrico (com uma potência combinada de 158 kW), que a propulsão do veículo.

Daimler Trucks usa um sistema deste tipo para a maioria de seus veículos comerciais full-híbrida, inclusive na Mitsubishi Fuso Canter Eco Híbrido, enquanto híbridos em série são reservados para ônibus urbanos, onde trabalham de forma mais eficiente. A faixa é de 300 km (cerca de 200 milhas).



Figura 21: Mitsubishi Fuso Híbrido

Fonte: Mitsubishi, 2015

6.8. Primeiro Ônibus Híbrido Produzido no Brasil (Biodiesel / Elétrico)

Os primeiros ônibus híbridos produzidos no Brasil começaram a circular em Curitiba. Os veículos movidos à eletricidade e biodiesel, chamados Hibribus, reduzem 90% a emissão de poluentes, na comparação com os ônibus que circulam atualmente e 35% o consumo de combustível.

Além disso, o Hibribus é mais silencioso, não emite ruídos em cerca de 30% do tempo de operação. O modelo é fabricado na unidade da montadora Volvo em Curitiba, a primeira a produzir o Hibribus fora da Suécia, sede mundial da marca. Os ônibus híbridos começaram a ser fabricados no país em junho e foram apresentados, no mesmo mês, no Rio +20, conferência da Organização das Nações Unidas (ONU) realizada no Rio de Janeiro, como exemplo de desenvolvimento sustentável. Assim como Curitiba, que tem 30 Hibribus circulando, São Paulo conta com 50 modelos “ecológicos”. O modelo funciona com os dois motores – elétricos e a biodiesel de forma independente.

O elétrico é usado para arrancar o veículo e acelerá-lo até uma velocidade de aproximadamente 20 km/h. A fonte, na parte superior do ônibus, é utilizada como geradora de energia durante as frenagens. Já o motor diesel entra em funcionamento em velocidades mais altas. Quando os freios são acionados, a energia de desaceleração é utilizada para carregar as baterias. E quando o ônibus está parado, no trânsito, nos pontos de ônibus ou nos semáforos, o motor diesel fica desligado.

A tecnologia aplicada faz com que o valor dos veículos seja 60% maior que o dos modelos convencionais. Cada Hibribus custa R\$ 600 mil e tem capacidade total de 80 passageiros, sendo que para 32 pessoas sentadas.



Figura 22: Hibribus
Fonte: Skyscraper, 2015.

O veículo híbrido compensa pela economia de combustível, por favorecer a ecologia, poluir menos, emitir menos fumaça e fazer menos barulho. A alternativa de tecnologia compensa o investimento inicial.

6.9. Híbridos Movidos a Energia Solar e Plug In

A utilização da energia solar no dia-a-dia da sociedade tem sido cada vez mais frequente, como é o caso dos carros movidos à energia solar que têm cada vez mais seguidores e com provas dadas que a sua utilização é completamente normal e sem qualquer tipo de imprevistos. Depois de ter surgido os automóveis movidos a gás natural, os carros movidos à energia solar estão a começar a aparecer cada vez mais nas ruas nacionais, com alguns deles a mostrarem-se tão eficazes ou mais ainda que os veículos movidos a combustível fóssil. As características destes automóveis são bastante específicas, tendo sempre em atenção as necessidades que este tipo de energia necessita para se tornar viável e ainda as próprias características do veículo para circular em plena segurança.

A captação da energia é feita através de células fotovoltaicas que são estrategicamente colocadas no chassi do veículo, geralmente em forma de painel solar na parte superior do mesmo, funcionando assim da mesma forma de outros painéis solares que são colocados nos telhados das casas modernas de hoje em dia. Obviamente que a forma como esses painéis são colocados no chassi dos automóveis depende muito da estrutura do mesmo, das suas características e ainda da sua marca, pois são cada vez

mais os automóveis de luxo movidos à energia solar que possuem um design tão simples e moderno que esses painéis passam completamente despercebidos.

São exatamente essas células fotovoltaicas que são responsáveis pela captação da energia emitida através das radiações pelo Sol e posterior transformação dessa “luz” em energia que seja utilizável pelo veículo para que este se mova.

Ao contrário do que se possa pensar, este tipo de veículos é tão eficiente no cumprimento das suas funcionalidades como os automóveis movidos a combustíveis fósseis. As próprias marcas de automóveis têm em consideração toda a logística necessária para que estes veículos possam ser utilizados por um tempo elevado (através do armazenamento da energia em baterias), a uma velocidade dita normal e com a facilidade que os outros veículos possuem. A grande massificação deste tipo de veículos, sempre com as condições necessárias para que sejam utilizados em qualquer parte do mundo e por qualquer pessoa, levou a que os números de vendas sejam cada vez maiores.

De uma forma geral estes veículos são muito mais leves que os veículos tradicionais, fazendo com que todos os seus componentes sejam criados exclusivamente para estes tipos de veículos, já que são muito mais leves que os carros clássicos. A leveza do próprio veículo, a aerodinâmica e ainda o tipo de pneus que utilizam, faz com que os veículos movidos a energia solar, hoje em dia, possam chegar a atingir velocidades de 160 km/h. Existem inúmeras vantagens nos veículos movidos a energia solar, das quais destacamos:

Poluição: Este tipo de veículos ganha a qualquer outro, já que não têm qualquer tipo de emissão de gases para o meio ambiente. É também importante salientar que não faz ruídos durante a sua utilização.

Custos: Apesar de serem ligeiramente mais caros do que os carros tradicionais, o valor que posteriormente é poupado em nível de combustível faz destes veículos um investimento em longo prazo bastante vantajoso.

Há algumas desvantagens que devem ser mencionadas e analisadas por todos os que estudam a compra de um veículo movido a energia solar.

Baterias: As baterias existentes no mercado ainda pesam bastante, apesar de já proporcionarem autonomias muito interessantes. Algumas do mercado já oferecem cerca de 200 km de autonomia para os veículos. O tempo de carga é também uma das desvantagens, já que pode ser necessário esperar entre 6 a 8 horas para ter toda a bateria carregada.



Figura 23: Ford C-Max Solar Energy Concept
Fonte: Truck Brasil, 2015.

6.10. Empilhadeiras Híbridas

Com a nova empilhadeira híbrida a diesel RX 70, a empresa de intralogística STILL segue o caminho que leva à redução de custos com energia e baixas emissões de CO₂.



Figura 24 : Empilhadeira Híbrida RX 70
Fonte: Still, 2015.

A RX 70 Híbrida é a primeira empilhadeira com contrapeso do mundo produzida em série, usando o princípio de recuperação de energia combinada a uma transmissão elétrica. Para oferecer uma tração potente, mas econômica em termos de consumo, a empilhadeira combina dois sistemas para armazenar a energia:



Figura 25: Contrapeso empilhadeira híbrida

Fonte: Still, 2015.

Um tanque convencional para o diesel e um sistema para armazenar energia elétrica que utiliza Ultracaps. Toda vez que o operador soltar o pedal de tração, o freio elétrico converte a energia cinética em energia elétrica, que é armazenada. Os Ultracaps retiram a energia que retorna do sistema e podem liberá-la de novo imediatamente. Esse sistema de recuperação de energia, combinado à maneira mais eficiente de usar o motor de combustão interna, contribui para a potencial economia de energia e permite economizar até 15% do combustível em comparação a uma RX 70-35, dependendo do ciclo de trabalho.

A empilhadeira Trilateral da Hyster e Yale possui um sistema de regeneração de energia através do retorno do fluido da bomba hidráulica.



Figura 26: Empilhadeira Trilateral Hyster

Fonte: Hyster, 2015.

No momento da descida da torre o fluido muda o sentido de giro da bomba hidráulica gerando energia para a bateria, aumentando o desempenho do equipamento.

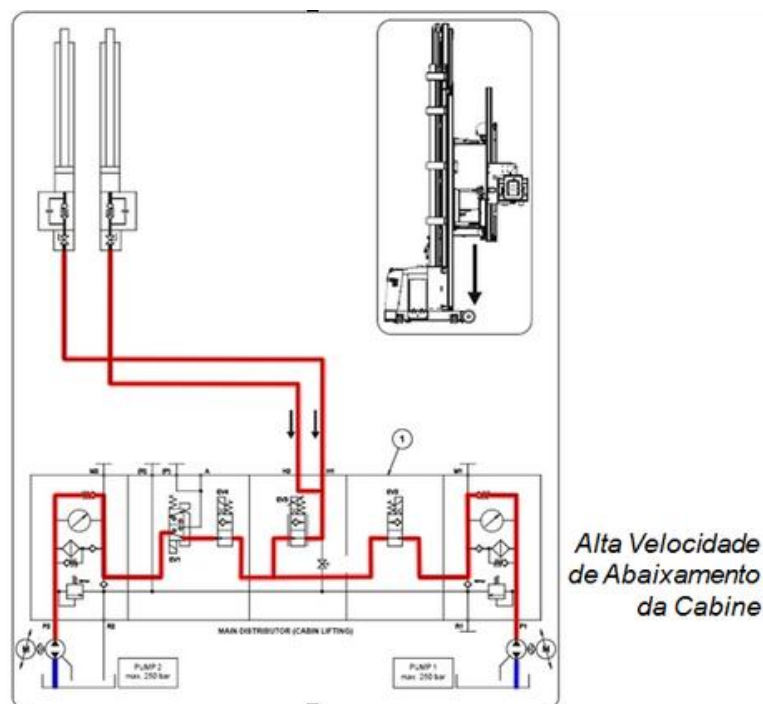


Figura 27:Esquema Hidráulico da descida da Torre

Fonte: Hyster, 2015.

6.11. Tratores Híbridos

A montadora LS Tractor, principal fabricante de máquinas agrícolas da Coreia do Sul, vem desenvolvendo um trator híbrido, o PS110, com 100 cavalos-vapor (cv) movidos a diesel e os dez restantes gerados a partir de energia elétrica. O protótipo foi apresentado a um grupo de jornalistas na cidade de Jeonju.

A vantagem do PS110 é que o motor pode ter sua eficiência aumentada em até dez vezes quando o operador ligar a parte elétrica. O trator trabalha com duas engrenagens que podem ser utilizadas em conjunto, a de diesel e a de energia elétrica, gerada pelo próprio motor a explosão. Além da potência, a alternativa representará mais economia, segundo Won Woo (diretor de vendas da Empresa). “Com a eletricidade, o trator fica mais leve e muito mais amigável”, diz.

Outra vantagem é a ambiental. Com essa tecnologia, diminui-se o consumo de combustíveis fósseis gerando uma redução também nas emissões de gases causadores do efeito estufa como o CO₂.



Figura 28: Trator PS110
Fonte: Revista Globo Rural, 2015.

7. SISTEMAS DE REGENERAÇÃO E DESEMPENHO DOS HÍBRIDOS

O sistema KERS (Sistema de Recuperação de Energia Cinética), em inglês (Kinetic Energy Recovery Systems) é um sistema de frenagem/travagem usado no mundo do automobilismo, que recupera uma parte da energia cinética gerada pela desaceleração, em vez de toda esta se perder na forma de calor.

O método mais comum de armazenar energia é mediante a eletricidade guardada em baterias ou em super condensadores. Outro é guardar a energia mecânica num sistema de volante de inércia. O termo é dado genericamente aos dispositivos que recolhem a energia cinética gerada na desaceleração do carro que seria desperdiçada e, em seguida, a reutiliza. Ao serem acionados os freios a energia do torque resultante normalmente desperdiçada é transformada em eletricidade e levada a um capacitor, o qual alimenta o sistema propriamente dito, o qual, ligado ao eixo de propulsão do motor, faz com que ganhe potência. (Magneti Marelli, 2015)

Há também o Flybrid que está em desenvolvimento, para ser usado na Fórmula 1 que trará benefícios aos carros. O Flybird é um volante de inércia acoplado a uma transmissão que armazena a energia liberada durante a frenagem do carro pela sua própria rotação. Esta energia que foi guardada no momento da frenagem do veículo é reutilizada quando o piloto acionar um botão. O resultado é um aumento de potência de 81,6 CV, tecnologia muito utilizada na formula 1 do ano de 2009.

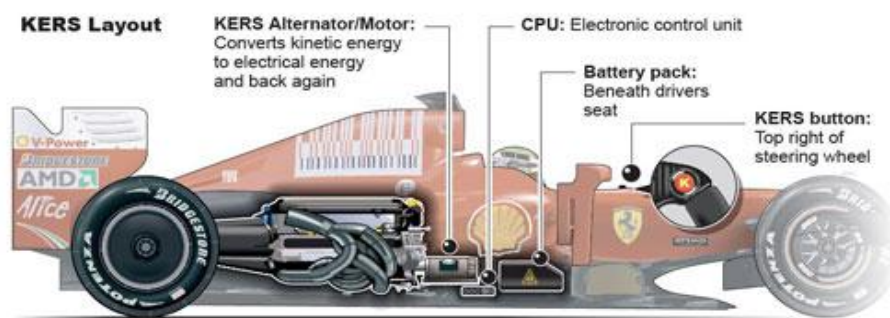


Figura 29: Sistema Kers

Fonte: Wordpress, 2015.

A Magneti Marelli foi quem desenvolveu para algumas equipes da Fórmula 1 o Sistema de Recuperação de Energia Cinética, KERS. Ele consiste em um processo que, sob frenagem, transforma a energia mecânica em energia elétrica que pode ser armazenada em baterias. (Magneti Marelli, 2015).

Caso seja opção do piloto, essa energia pode ser reutilizada em situações específicas, como ultrapassagem, retas ou em outros pontos estratégicos da pista, oferecendo um aumento de potência durante cada volta.

A Magneti Marelli também desenvolveu uma solução elétrica para o KERS. O dispositivo é conectado diretamente a transmissão por meio de um gerador do motor que, acionada pelo mesmo eixo, sob frenagem, converte a energia cinética em energia elétrica, recarregando as baterias de lítio.

Sob aceleração, por outro lado, a energia cinética é fornecida pelas baterias quando o piloto aumenta a potência e, novamente através da unidade de controle eletrônico, ela é transmitida ao gerador do motor, que gira na direção oposta e aplica uma força de aceleração sobre o eixo de acionamento. O gerador do motor pode atingir até 40.000 revoluções por minuto.

Ao desenvolver o KERS, o principal desafio tecnológico enfrentado pela Magneti Marelli foi concentrar em um pequeno espaço um sistema com uma potência extremamente alta. Isso o torna adequado a um ambiente extremo, resistente a temperaturas e vibrações, combinando requisitos e características técnicas conflitantes. Para atingir esses resultados, a excelência que a Magneti Marelli traz em seu DNA foi comprovada, permitindo a otimização geral do dispositivo, além de uma completa de integração entre veículo, o gerador do motor, os sistema eletrônico e as baterias.

Com relação às novas fronteiras na Fórmula 1, em vista das mudanças nas regulamentações que entraram em vigor em 2014, a Magneti Marelli trabalhou no aperfeiçoamento do KERS: a nova versão proporciona um impulso ao motor mediante a combinação da recuperação da energia cinética durante a frenagem com a recuperação da energia derivando dos gases de exaustão. Ambos os processos fornecem potência aos geradores elétricos do motor conectados ao eixo de acionamento.



Figura 30: Sistema Kers - 1
Fonte: Magneti Marelli, 2015.

Segundo a Magneti Marelli a tecnologia e os métodos utilizados no desenvolvimento do sistema KERS são uma fonte de soluções e subprocessos tecnológicos dos sistemas e componentes voltados para os motores híbridos e elétricos (geradores de motor, sistemas de controles eletrônicos, inversores, controle de bateria, etc.).

8. VANTAGENS DOS VEÍCULOS HÍBRIDOS

A vantagem mais óbvia das baterias dos carros elétricos é que elas não produzem a poluição associada com os motores de combustão interna. Porém, elas ainda apresentam custos ambientais. A eletricidade utilizada para recarregar as baterias dos carros elétricos precisa vir de algum lugar, e hoje, grande parte da eletricidade é gerada pela queima de combustíveis fósseis. E é claro que isso gera poluição. Mas como a poluição produzida pelos combustíveis fósseis para recarregar baterias de carros elétricos se compara com a poluição gerada pelos motores de combustão interna?

De acordo com a Electric Vehicle Association do Canadá, ou EVAC, até os carros elétricos recarregados com geradores elétricos movidos a carvão diminuem a emissão de carbono quase que pela metade. Os carros elétricos recarregados com métodos mais limpos de geração de energia elétrica, tais como a hidroenergia e as usinas nucleares, conseguem reduzir as emissões de carbono para menos de 1% daquelas atualmente geradas pelos motores de combustão interna. Então, mesmo na pior das situações, os carros movidos por baterias elétricas são mais limpos do que os movidos à gasolina. O Brasil, por exemplo, possui atualmente 158 usinas hidrelétricas, que produzem um total de 74.438.695 KW (ANEEL 2007), entre elas uma das maiores usinas do mundo a Usina de Itaipu.



Figura 31 : Plug In

Fonte: Auto.howstuffworks,2015

Outra vantagem importante dos motores movidos à bateria sobre os motores movidos à gasolina é o baixo custo do combustível, sendo a eletricidade para os carros

elétricos e a gasolina para os motores de combustão interna. O Departamento de Energia dos EUA calculou que um típico carro elétrico consegue rodar 70 km com um dólar de eletricidade (cerca de 1,4 centavo de dólar por km). Somente uma queda significativa no preço da gasolina faria com que os carros movidos à gasolina chegassem a esse baixo custo por quilômetro.

Outra vantagem das baterias recarregáveis é que elas se reciclam bem. Quase 100% das baterias podem ser recicladas, o que evita que as baterias velhas se transformem num problema de descarte de lixo.

8.1. Desvantagens dos Veículos Híbridos Movidos a Bateria

A grande desvantagem dos carros movidos à bateria, é o tempo necessário para recarregar essas baterias. Com a tecnologia da bateria de íon-lítio, um carro elétrico totalmente recarregado consegue rodar uma distância comparável com a de um motor de combustão interna com o tanque cheio, mas ele ainda precisará ser conectado a um recarregador no fim desse tempo. Hoje, isso significa que um carro elétrico com bateria descarregada estará fora de serviço durante várias horas antes de estar totalmente recarregado. Naturalmente, essa é uma grande desvantagem.

No futuro, tecnologias de recarga mais rápida poderão ser disponibilizadas, mas em curto prazo, os carros elétricos não serão os veículos ideais para viagens longas. Ainda assim, grande parte das atividades com o carro é feita relativamente perto de casa e por esse motivo, a bateria servirá tão bem quanto à gasolina. Uma possível solução para o problema de recarga pode ser as estações de troca de baterias; nelas, em vez de recarregar o seu carro elétrico, você poderá simplesmente trocar a sua bateria descarregada por uma nova totalmente carregada. Esse sistema permitiria que as baterias fossem recarregadas fora dos veículos e reduziria bastante a quantidade de tempo necessária para ter um carro elétrico pronto para rodar novamente depois que a bateria se descarregasse totalmente.

Outra desvantagem das baterias dos carros elétricos é o peso delas. Por terem de fazer mais do que as baterias comuns, as baterias dos carros elétricos devem estar conectadas em estruturas, ou pacotes de bateria, para fornecerem energia extra. Tais conjuntos de baterias são pesados. O pacote de bateria de íon-lítio de um Tesla Roadster (em inglês) pesa cerca de 450 kg. É muito peso para carregar, e ele pode reduzir muito a autonomia do carro. Porém, os desenvolvedores do Roadster

compensaram esse peso da bateria com estruturas e painéis leves. O carro inteiro pesa 1.220 kg. Não é tão pesado se você considerar que mais de um terço desse peso é só da bateria.

Como questão ambiental, o descarte especial das baterias dos VE's deve ser considerado um fator impactante ao meio ambiente. Fato, que a empresa fabricante das baterias, terá que desenvolver tecnologias de absorção desses resíduos e destino final as baterias fora de uso.

9. PERSPECTIVA DE CRESCIMENTO DOS HÍBRIDOS ELÉTRICOS NO BRASIL

Com o planeta em marcha para um provável cenário de mudanças climáticas, diversas soluções são discutidas para tornar o planeta mais sustentável. Uma delas é a criação do veículo elétrico, como forma a utilizar menos o combustível baseado em fontes fósseis (origem da gasolina e do diesel) e usar mais outros tipos de combustíveis que não agredem o meio ambiente. Alguns institutos de pesquisas e empresas estatais do setor elétrico há algum tempo tem levado adiante estudos sobre este tipo de tecnologia.

Como ficará a demanda por energia elétrica em um cenário de possível desenvolvimento do veículo elétrico?

Respostas necessárias antes que a tecnologia se desenvolva e mais carros elétricos plug in tomem mais espaço.

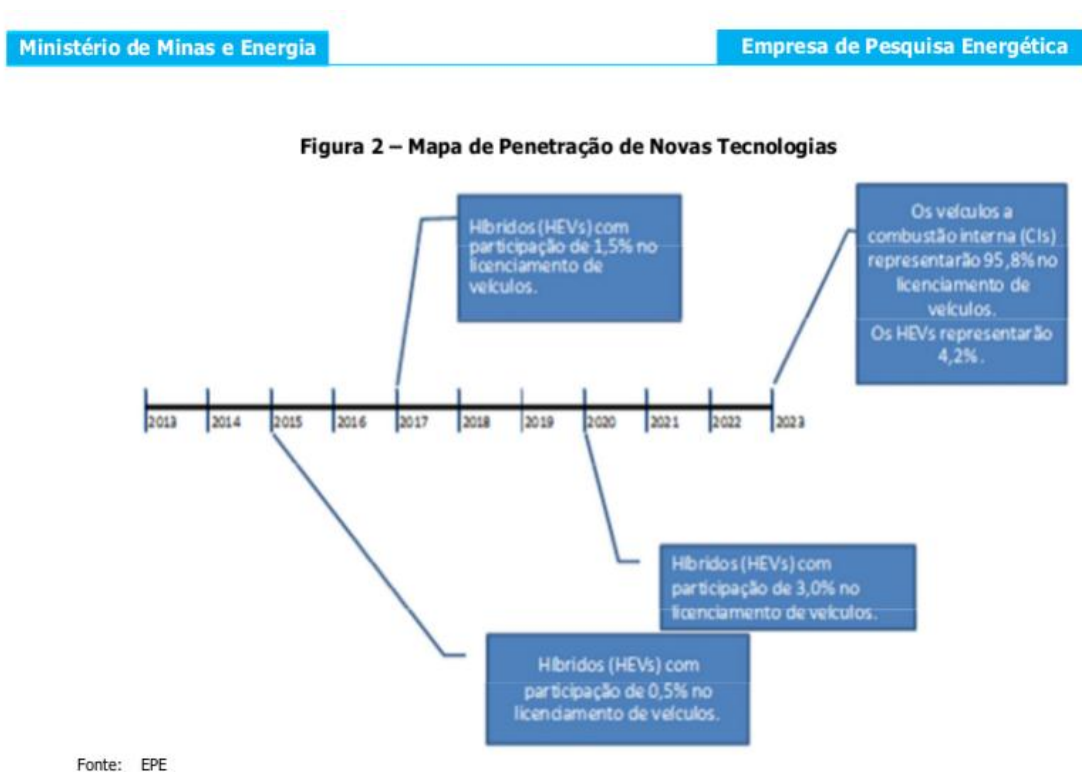


Figura 32: Mapa de Penetração de Novas Tecnologias
Fonte: EPE, 2015.

Atualmente, empresas como a Light e a Copel, além da Itaipu Binacional investem em pesquisas com veículos elétricos. A empresa carioca Light fez uma parceria com a Kasinski, que tem uma unidade de produção de motocicletas e bicicletas elétricas em Sapucaia (RJ), enquanto a Copel realizou um projeto piloto com um táxi

elétrico para servir aos passageiros que chegam ao Aeroporto de São José dos Pinhais, na Região Metropolitana de Curitiba. Agora, a Copel estuda outras abordagens em maior escala. Já a hidrelétrica binacional mantém um projeto em parceria com a Kraftwerke Oberhasli, que controla hidrelétricas da Suíça, além da Fiat, Lactec, entre outros.

Uma pesquisa conduzida pela consultoria KPMG, aponta que um contingente entre 9 milhões e 14 milhões de veículos elétricos estarão em circulação no mundo até 2026. Mas a sondagem, realizada com 200 executivos do mercado automotivo mundial entre agosto e outubro do ano passado, aponta que a maior parte dos entrevistados, cerca de 65%, mostra que hoje em dia a melhor solução é o veículo híbrido. Na China e no Japão, 33% e 46% dos entrevistados, respectivamente, acreditam que carros elétricos serão populares até 2025.

Segundo a empresa Coppe/UFRJ, existem oportunidades no Brasil em melhores condições para o veículo elétrico do que em outros países, já que possui oportunidades de geração que podem ser usadas para o transporte.

Países da Europa, América do Norte e o Japão existem estímulos econômicos com bônus para a compra dos veículos, seja puramente elétricos ou híbridos. “Economicamente o brasileiro ainda não enxerga vantagens na aquisição de um veículo deste tipo, elétrico ou híbrido, principalmente porque os fabricantes não disponibilizam modelos com preços acessíveis”, avalia.

Já a Associação Brasileira do Veículo Elétrico tem um estudo no qual aponta que, desde o fim do século XX, o veículo elétrico tem apresentado um avanço considerado significativo pela entidade. Em 2010, representou 11% das vendas de automóveis no Japão e nos Estados Unidos, chegou perto de 3%. “Hoje temos alguns veículos elétricos sendo vendidos no mercado. Em São Paulo há cerca de 40 ônibus rodando, principalmente em São Bernardo”, híbridos.

Embora tenha um potencial a ser explorado o desenvolvimento dos veículos elétricos ainda esbarra em uma grande dificuldade: as baterias.

Para a ABVE, a perspectiva é que durante esta década, o veículo híbrido ainda domine o setor. Depois, quem deverá ter uma participação importante, é o híbrido plug-in – aqueles cujas baterias podem ser recarregadas diretamente na rede elétrica. “É uma autonomia substancialmente menor do que um carro convencional. Então, nossa expectativa é de que inicialmente, o que vai realmente ocupar uma parte visível durante esta década será o carro híbrido. Em seguida, o híbrido plug-in”, aposta.

A ABVE diz que rodar com energia elétrica é mais barato do que andar com carro a movido a gasolina, principalmente quem se desloca da residência ao trabalho. Pelos cálculos do presidente da entidade, o custo com energia elétrica chega a, no máximo, 30% do que seria gasto com abastecimento com o combustível derivado do petróleo ou em comparação com o etanol. “Mais tarde, com o desenvolvimento das baterias, certamente o carro puramente movido à energia elétrica vai predominar”, aposta.

Tabela 2: Previsão de Venda de Carros Elétricos 2020 - 2030

PREVISÃO VENDA DE CARROS ELÉTRICOS 2020-2030 – PARTICIPAÇÃO NO MERCADO				
Ano	Elétricos	Híbridos	Híbridos plug-in	Elétricos de baterias
2020	25%	12%	10%	3%
2025	48%	18%	20%	10%
2030	62%	12%	32%	18%

Fonte: ABVE

Fonte: ABVE, 2015.

A autonomia da bateria está em torno de 120 km, o que representa algo em torno de duas horas de viagem, ininterrupta. Ele aponta que, enquanto a bateria não se tornar viável para percorrer grandes distâncias, o veículo elétrico deve ser aplicado para utilização urbana, já que teria uma autonomia necessária para o proprietário se deslocar nos ambientes das cidades, sempre reabastecendo o carro com energia elétrica onde ele estiver estacionado.

O veículo elétrico poderia ter um benefício maior ao país se fosse aplicado inicialmente em veículos coletivos, que são responsáveis por uma grande parte de emissão de gases poluentes na atmosfera.

Além da questão da bateria, o desenvolvimento do veículo elétrico esbarra em obstáculo importante: O preço. A China está alocando recursos de forma pesada com o objetivo de se tornar exportador desse veículo elétrico.

O veículo elétrico ainda deverá demorar a se desenvolver no Brasil que, além do governo ter uma aposta maior no etanol, não existe sinalização de que os automóveis movidos à energia elétrica tenham incentivos de impostos para fabricação ou importação destes veículos. O governo aposta no etanol como principal alternativa de combustível limpo no país e, além disso, os fabricantes não veem o veículo elétrico como uma opção a se considerar como carro movido a energia limpa.

Para o incentivo, deve-se criar uma legislação dedicada a auxiliar no desenvolvimento dos veículos híbridos. Países têm feitos leis, incentivos, isenções fiscais. Isso varia de um país para outro. Há outros cobrando uma taxa para veículos a combustão entrar no centro da cidade, então só os veículos elétricos e as bicicletas não pagam. Tem uma série de ações governamentais que está estimulando de alguma forma o surgimento desse novo mercado.

Atualmente os veículos elétricos no Brasil são muito caro, limitado a uma minoria da população. Não fossem os impostos, diz o analista da Copel, o custo do veículo elétrico cairia para 40% do valor atual. “Os governos americano e da Europa estão concedendo incentivos. Em Portugal está muito avançada agora, no Brasil, a política do governo federal não incentiva o uso do carro elétrico. Os impostos são muito elevados, ele entra em uma classificação fiscal que torna quase que proibitiva a entrada destes carros. O valor dele chegaria a quase R\$ 300 mil por causa dos impostos”, diz.

A ABVE lembra que uma das barreiras fiscais que mais dificultam é a questão do imposto de importação. Ele observa que existem dificuldades para que o país possa fabricar o carro elétrico de forma integral.

O governo brasileiro poderia adotar estímulos para a produção e consumo abrindo mão de uma parcela de impostos. Diz também que nos Estados Unidos e Japão há incentivos governamentais. “O Brasil ainda está nos primeiros passos experimentais da tecnologia”.

O mercado está restrito ao segmento de luxo. “O restante do mundo está desenvolvendo a tecnologia e consumindo veículos híbridos especialmente nos EUA e Japão com estímulo dos governos”, ressalta.

O veículo elétrico precisa ter o suporte dos locais de reabastecimento. Para ele, fica mais fácil quando o proprietário mora em casa, mas as dificuldades aumentam para quem vive em apartamentos. “O sucesso do carro a bateria não depende só de preço”. Exige uma rede de abastecimento. Para quem mora em prédio, precisa adaptar as garagens para as tomadas. A mesma coisa para estacionamentos.

A empresa Copel, lembra também que o desenvolvimento do veículo elétrico não pode ser feito sem as distribuidoras de energia.

“Tudo isso envolve a disponibilização de uma infraestrutura para abastecimento do carro elétrico e isso, as distribuidoras de energia elétrica têm de fazer”. Então, são duas coisas que têm de acontecer junto: a introdução do carro elétrico e logística de abastecimento.

Tabela 3: Veículos Leves e Mercado de Energia

VEÍCULOS LEVES E MERCADO DE ENERGIA		
Ano	Redução combustíveis	Aumento consumo elétrico
2020	4%	0,30%
2025	11%	1,10%
2030	24%	2,50%

Fonte: ABVE

Fonte: ABVE, 2015.

A tabela acima demonstra projeção entre a redução de combustíveis fósseis e o consumo de energia elétrica a capacidade instalada no Brasil ano de 2015.

Há um ponto importante que precisa ser observado com o desenvolvimento do veículo elétrico: a demanda de energia. Estudo do escritório de consultoria Andrade & Canellas, aponta que os veículos elétricos exigiriam uma demanda adicional de 190.108 GWh por ano ao parque gerador brasileiro. Isso significa que o Brasil precisaria construir o equivalente a cinco hidrelétricas de Belo Monte ou três UHEs do porte de Itaipu para conseguir dar conta dessa demanda. Segundo o estudo da Andrade & Canellas, os veículos elétricos realmente ajudariam a reduzir o consumo de combustíveis para um patamar de 16 milhões de toneladas equivalentes de petróleo ao ano, porém uma carga maior de energia elétrica.

Celso Novais, da Itaipu, ressalta que a hidrelétrica realiza um trabalho sobre os impactos dos veículos elétricos no consumo. Ele acredita, entretanto, que esses efeitos podem ser pequenos do ponto de vista energético, uma vez que os veículos elétricos são mais eficientes do que os carros a combustão. Ele diz que, em um cenário onde 100% da frota de novos veículos brasileiros fossem elétricos, isso representaria um acréscimo de até 3,5% a mais na demanda por energia elétrica brasileira. “Se observar a expectativa dos países mais otimistas do mundo, que considera 10% da frota elétrica, é alguma coisa em torno de 0,3% ao ano”, sublinha.

O gerente do Lactec, Carlos Purim, diz que se houver uma demanda significativa pelo veículo elétrico com um grande impacto na rede, já que acaba sendo mais um fator de consumo. Ele cita que, para isso, é necessária a criação de uma política que não torne a situação do consumo no horário de pico – que já apresenta algumas complicações – se torne ainda pior. “Se a pessoa chegar em casa às 18h, e já ligar o veículo elétrico, justamente irá piorar esta situação de disponibilidade de energia elétrica no sistema.

Então teria de ter algum tipo de recarregadores inteligentes que possam disponibilizar[energia] para o veículo apenas nos horários que tivesse maior disponibilidade de energia elétrica”, diz.

Tabela 4: Frota de Veículos Leves em Milhões

FROTA DE VEÍCULOS LEVES EM MILHÕES				
Ano	Convencionais	Elétricos híbridos	Híbridos plug-in	Elétricos de baterias
2020	34	1,5	1,1	0,3
2025	34	4,2	3,9	1,5
2030	31	6	8,8	4,3

Fonte: ABVE

Fonte: ABVE, 2015.

Já o analista da Copel, Otto Doetzer, informou que a companhia paranaense irá conduzir estudos que incluem os impactos do carro no consumo de energia. Mas diz que o carro elétrico tem uma característica que pode ser bem aproveitada. Ele diz que, em determinadas situações, a bateria do carro poderia também suprir energia ao sistema, conforme estudos de smart grid que são feitos no exterior. “Qualquer problema que aconteça com a rede, em vez de estar abastecendo a bateria com energia, poderia fazer o contrário. Abastecer a rede com energia que há armazenada na bateria do carro elétrico. Isso está sendo muito estudado mundo afora. Não estou dizendo que vai acontecer daqui a pouco, mas é um potencial muito importante que esses carros oferecem”, disse Doetzer. Pugnaroni, da Enercons, avalia que, como o crescimento do segmento ainda é baixo, o aumento da demanda deve ocorrer a médio prazo. “Haveria uma demanda maior de potência que poderia ser deslocada para horários noturnos, preferencialmente para a madrugada, período em que a demanda normal cai muito”, completa. Doetzer ressaltou que a adoção da tarifa branca, aprovada pela Agência Nacional de Energia Elétrica no ano passado, abre-se essa possibilidade do consumidor poder abastecer o carro elétrico durante a madrugada, quando há ociosidade no sistema. “Considerando que o custo será muito mais barato, teoricamente teria sistema disponível para fazer o abastecimento desses veículos”.

10. PROJETO: UTILIZAÇÃO DE ÔNIBUS MOVIDO A CÉLULAS DE ENERGIA DE HIDROGÊNIO E ENERGIA SOLAR

Referenciando-se nos prós e contra de todas as tecnologias de híbridos mencionadas nesse trabalho, vamos propor a utilização de um conceito de híbrido movido a (Células de Energia de Hidrogênio x Energia Solar), cujo são às fontes de energia mais abundantes do globo terrestre.

10.1. Célula de Combustível para os Híbridos

As células a combustível (CaC's) são reconhecidas como uma das tecnologias mais promissoras para atender os requisitos da futura geração de energia. Entretanto o preço ainda elevado desse equipamento é um dos principais obstáculos da comercialização dos veículos baseados nessa tecnologia. Porém existem duas possibilidades para a redução do custo da célula a combustível. A primeira seria o aumento dos investimentos de produção e incentivos em pesquisas e desenvolvimento. A outra maneira de redução de custo é reduzir o valor da potencia da CaC com dispositivos de armazenamento de energia.

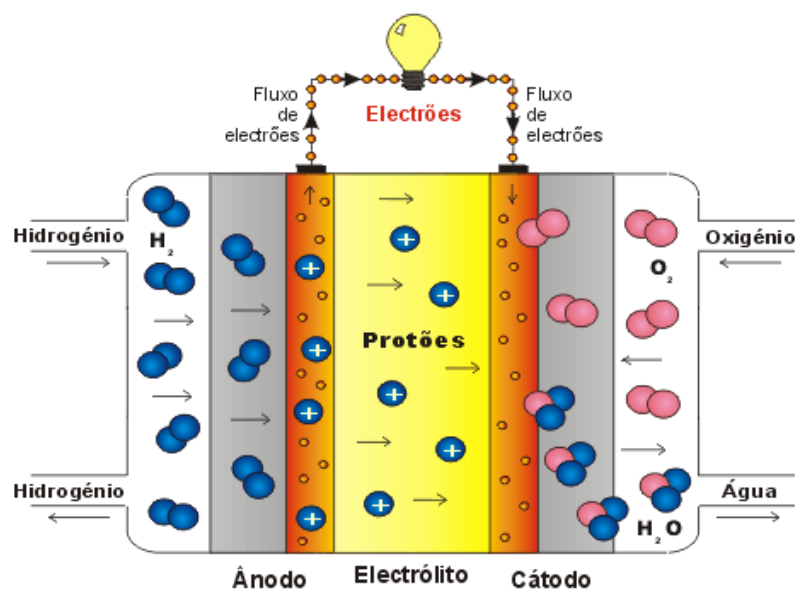


Figura 33: Esquema de Célula de Combustível

Fonte: Planetaclix, 2014

Sistemas de armazenamento podem ser utilizados para auxiliar a CaC ao fornecimento de energia necessária para o desempenho do veículo. Assim quando o

automóvel necessitar de uma alta potência, o dispositivo de armazenamento pode auxiliar a célula a combustível. Hoje em dia os principais tipos de dispositivos de armazenamento são as baterias e super-capacitores. A célula a combustível, banco de baterias e banco de super-capacitores são geralmente utilizados como fontes de energia limpa.

As células a combustível tem uma baixa eficiência em uma demanda de pequena carga, lenta dinâmica de transferência de energia em situações transitórias e um alto custo por watt. Neste caso é a razão pela qual as CaC's não são usadas isoladamente nos veículos elétricos para satisfazer as exigências de carga, especificamente durante os eventos de arranque e transitório. Em sistemas elétricos embarcados, o controle da tensão do barramento contínuo pode ser complicado, pois as cargas elétricas envolvidas nesse contexto podem absorver ou fornecer um nível elevado de energia em um pequeno espaço de tempo que pode ser caracterizada como uma aceleração ou frenagem de um motor elétrico.

As células a combustíveis existem há muito tempo. As primeiras experiências foram feitas por William Robert Grove em 1838, mas a sua viabilização e real desenvolvimento foram promovidos em 1960 pela Agência Espacial Norte-americana. A NASA necessitava de uma forma de fornecer energia as naves espaciais tripuladas. As células a combustível foram a solução encontrada, pois eram mais seguras que a energia nuclear, mais baratas que a energia solar e mais leves que as baterias. A tecnologia das células a combustível (CaC) ou pilhas a combustível é baseada na transformação de energia química em energia elétrica, utilizando o hidrogênio e o oxigênio como combustível. Obtém-se como produto da reação, eletricidade e vapor d'água. Uma CaC funciona como uma bateria, se continuamente e devidamente alimentada, ou seja, enquanto houver combustível, ela permanece operando.

Os benefícios da utilização desta tecnologia são os mais variados, dentre eles podem-se destacar sua alta eficiência e a não emissão de poluentes quando se utilizam o hidrogênio puro. A diminuição dos custos de energia, aumento da eficácia dos equipamentos, preocupação com o meio ambiente e a diminuição da dependência de combustíveis fósseis tem incentivado a pesquisa e desenvolvimento das células a combustível em todo o mundo, caracterizando essa tecnologia como uma fonte de energia alternativa.

Fonte de energia abundante, o hidrogênio e o elemento mais comum do universo que pode ser obtido por diversas fontes de energia renováveis, mas também a partir de

combustíveis fósseis, porém com um impacto ambiental inferior. O Brasil poderá usufruir de uma posição privilegiada na produção desse novo e promissor vetor energético, pois a obtenção do hidrogênio pode ser feita pelas inúmeras reservas de gás natural, das hidroelétricas, energia fotovoltaica graças à radiação solar em abundância e do agronegócio de cana-de-açúcar que é bem desenvolvido.

As células a combustíveis são mais eficientes para a obtenção de energia do que a queima de combustíveis fósseis. Atualmente, muitas têm uma eficiência de até 60% e, com algumas adaptações tecnológicas, poderiam se aproximar de 100%. Para fins de comparação, as turbinas a gás tem uma eficiência de cerca de 40-50%, e motores de combustão interna, de 10-20%. A energia proveniente do hidrogênio tem um mercado promissor.

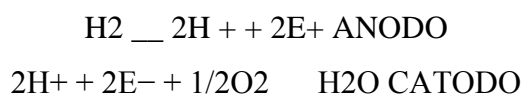
A célula a hidrogênio oferece uma solução para a geração de energia no próprio local de consumo, desde uma indústria, residência, centros comerciais, além de sua utilização em automóveis, aviões, motos, ônibus e equipamentos portáteis, tais como o telefone celular e os laptops.

O princípio de funcionamento das células a combustíveis dá-se por um dispositivo de conversão de energia que converte diretamente a energia química em energia elétrica sem a necessidade de nenhum processo térmico ou mecânico. A reação química é uma oxirredução eletroquímica. A reação é feita entre o hidrogênio e o oxigênio para produzir eletricidade, água e calor.

A reação global é apresentada a seguir:



Essa reação é realizada nas estruturas essenciais da pilha combustível, que são os dois eletrodos (o catodo e o anodo), que serão os condutores dos elétrons, separados por uma membrana eletrolítica sólida que será o condutor dos prótons. De forma mais precisa, as reações em seguida acontecem nos dois eletrodos.



A reação de oxidação do hidrogênio (anodo) e a redução do oxigênio (catodo) é feita na interface Membrana Eletrolítica/Eletrodo com a presença da platina como um

catalisador. Algumas células podem ter a membrana eletrolítica líquida ou sólida, podem funcionar em alta ou em baixa temperatura e podem operar de forma reversível. As CaC's que operam em baixa temperatura exigem catalisadores de metais nobre, tipicamente a platina. Em princípios uma célula de combustível pode funcionar com diferentes tipos de combustível e oxidante.

Porém, o hidrogênio apresenta uma maior eficiência por ser um reagente mais ativo que os demais combustíveis, tais como hidrocarbonetos ou álcool. O oxigênio é o melhor oxidante por ser altamente reativo e existir em abundância.

Tipos de Células a Combustível As diferenças entre os tipos de célula a combustível são caracterizadas pelas diferentes membranas utilizadas. A temperatura de funcionamento.

Na prática, os sistemas de funcionamento são mais simples em baixa temperatura. Os principais tipos de células são citados a seguir:

- i. Célula Alkalina AFC (Alkaline fuel cell)
- ii. Célula de membrana de trocas de prótons PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell)
- iii. Célula a metanol direto DMFC (Direct Methanol Fuel Cell)
- iv. Célula a carbonato fundido MCFC (Molten Carvionate Fuel Cell)
- v. Célula a óxido sólido SOFC (Solid Oxid Fuel Cell)

Dentre os tipos citados a célula PEMCF se destaca por funcionar em baixa temperatura (70°C a 100°C) e, portanto, mais simples. Ela chamou a atenção industrial em diferentes setores onde suas propriedades favorecem as aplicações em portáteis, transporte automotivo, cogeração de baixa potência. No transporte automotivo, a PEMFC apresenta a vantagem de não emitir nenhum poluente no veículo. A tensão teórica sem carga de uma célula a combustível ideal é de 1,23V. Já em sistema real, a tensão medida em circuito aberto é da ordem de 1V. A tensão da CaC com carga é de 0,5V a 0,7V. Portanto para atingir uma tensão mais elevada é necessário colocar em série várias células e em forma banco (stack). Normalmente utiliza-se de 100 à 120 células fornecendo uma tensão de saída entre 60 a 80V. A corrente fornecida é diretamente proporcional à superfície das células que é de 0,5 A.cm².

Como característica da célula de combustível, a tensão de saída VC de uma célula a combustível é descrita pela equação que possui quatro termos que podem ser caracterizados como: tensão de circuito aberto (E), tensão de ativação (Vativ), tensão ohmica (Vohm) e por último a tensão de concentração (Vconc).

$$VC = E = VATIV = VOHMS = VCONC$$

As perdas por ativação são devidas ao início das reações químicas existentes nos eletrodos. Uma energia é usada para quebrar e construir as ligações químicas nos eletrodos da célula a combustível.

As perdas ohmicas são relacionadas às resistências dos eletrodos, para a passagem dos elétrons, e das membranas protônicas, a passagem dos prótons. A equação abaixo relaciona as perdas ohmicas. R_m é a resistência total da CaC.

$$VOHMS = R_m * (I_{FC} + I_N)$$

A consumação dos gases empobrece as misturas gasosas e diminui a pressão parcial do gás. Esta redução de pressão é devida a corrente demandada pela carga e da característica do circuito de gás. A equação 3.7 representa as perdas por concentração. A queda de tensão é dada em função de uma corrente limite (i_L), no qual todo o combustível seria utilizado (Pressão dos gases igual a zero). A constante B é a constante de transferência de massa que depende do ponto de funcionamento da célula.

$$VCONC = B * \ln(1 * I_{FC} + I_N / I_L)$$

Vários modelos podem ser desenvolvidos para estudar o funcionamento de uma pilha a combustível.

10.2. Descrições do Projeto (Energia Solar x Célula de Combustível)

Baseando-se em todos os conceitos de veículos híbridos, a tecnologia (Energia Solar x Célula de Combustível) seria o ideal para aplicação de transporte público.

Nos Estados Unidos já existe uma casa totalmente abastecida por energia solar e hidrogênio.

O projeto consiste em transferir esse mesmo conceito, para estruturas automotivas onde o chassi / teto seria formado por um sistema que conta com painéis solares, e células de combustível a hidrogênio, em mine tanques de armazenamento e

uma unidade para a eletrólise da água conhecida como electrolyzer. O sistema converte eletricidade gerada por fontes renováveis em hidrogênio.

Em dias de sol, painéis solares instalados no teto gerariam mais eletricidade para abastecer a bateria. O excesso é utilizado para a eletrólise onde as moléculas de água são quebradas em seus átomos oxigênio e hidrogênio.

Com esse sistema, conseguiria energia suficiente para as funções Elétricas / Hidrogênio e o combustível seria apenas água.

Após a eletrólise, o oxigênio é liberado para a atmosfera enquanto que o hidrogênio é armazenado em tanques. No inverno quando os painéis solares coletam menos energia do que a casa necessita, o hidrogênio armazenado é encaminhado para uma célula de combustível do tamanho de um aparelho de ar condicionado para a geração de eletricidade.

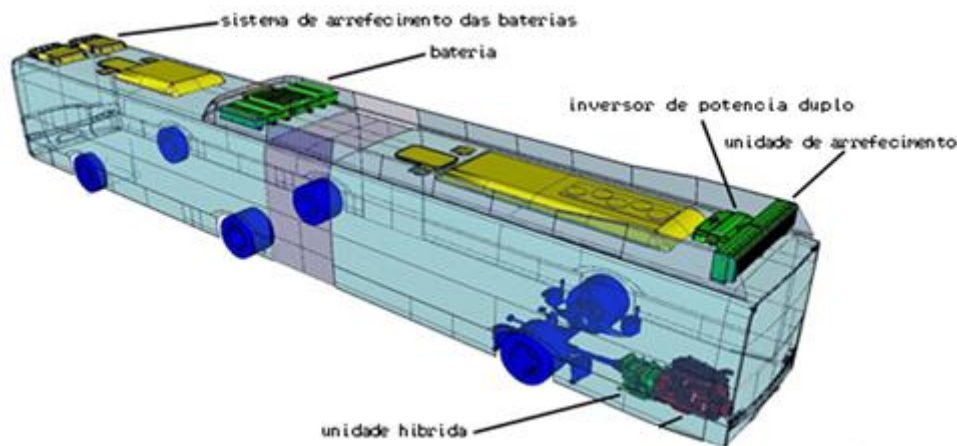


Figura 34: Esquema de Ônibus Híbrido
Fonte: Astroman, 2015.

CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

A poluição gerada nas cidades são resultado, principalmente, da queima de combustíveis fósseis . A queima destes produtos tem lançado uma grande quantidade de monóxido e dióxido de carbono na atmosfera. O petróleo é responsável pela geração de energia que alimenta os setores industriais, elétrico e de transportes de grande parte das economias do mundo. Por isso, não utilizá-los atualmente é extremamente difícil. Esta poluição tem gerado diversos problemas nos grandes centros urbanos. A saúde do ser humano, por exemplo, é a mais afetada com a poluição. Doenças respiratórias como a bronquite, rinite alérgica, alergias e asma levam milhares de pessoas aos hospitais todos os anos. A poluição também tem prejudicado os ecossistemas. O clima também é afetado pela poluição do ar. O fenômeno do efeito estufa está aumentando a temperatura em nosso planeta. Ele ocorre da seguinte forma: os gases poluentes formam uma camada de poluição na atmosfera, bloqueando a dissipação do calor. Desta forma, o calor fica concentrado na atmosfera, provocando mudanças climáticas. Futuramente, pesquisadores afirmam que poderemos ter a elevação do nível de água dos oceanos, provocando o alagamento de ilhas e cidades litorâneas. Muitas espécies animais poderão ser extintas e tufões e maremotos poderão ocorrer com mais frequência.

Os veículos híbridos podem ser usados como uma alternativa para substituição gradativa dos derivados de petróleo e assim amenizar seus impactos ambientais. Essa é a proposta desse trabalho.

Os híbridos são considerados carros do futuro, capazes de economizar combustível e, ao mesmo tempo, produzir baixos níveis de gases tóxicos. Por causa destes benefícios, os carros híbridos estão crescendo em popularidade a cada dia. Muitas pessoas estão considerando vender seus carros convencionais e comprar um carro híbrido, para ajudar na redução de custos de consumo de combustível.

Os proprietários de carros híbridos praticamente não sentem o custo crescente dos preços dos combustíveis. Esta é a principal vantagem do carro híbrido. Dessa forma o conceito híbridos torna-se uma viagem sem volta e o país que pesquisar essa tecnologia, terá um diferencial para crescimento econômico.

Fontes como a ABVE mostra que para redução de 24 % do consumo de combustível fósseis até 2030 no Brasil, apenas 2 % de energia elétrica seria acrescida a demanda atual, sendo assim totalmente viável o investimento nessa tecnologia.

O Brasil é um país com alto potencial hidrelétrico, unindo-se com a Bolívia país vizinho dotado de reservas de lítio, poderiam se beneficiar com projetos no seguimento de híbridos elétricos e assim gerando novas tecnologias para o transporte dos centros urbanos.

Outra conceito de híbridos são os movidos a hidrogênio e energia solar, que teria um vasto campo de desenvolvimento a ser explorado . A utilização da eletrólise de água e radiação solar, seria uma combinação inovadora as energias renováveis do mundo.

Gerar energia limpa e renovável, esse é um quesito fundamental para o desenvolvimento e qualidade de vida dos grandes centros urbanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARAN, Renato. **A INTRODUÇÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO BRASIL: AVALIAÇÃO DO IMPACTO NO CONSUMO DE GASOLINA E ELETRICIDADE**. Universidade do Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CB8QFjABahUKEwjYwLyZqJPGAhXKl4AKHQU3AA4&url=http%3A%2F%2Fwww.ppe.ufrj.br%2Fppe%2Fproduction%2Ftesis%2Fbaran.pdf&ei=pJ1_VdjeHcqvggSF7oBw&usg=AFQjCNEk4iZTh3pJmLMaopdaitN0hMYe2Q&sig2=dFhVBhmlBXfz3VmZmvQUYQ&bvm=bv.96041959,d.eXY> Acesso em 14 de junho de 2015.

BP. **BP Statistical Review of World Energy June 2011**. Disponível em: <<http://www.bp.com/statisticalreview>> Acesso em 17 de junho de 2015.

Cowan, R. “**NUCLEAR POWER REACTORS: A STUDY IN TECHNOLOGICAL LOCK-IN**”. The Journal of Economic History. V. 50 n. 3, pp. 541-567, 1990.

Cowan, R., Hultén, S. “**ESCAPING LOCK-IN: THE CASE OF ELECTRIC VEHICLE**”. Technological Forecasting and Social Change. V.50, pp. 61-79, 1996.

DARGAY, J., GATELY, D., SOMMER, M. “**VEHICLE OWNERSHIP AND INCOME GROWTH, WORLDWIDE: 1960-2030**”. Energy Journal, v. 28 n.4, pp 143-170, 2007.

AFICIONADO SALA MECÂNICA. **HÍBRIDOS PRIUS**. Disponível em: <<http://www.aficionadosalamecanica.net/hibridos-prius.htm>> Acesso em: 15 de maio de 2015.

NOTÍCIAS AUTOMOTIVAS

<http://www.noticiasautomotivas.com.br/images/img/f/atkinson-patente->

Célula de Combustível. Disponível em: <http://celulasdecombustivel.planetaclix.pt/images/celula.gif> - Acesso em: 17 de maio de 2015.

FONTARAS, G., PISTYHOPOULOS, P., SAMARAS, Z. **“EXPERIMENTAL EVALUATION OF HYBRID VEHICLE FUEL ECONOMY AND POLLUTANT EMISSIONS OVER REAL-WORLD SIMULATION DRIVING CYCLES”**. Atmospheric Environment, v. 42, pp. 4023–4035, 2008.

FUHS, Allen E. **HYBRID VEHICLES AND THE FUTURE OF PERSONAL TRANSPORTATION**. 2008.

Globo. **Hibribus**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2012/09/onibus-que-poluem-90-menos-comecam-circular-em-curitiba.html>> Acesso em: 17 de maio de 2015.

IEA. **Key World Energy Statistics**, International Energy Agency, Paris, França, 2011.

IMBASCIATI, Henrique. **Estudo descritivo dos sistemas, subsistemas e componentes de veículos elétricos e híbridos**. Instituto Mauá de Tecnologia, 2012. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CCsQFjACahUKEwi4hNOpl5LGAhUD94AKHQMOAAU&url=http%3A%2F%2Fwww.maua.br%2Farquivos%2Fmonografia%2Fh%2F0f196e2cb1a4b4c9b157ae20006b75c1&ei=uwV_Vfi6EIPugwSDnIAo&usg=AFQjCNH5rUOsWxrLNuxcUnV5NcG8u7xSaw&sig2=V7nsQUzPz5uki_Rh9NjG6A&bvm=bv.95515949,d.eXY> Acesso em: 14 de junho de 2015.

MACLEAN, H. L., LAVE, L. B., **“EVALUATING AUTOMOBILE FUEL/PROPULSION SYSTEM TECHNOLOGIES”**, Progress in Energy and Combustion Science, Volume 29, pp. 1-69, 2003.

MPCA, 2007, Air Emissions Impacts of Plug-In Hybrid Vehicles in Minnesota's Passenger Fleet, Minnesota Pollution Control Agency.

Magneti Marelli. **KERS (SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE ENERGIA CINÉTICA)**. Disponível em: <<http://www.magnetimarelli.com/pt/node/4979>> Acesso em: 16 de junho de 2015.

QUATRO RODAS. Veículo Volt. Outubro, 2011.

SOVACOOOL, B. K. e HIRSH, R. F., “**BEYOND BATTERIES: AN EXAMINATION OF THE BENEFITS AND BARRIES TO PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLES (PHEVs) AND A VEHICLE-TO-GRID (V2G) TRANSITION**”, Energy Policy v. 37 n. 3, pp. 1093-1103, 2008.

Techtudo. **McLaren Lança Carro com Motorização Híbrida**. Disponível em: <<http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2013/03/mclaren-lanca-seu-novo-carro-de-rua-com-motorizacao-hibrida.html>> Acesso em: 21 de maio de 2015.

UOL. **Carro elétrico**. Disponível em: <<http://carros.hsw.uol.com.br/bateria-carro-eletrico3.htm>> Acesso em: 18 de maio de 2015.

WBSCD. **MOBILITY 2030: MEETING THE CHALLENGES TO SUSTAINABILITY**. World BusinessCounsel for Economic Development, Geneva, Suíça, 2004.

Wikipédia. **Frenagem Regenerativa**. Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Frenagem_regenerativa> Acesso em: 19 de maio de 2015.

Wikipédia. **História do automóvel**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Hist%C3%B3ria_do_autom%C3%B3vel>. Acesso em: 14 de junho de 2015.

SITE TOYOTA BRASIL – [http://](http://www.toyota.com.br) Acesso em: 18 de maio de 2015

SITE ASTROMAN - Acesso em: 18 de maio de 2015<http://www.astroman.com.pl>

SITE AUTO HOWSTUFFWORKS Acesso em: 18 de maio de 2015-
<http://Auto.howstuffworks.com>

SITE SIDDIQ Acesso em: 18 de maio de 2015- <http://www.siddiq.com.np/>