

VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS E A EMISSÃO DE POLUENTES

José Roberto Moreira¹, Suani Teixeira Coelho¹, Sílvia M. S. G. Velázquez^{1,2}, Sandra Maria Apolinário¹, Euler Hoffmann Melo^{1,2} e Paulo Henrique B. Elmadjian^{1,2}

¹ Universidade de São Paulo – IEE/CENBIO

² Universidade Presbiteriana Mackenzie

E-mails: cenbio@iee.usp.br, suani@iee.usp.br, silvia@iee.usp.br, sandra@iee.usp.br,
euler@iee.usp.br, pauloh@iee.usp.br

RESUMO

O Projeto BEST – BioEtanol para o Transporte Sustentável é uma iniciativa da União Européia, coordenada pela Prefeitura de Estocolmo, cujo objetivo é incentivar o uso do etanol, em substituição à gasolina e ao diesel, no transporte público e urbano no Brasil e no mundo. Além de São Paulo, outras sete cidades no mundo participam do BEST e o CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa desenvolve duas metas. Uma delas é avaliar o uso da gasolina brasileira, com teor de 20% até 25% (em volume) de etanol, no veículo elétrico híbrido Prius, da marca Toyota. Para os testes, dois veículos foram cedidos pela Toyota e um terceiro veículo foi cedido pela Petrobras. O combustível e os condutores foram cedidos pela BR Distribuidora. Tais veículos possuem um motor a combustão interna e outro elétrico e fazem o autogerenciamento da energia, ora utilizando o motor de combustão interna, ora utilizando a energia regenerada nos freios, a partir do motor elétrico e acumulada em um banco de baterias. Os veículos utilizados nos testes são monitorados e avaliados para demonstrar a redução das emissões provocadas pela utilização desta tecnologia, que levará à formulação de políticas públicas de incentivo à substituição da gasolina pelo etanol e às novas tecnologias apresentadas.

INTRODUÇÃO

A tecnologia de veículo elétrico híbrido (VEH) consiste na utilização de um motor de combustão interna (MCI), um motor elétrico (ME) e um banco de baterias, visando diminuir a quantidade de combustível utilizado para movimentar o veículo, além de diminuir a emissão de gases poluentes, inclusive os gases responsáveis pelo efeito estufa. Essa tecnologia também utiliza freios regenerativos, que recarregam as baterias quando são utilizados, aumentando assim a autonomia do veículo.

A indústria automotiva tem se preocupado com as questões ambientais, visto que estão sendo lançados alguns modelos de VEH por vários fabricantes. Devido a esse fato, a tecnologia de armazenamento da energia elétrica, as baterias, estão sendo aperfeiçoadas, visando diminuir suas dimensões e aumentar sua capacidade de armazenagem de energia.

Os VEH não são somente utilizados em modelos de passeio, mas também em outros meios de transporte como ônibus, locomotivas, caminhões de mineração, submarinos, entre outros. Diversas empresas, não só a indústria automotiva, mas também órgãos governamentais no

mundo estão investindo em projetos de carros “verdes”, ou seja, carros que poluem menos e que tenham uma melhor eficiência energética.

Este trabalho apresenta o Projeto BEST – BioEtanol para o Transporte Sustentável, que é um iniciativa da União Européia, coordenada pela Prefeitura de Estocolmo. Seu objetivo é incentivar o uso do etanol, em substituição à gasolina e ao diesel, no transporte público e urbano no Brasil e no mundo.

A partir dos resultados, o Projeto BEST e a União Européia fornecerão recomendações para a formulação de políticas públicas de incentivo à substituição do diesel e da gasolina pelo etanol e às novas tecnologias apresentadas.

Além de São Paulo, pioneira nas Américas, outras sete cidades, localizadas na Europa e Ásia, participam do Projeto.

O CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa (do IEE – Instituto de Eletrotécnica e Energia, da USP – Universidade de São Paulo) desenvolve duas metas do projeto e uma delas é avaliar o uso da gasolina brasileira, com teor de 20% a 25% em volume de etanol, no veículo elétrico híbrido Prius, da marca Toyota.

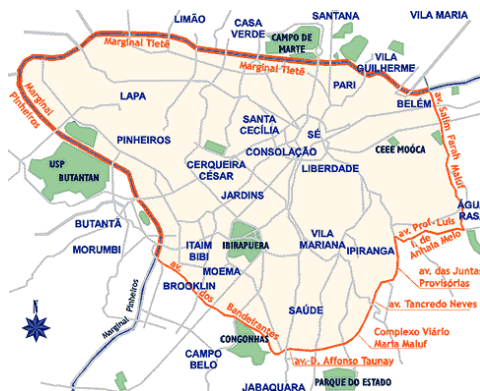
Os veículos utilizados no Projeto serão monitorados e avaliados para demonstrar a eficiência energética do etanol e a redução substancial das emissões provocadas pela utilização de novas tecnologias.

1 SITUAÇÃO DO TRANSPORTE NA CIDADE DE SÃO PAULO

A situação do transporte na cidade de São Paulo é cada vez mais caótica, tendo em vista que nela está concentrada a maior frota do Brasil e que o número de automóveis licenciados diariamente na cidade de São Paulo é elevado, o que provoca aumentos sucessivos nos índices de congestionamento. Para tentar diminuir os índices de congestionamento e de poluição, uma das medidas tomadas pela Câmara Municipal da Cidade de São Paulo foi a adoção do Programa de Restrição ao Trânsito de Veículos Automotores no Município de São Paulo, conhecido como Rodízio Municipal de Veículos.

1.1 RODÍZIO MUNICIPAL DE VEÍCULOS

O Programa de Restrição ao Trânsito de Veículos Automotores no Município de São Paulo, popularmente conhecido como Rodízio, foi implementado por meio da Lei 12.490/97, que tem como meta a redução na quantidade de poluentes emitidos pelos veículos leves e pesados e a redução de cerca de 20% da frota de veículos leves e pesados circulando diariamente, ficando proibida a circulação desses veículos entre 7h00 e 10h00 e entre 17h00 e 20h00, de segunda a sexta, exceto feriados, no chamado Centro Expandido, conforme é demonstrado no Mapa 1. Os veículos que podem circular pelas vias delimitadas pelo Centro Expandido, dependem do dígito final da placa de seu licenciamento, de acordo com a Tabela 1, visando reduzir os altos índices de congestionamento e melhorar a fluidez do trânsito.



Mapa 1: Mapa do Centro Expandido da cidade de São Paulo ^[1]

Tabela 1 - Placas que não podem circular no Centro Expandido ^[2]

Dia da semana	Dígito da placa
2ª Feira	Finais 1 e 2
3ª Feira	Finais 3 e 4
4ª Feira	Finais 5 e 6
5ª Feira	Finais 7 e 8
6ª Feira	Finais 9 e 0

Tal lei isenta veículos de transporte coletivo, motocicletas, táxis, veículos de transporte escolar, guinchos, veículos de serviços essenciais e de emergências, como ambulâncias e viaturas policiais, entre outros.

1.2 TRÂNSITO E FROTA DE VEÍCULOS

O trânsito na cidade de São Paulo é crítico devido ao excesso de veículos e à má qualidade do transporte público. A população deixa de utilizar os transportes públicos que são de má qualidade e onerosos, quando comparados ao salário mínimo brasileiro. Por não utilizarem o transporte público, proprietários de automóveis adquirem outros veículos com os dígitos finais das placas diferentes dos dígitos finais das placas de seus atuais veículos para driblarem a proibição imposta pelo Rodízio, conforme Gráfico 1. Por conta dessa situação, são licenciados cerca de 800 veículos diariamente no município de São Paulo, contribuindo para o aumento da frota de veículos da cidade de São Paulo, que atualmente é de 4.190.299 unidades ^[3].

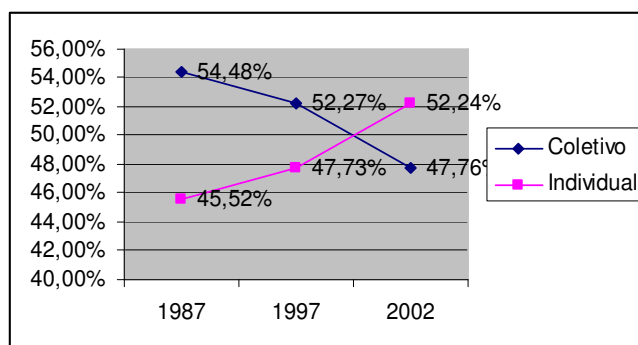


Gráfico 1: Deslocamentos diários no município de São Paulo ^[4]

1.3 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição atmosférica é provocada pela liberação de elementos químicos na atmosfera, provenientes de ações antrópicas, como a utilização de automóveis e a queima de combustíveis nas indústrias, que prejudicam os seres humanos e os ecossistemas biológicos. Intensificou-se mundialmente com a popularização dos automóveis, com a Segunda Guerra Mundial e também na corrida pela industrialização.

A poluição na cidade de São Paulo (Fotografia 1) é proveniente em grande parte, dos veículos automotores, que são cerca de 7,6 milhões circulando diariamente pela cidade, sendo que metade da frota tem mais de dez anos ^[5]. Esse é um dado que contribui com os índices de poluentes emitidos pelos veículos automotores, e um dos programas criados para tentar reduzir tais índices foi o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) que, no Estado de São Paulo, é gerenciado pela CETESB.



Fotografia 1: Poluição Atmosférica na cidade de São Paulo ^[6].

O Ministério do Meio Ambiente, pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da resolução nº 18, de 06 de maio de 1986, criou o PROCONVE, que tem os seguintes objetivos:

- a) Reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores visando o atendimento aos Padrões de Qualidade do Ar, especialmente nos centros urbanos;
- b) Promover o desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia automobilística, como também em métodos e equipamentos para ensaios e medições da emissão de poluentes;
- c) Criar programas de inspeção e manutenção para veículos automotores em uso;

- d) Promover a conscientização da população com relação à questão da poluição do ar por veículos automotores;
- e) Promover a melhoria das características técnicas dos combustíveis líquidos, postos à disposição da frota nacional de veículos automotores, visando à redução de emissões poluidoras à atmosfera.

Além disso, o PROCONVE conta com a participação das seguintes organizações: Ministério de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, Conselho Nacional do Petróleo, Ministério de Minas e Energia, Ministério dos Transportes, Ministério da Indústria e do Comércio, Ministério da Ciência e Tecnologia, Ministério da Justiça, Órgãos Estaduais e Municipais de Controle da Poluição Ambiental, Associações legalmente constituídas para defesa dos recursos ambientais, Associações representativas dos fabricantes de motores, veículos automotores, equipamentos de controle de emissão e autopeças, bem como outros órgãos e entidades afetos ao programa.

Dentre os gases provenientes da combustão dos motores, pode-se citar o dióxido de nitrogênio (NO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂), ozônio (O₃), partículas totais em suspensão, partículas inaláveis, fumaça, entre outros.

Os Quadros 1 e 2 representam os índices de qualidade do ar e a relação desses índices com os efeitos da poluição à saúde humana, segundo a CETESB, de acordo com a quantidade de gases e materiais particulados presentes no ar.

Qualidade	Índice	MP (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	CO (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
Boa	0 - 50	0 - 50	0 - 80	0 - 4,5	0 - 100	0 - 80
Regular	51 - 100	50 - 150	80 - 160	4,5 - 9	100 - 320	80 - 365
Inadequada	101 - 199	150 - 250	160 - 200	9 - 15	320 - 1130	365 - 800
Má	200 - 299	250 - 420	200 - 800	15 - 30	1130 - 2260	800 - 1600
Péssima	> 299	> 420	> 800	> 30	> 2260	> 1600

Quadro 1 - Índice de qualidade do ar ^[7].

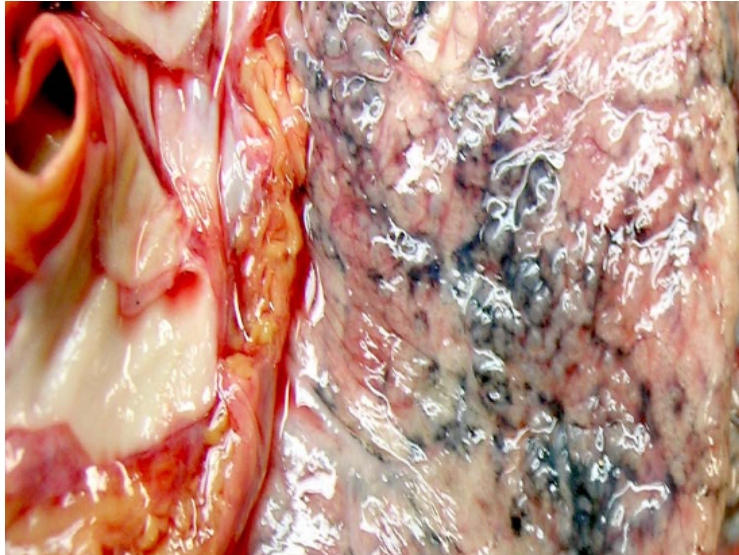
Qualidade	Índice	Significado
Boa	0 – 50	Praticamente não há riscos à saúde.
Regular	51 – 100	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Inadequada	101 – 199	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Má	200 – 299	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
Péssima	> 300	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Quadro 2 - Qualificação do ar associada aos efeitos sobre a saúde ^[7].

Para fazer o monitoramento da poluição na cidade de São Paulo, são utilizadas estações meteorológicas, balões com sondas, estações de medição, aviões, satélites, câmaras ambientais, entre outras ^[7].

A poluição pode causar doenças respiratórias e cardiovasculares e os moradores de centros urbanos podem sofrer diversas conseqüências devido à poluição, como inflamação pulmonar e sistêmica subclínica, aumento da pressão arterial, maior risco de arritmias e infarto do miocárdio, redução da expectativa de vida ^[6];

Além dessas conseqüências, a poluição causa a redução de cerca de 1,5 ano a expectativa de vida de um morador de um centro urbano, como São Paulo, e que os custos relacionados à poluição chegam a US\$ 400 milhões por ano (estimativa conservadora) ^[6]. Ao fazer a autópsia de algumas pessoas, constatou-se a diferença entre um pulmão saudável e um pulmão de uma pessoa que vivia próxima a um corredor de grande circulação na RMSP (Fotografia 2) e, ao analisar o pulmão degradado, encontrou-se uma grande concentração de zinco, manganês e níquel (Gráfico 2).



Fotografia 2: Pulmão humano. À esquerda um pulmão saudável e à direita um pulmão de um morador próximo a um corredor de ônibus de São Paulo ^[6].

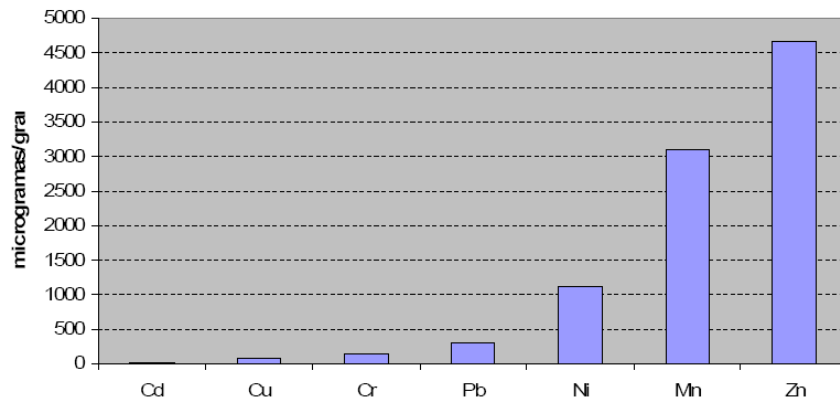


Gráfico 2: Composição dos pontos pretos da Fotografia 4 ^[6].

1.3.1 Comparação entre níveis de poluição do Brasil, Estados Unidos e da OMS

Os níveis de poluição brasileiros, regulamentados pelo CONAMA que são subdivididos em padrões primários e secundários:

- a) Padrões primários são os níveis de concentração de poluentes que quando ultrapassados podem afetar a saúde humana;
- b) Padrões secundários são os níveis de concentração de poluentes que provocam mínimos efeitos adversos à saúde humana.

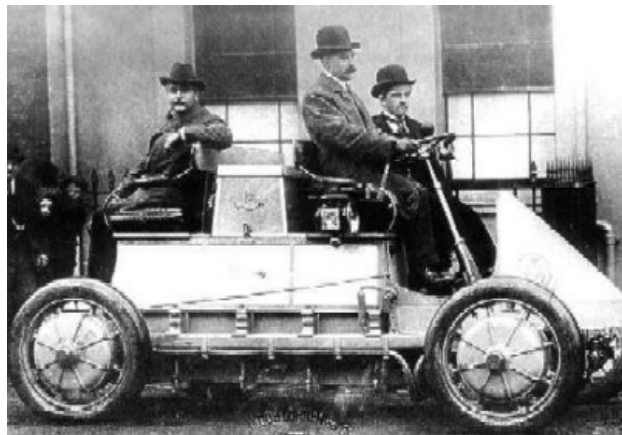
O Quadro 3 representa a comparação entre os níveis adotados por Brasil e Estados Unidos, regulamentados pela EPA e pela OMS.

Poluente	Níveis de concentração			
	CONAMA (Primários)	CONAMA (Secundários)	EPA	OMS (2008)
Ozônio	160 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para 1h de amostragem	160 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para 1h de amostragem	120 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para 1h de amostragem	100 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para 8h de amostragem
Monóxido de Carbono	10 (mg/m^3) 9 ppm	10 (mg/m^3) 9 ppm	10 (mg/m^3) 9 ppm	10 (mg/m^3) 9 ppm
Dióxido de Nitrogênio	320 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para 1h de amostragem	190 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para 1h de amostragem	100 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) média anual	200 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para 1h de amostragem
Dióxido de Enxofre	365 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para 24h de amostragem	100 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para 24h de amostragem	140 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para 24h de amostragem	20 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para 24h de amostragem

Quadro 3 - Comparação entre níveis de poluição (Brasil x Estados Unidos x OMS)^[8].

2 TECNOLOGIA HÍBRIDA

A tecnologia de VEH é antiga e há divergências de onde e de quem inventou essa tecnologia. Na França, entre os anos de 1897 e 1907, foram produzidos os primeiros veículos elétricos e veículos elétricos híbridos pela Companhia de Carros Elétricos de Paris. Na Áustria, a empresa Jacob Lohner & Co, por meio do engenheiro Ferdinand Porsche, que era um dos funcionários da Lohner, desenvolveu um sistema de acionamento baseado em colocar um motor elétrico em cada roda dianteira do veículo e tal veículo ficou conhecido como Lohner-Porsche, apresentado na Fotografia 3. A primeira patente referente a tal tecnologia foi registrada em 1905, pelo engenheiro H. Piper, nos Estados Unidos^[9].



Fotografia 3: Veículo modelo Lohner-Porsche^[10].

As iniciativas brasileiras para o uso do veículo elétrico foram iniciadas em 1918, quando a cidade do Rio de Janeiro contava com uma linha de ônibus elétrico somente a bateria, entre a Praça Mauá e o antigo Palácio Monroe. Fatores como as dificuldades tecnológicas e o preço baixo do petróleo permitiram a intensificação do uso crescente da combustão interna em todo mundo, que diminuiu diante da crise do petróleo na década de 70, permitindo a retomada do veículo elétrico como opção de transporte.

Entre as décadas de 70 e 80, a Gurgel S. A. e Furnas Centrais Elétricas S. A. realizaram uma parceria e criaram um veículo elétrico nacional, o modelo Itaipu Elétrico. Contudo, medidas de racionalização e substituição do petróleo em vários lugares do mundo, como a do Programa Nacional do Álcool (PROALCOOL) no Brasil, iniciado em 1975, foram eficazes sucedendo-se o declínio dos preços do petróleo, antes que os carros elétricos, em qualquer parte, pudessem firmar a sua utilização junto ao público. Os diversos fenômenos provocados pelo aumento da poluição e emissões para a atmosfera, que causaram prejuízos consideráveis às atividades econômicas e ao meio ambiente, induziram a novas posturas^[11].

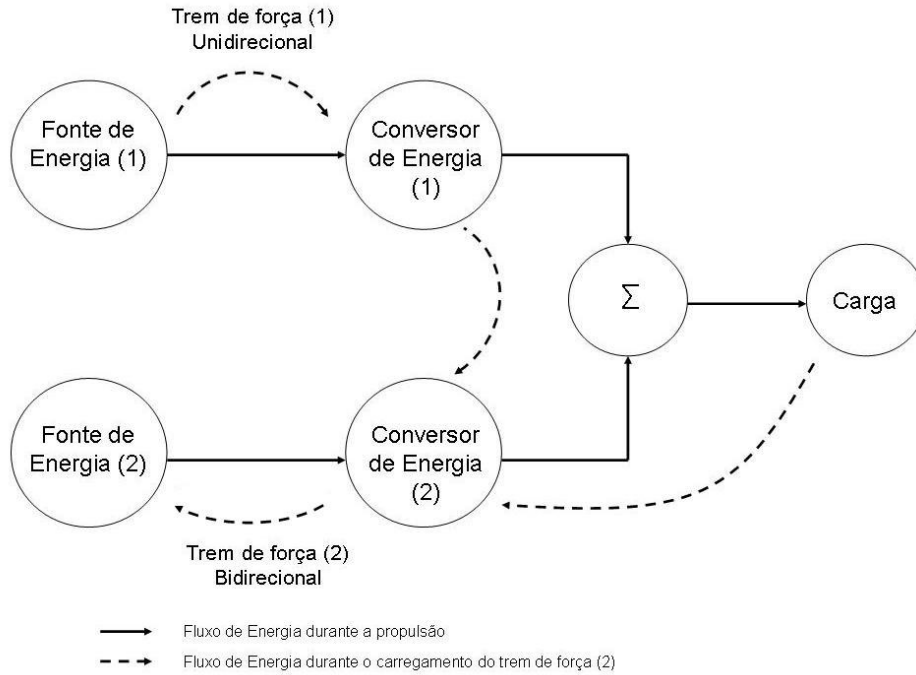
Na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como Rio-92, da qual participaram delegações de 175 países, foram assinadas: a Convenção da Biodiversidade, da Floresta, da Mudança Climática e ainda a Agenda 21. Este evento desencadeou diversas pesquisas, desenvolvimentos técnicos, legislações, conferências no Brasil e no exterior, assim como novos tratados dos quais se destaca o de Kyoto, assinado por 84 países, e que consiste em reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) dos países industrializados e garantir um modelo de desenvolvimento limpo para os países em desenvolvimento^[12].

A tecnologia de VEH ressurgiu após a reunião de esforços de fabricantes, centros de pesquisa, universidades e organizações não governamentais, para aperfeiçoá-la, buscando a redução das emissões. O atendimento ao mercado automotivo, para cumprir às determinações do Protocolo de Kyoto de redução de emissões de GEE, tem como candidata natural esta tecnologia, que é capaz de reduzir as emissões de poluentes.

Em países mais desenvolvidos como os Estados Unidos, as montadoras de automóveis são obrigadas, por lei, a atender aos padrões do *Corporate Average Fuel Economy*^[13]. Tal lei exige que cada veículo novo produzido tenha um consumo médio de 11,7 km/l. No caso das montadoras, para cada veículo híbrido produzido que tem um consumo médio de 25 km/l, quatro veículos com consumo médio de 8,5 km/l podem ser fabricados.

Atualmente, a tecnologia é dividida em três sistemas, o sistema Híbrido em Série, o sistema Híbrido em Paralelo e o sistema Híbrido Misto.

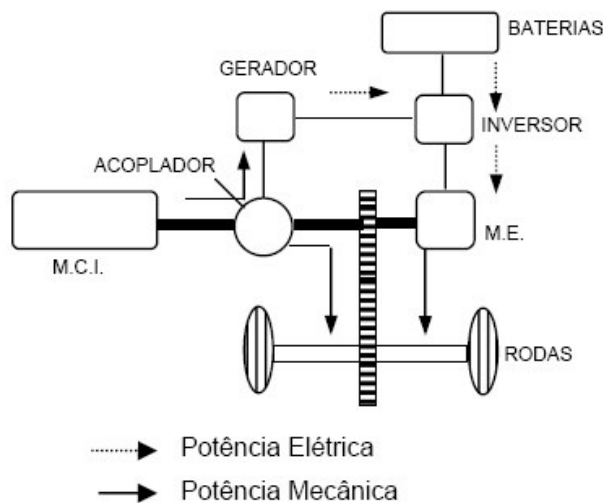
O Esquema 1 mostra uma simplificação do funcionamento de um sistema de transmissão de um veículo elétrico híbrido.



Esquema 1: Conceito de sistema de transmissão de um veículo elétrico híbrido ^[14].

2.1 SISTEMA HÍBRIDO MISTO

Como o próprio nome já diz, o sistema híbrido misto é uma integração do sistema híbrido em série com o sistema híbrido em paralelo, pois tenta maximizar os benefícios dos dois sistemas. Seu funcionamento é variável, pois o sistema pode tanto utilizar o MCI e o ME em separado, somente o ME, enquanto tiver carga nas baterias, ou MCI e o ME em conjunto, quando há necessidade de mais potência ou quando seja necessário o carregamento das baterias (Esquema 2), visando sempre à melhor eficiência do sistema. Essa configuração também permite que o sistema forneça energia para as rodas do veículo e gere eletricidade simultaneamente, utilizando um gerador, ao contrário do que ocorre no sistema híbrido em paralelo.



Esquema 2: Configuração Mista ^[15].

No sistema híbrido misto o acoplador, conhecido também como *Power Split Device*, divide a potência originada no MCI, de maneira que a relação de potência direcionada diretamente para o gerador e para os pneus é continuamente variável. O ME poderá ser utilizado ao mesmo tempo em que o banco de baterias está sendo recarregado pelo gerador e o ME é utilizado por um maior tempo em relação à configuração em paralelo (Gráfico 3).

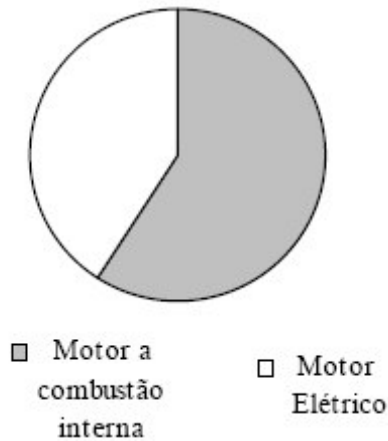


Gráfico 3: Utilização dos motores no Sistema Híbrido Misto ^[15].

Na Fotografia 4 pode-se ver um exemplo de VEH que utiliza a tecnologia de sistema híbrido misto, o modelo Toyota Prius, vendido nos Estados Unidos, Japão e Europa, que é o objeto deste trabalho.



Fotografia 4 – Modelo Toyota Prius ^[16].

2.2 BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA HÍBRIDA

A tecnologia híbrida traz algumas vantagens para seu usuário. Uma das mais importantes atualmente é a economia de combustível, entre 20% e 40%, quando comparada à tecnologia de um veículo movido exclusivamente por um MCI. Outra vantagem é a diminuição na emissão de GEE, com a redução em até 50% de CO₂ e até 90% para HC e NO_x ^[17].

Algumas das razões da evolução dessa tecnologia são os crescentes preços do petróleo, o incentivo das agências governamentais ao consumo verde, caso dos Estados Unidos por meio da EPA, maior número de pessoas a par das questões

ambientais relacionadas ao aquecimento global, a tecnologia da informação, que permite aos defensores do consumo eficiente colaborarem entre si, influenciando em decisões políticas, além dos países desenvolvidos que estão situados ao nível do mar, que tem como preocupação a elevação do nível dos mares causados pelo aquecimento global.

3 PROJETO BEST

O Projeto BEST é uma iniciativa da União Européia, coordenada pela Prefeitura de Estocolmo. Seu objetivo é incentivar o uso do etanol, em substituição à gasolina e ao diesel, no transporte público e urbano no Brasil e no mundo. Uma das metas desenvolvidas pelo CENBIO é avaliar o uso da gasolina brasileira, com teor de 20% até 25% (em volume) de etanol, no veículo elétrico híbrido Prius, da Toyota. Para os testes, dois veículos foram cedidos pela Toyota e um terceiro veículo, pela Petrobras. O combustível e os condutores foram cedidos pela BR Distribuidora e os veículos cumprirão o mesmo ciclo de rodagem, um veículo no Rio de Janeiro e dois veículos em São Paulo. Tais veículos possuem um motor a combustão interna e outro elétrico e fazem o autogerenciamento da energia. Os veículos utilizados nos testes são monitorados e avaliados para demonstrar a eficiência energética do etanol e a redução substancial das emissões provocadas pela utilização de novas tecnologias. A partir dos resultados, o BEST e a União Européia fornecerão recomendações para a formulação de políticas públicas de incentivo à substituição do diesel pelo etanol e às novas tecnologias apresentadas.

3.1 VEÍCULO ELÉTRICO HÍBRIDO UTILIZADO NO PROJETO BEST

O VEH utilizado no projeto é o modelo Prius fabricado pela Toyota, pois é o VEH mais vendido no mundo. Desde que foi lançado vendeu mais de 1 milhão unidades em todo o mundo. Nos Estados Unidos esse veículo é classificado como *Super Ultra Low Emission Vehicle* segundo a *California Air Resource Board*, órgão ambiental da Califórnia.

O primeiro protótipo do Prius foi exibido no Salão do Automóvel de Tóquio, em 1996, e suas vendas iniciaram em 1998, porém devido ao fraco desempenho do motor e problemas recorrentes nas baterias suas vendas foram comprometidas. Para tentar mudar essa imagem, a Toyota realizou vários ajustes no motor e em outros sistemas para lançar a 1ª geração do Prius (Fotografia 5) no mercado norte-americano, que se tornou um símbolo de automóvel ecologicamente correto em todo o mundo.



Fotografia 5: Toyota Prius de 1ª geração ^[16].

Em 2003, a Toyota lançou a 2ª geração do Prius (Fotografia 6) nos mercados japonês e norte-americanos. Entre as principais mudanças entre as duas gerações estão:

- Redução no Coeficiente de Arraste Aerodinâmico, de 0,29 para 0,26;
- Aumento da potência combinada;
- Fim dos problemas com o ar-condicionado;
- Sistema de frenagem regenerativa mais avançado, reduzindo a emissão de poluentes e o consumo de combustível.



Fotografia 10: Toyota Prius de 2ª geração [18].

A Tabela 2 demonstra algumas especificações técnicas do Toyota Prius de primeira e segunda gerações.

Tabela 2 - Especificação técnica do VEH Toyota Prius de primeira e segunda geração [19]

VEÍCULOS		TOYOTA PRIUS 2002	TOYOTA PRIUS 2005
Motor de Combustão Interna	Tipo	4 cilindros	4 cilindros
	Cilindrada	1.5 L VVT-i (1496 cc)	1.5 L VVT-i (1497 cc)
	Taxa de Compressão	13,5:1	13,0:1
	Potência	70 HP @ 4500 rpm	77 HP @ 5000 rpm
	Torque	111 Nm @ 4200 rpm	115 Nm @ 4000 rpm
Motor Elétrico	Voltagem da Bateria	288 volts	201,5 volts
	Tipo de Bateria	Ni-MH	Ni-MH
	Potência	44 HP @ 1040~5600 rpm	68 HP @ 1200~1540 rpm
	Torque	344 Nm @ 0~400 RPM	400 Nm @ 0~1.200 rpm
Potência Combinada *		96 HP	104 HP
Combustível Recomendado		Gasolina aditivada com IAD 87 (RON 91) e com até 10 % de etanol.	Gasolina aditivada com IAD 87 (RON 91) e com até 10 % de etanol.
Classificação Segundo Emissões		SULEV	SULEV

* A potência combinada não é a simples soma das potências isoladas, já que o sistema de controle do veículo se encarrega de como acionar um motor ou outro.

3.2 COMBUSTÍVEL

Durante a execução dos ensaios de emissões de poluentes e consumo de combustível, realizados em bancada pelo CENPES – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello, o VEH Prius foi abastecido com Gasolina Petrobras Podium E25 (25% de Álcool Etílico Anidro Combustível - AEAC e menos de 30ppm de enxofre), elaborada a partir da mistura entre Gasolina Podium “A” da RPBC, Refinaria Presidente Bernardes – Cubatão, (75% em volume) e AEAC (25% em volume).

Durante o ciclo de rodagem em tráfego urbano e estrada, o VEH Prius é abastecido com a Gasolina Petrobras Podium vendida nos Postos BR que possuem o Programa de Olho no Combustível, cujo teor de etanol e enxofre estão limitados em 25% e 30ppm, respectivamente, de acordo com as resoluções vigentes.

A Gasolina Petrobras Podium foi escolhida por apresentar características próximas da gasolina Califórnia Fase II, usada na homologação dos veículos híbridos nos EUA.

3.3 CICLO DE RODAGEM EM TRÁFEGO URBANO E ESTRADA – TESTES EM CAMPO

Atendendo à metodologia de ensaio em pista para acúmulo de quilometragem, na qual os VEH Prius irão acumular uma quilometragem de até 40.000 km, três ciclos de rodagem em tráfego urbano e estrada foram definidos pela PETROBRAS, BR, TOYOTA e CENBIO, sendo dois ciclos de rodagem em São Paulo e um ciclo no Rio de Janeiro.

A condução dos veículos híbridos Prius nos ciclos de rodagem em tráfego urbano e estrada obedece condições reais de funcionamento, seguindo uma rota pré-determinada pelas ruas da cidade e cobrindo condições de trânsito congestionado, livre e de auto-estrada, passando por ruas principais, secundárias e autopistas.

De acordo com a metodologia estabelecida para o ciclo de rodagem, foi definido um período de 10 meses para rodar 40.000 km. Dessa forma, as rotas escolhidas para São Paulo e Rio de Janeiro atenderão a demanda de 4.000 km / mês, rodando então 10.000 km em 2,5 meses.

Em São Paulo, as regiões do ciclo de rodagem em tráfego urbano e estrada são:

- Regiões 01 - Butantã, Jaguaré, Raposo Tavares, Rio Pequeno e a região de Cotia.
- Regiões 02 - Osasco, Carapicuíba, Jandira, Itapevi, Santana do Parnaíba, Barueri e a região do Alphaville.

No Rio de Janeiro, as regiões do ciclo de rodagem em tráfego urbano e estrada são:

- Regiões 03 - Zona Sul, Grande Tijuca, Barra da Tijuca, Baixada Fluminense, Niterói, São Gonçalo, Região dos Lagos, Costa Verde, Macaé, Campos e regiões ao redor da Avenida Brasil, Linhas Amarela e Vermelha, Dutra e BR 040.

3.4 TESTES DE EMISSÃO E CONSUMO EM BANCADA

A metodologia de testes de emissão e consumo utilizada baseia-se na norma ISO 23274:2007, porém levam-se em conta alguns procedimentos de testes de veículos automotores leves descritos na norma ABNT NBR 6601:2005. Essa metodologia só é

aplicada a veículos elétricos híbridos que não podem ser recarregados externamente. As principais diferenças do procedimento em relação ao que consta na norma ABNT são os cálculos e a aplicação de coeficientes de correção para tratar os dados de consumo e emissão de poluentes.

Os coeficientes de correção devem ser calculados para cada ciclo de condução no qual se deseja ensaiar o veículo e ao término de um ensaio, os dados devem ser submetidos a uma condição de validação, para verificar se a variação de energia na bateria foi menor ou igual a 1% da energia fornecida pelo combustível consumido ao longo do teste. Caso esta condição seja satisfeita, os coeficientes de correção devem ser empregados no ajuste dos resultados de consumo e emissão de poluentes, caso contrário, o ensaio deve ser descartado e um novo ensaio deve ser realizado.

Tabela 3 – Comparação entre os resultados reais de emissões e os limites estabelecidos pela legislação do Brasil, dos EUA e da Europa.

Poluente	Resultados (g/km)	Limite de Emissão no Brasil (g/km)	Limite de Emissão nos Estados Unidos (g/km)	Limite de Emissão na Europa (g/km)
CO	0,18	2,00	1,30	1,00
NO _x	0,003	0,120	0,030	0,060
NMHC	0,006	0,050	N.R.	0,068
THC	0,008	0,300	N.R.	0,100
Aldeídos	0,0003	0,0200	0,0100	N.R.

CONCLUSÃO

Os fabricantes de veículos automotores se deparam com os limites de emissão de poluentes estabelecidos no Brasil pelo PROCONVE e no mundo, como por exemplo, na Europa pela norma Euro e nos Estados Unidos pela norma EPA TIER 2, e por esta razão estão buscando soluções tecnológicas para atender aos limites estabelecidos.

Os resultados obtidos nos ensaios de emissão de poluentes são muito favoráveis a implementação dessa tecnologia.

Ao analisar que a poluição causa uma redução de cerca de 1,5 ano na expectativa de vida de um morador de um centro urbano, os gastos governamentais com problemas de saúde relacionados à poluição, que por meio de uma estimativa conservadora chegam a US\$ 400 milhões por ano ^[6], e os resultados dos testes de emissão comparados aos limites estabelecidos pelas normas citadas, pode-se concluir que a médio e longo prazo, a utilização dos VEH é uma solução para a saúde pública e para possível realocação desses gastos evitados em educação e saúde, por exemplo, e essa solução está disponível a curto prazo.

Porém, para que os VEH sejam comercializados no Brasil, o governo deve oferecer incentivos. Dentre os incentivos pode-se citar a isenção do pagamento do IPVA por um determinado período, semelhante à que foi concedida para veículos movidos exclusivamente a etanol, a redução ou isenção total de alíquotas de IPI, ICMS e taxas de importação e, especialmente na cidade de São Paulo, a liberação do estacionamento rotativo pago, conhecido como Zona Azul, e a suspensão do rodízio municipal.

REFERÊNCIAS

- [1] CET. **Operação Horário de Pico.** Companhia de Engenharia de Tráfego. Disponível em: www.cetsp.com.br, acesso em 26/02/2008.
- [2] CET. **Lei 12.490.** Companhia de Engenharia de Tráfego. Disponível em: <http://cetsp1.cetsp.com.br/pdfs/rodizio/Lei12490.pdf>, acesso em 26/02/2008.
- [3] DENATRAN. **Frota de Veículos por tipo, segundo os Municípios da Federação.** Disponível em <http://www2.cidades.gov.br/renaest/listaArquivoPrincipal.do?op=1&doDownload=true&arquivo.codigo=176>, acesso em 29/09/2008.
- [4] PMSP. **Deslocamento diário Capital e Região Metropolitana.** Prefeitura Municipal de São Paulo. Disponível em: <http://www9.prefeitura.sp.gov.br/spMovimento/dadosgerais/deslocdiario.php>, acesso em 02/04/2008.
- [5] FAPESP. **Cortina de Fumaça.** Disponível em: <http://www.revistapesquisa.fapesp.br/?art=3092&bd=1&pg=1&lg=>, acesso em 25/03/2008.
- [6] SALDIVA, Paulo. **Palestra proferida durante a 7ª Conferência de Produção Mais Limpa.** São Paulo, 2008.
- [7] CETESB. **Padrões e Índices.** Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_indice_padroes.asp, acesso em 11/04/2008.
- [8] Adaptado de CONAMA. **Resolução nº 003/1990.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>, acesso em 22/03/2008; EPA. **National Ambient Air Quality Standards (NAAQS).** Environmental Protection Agency. Disponível em: <http://www.epa.gov/air/criteria.html>, acesso em 20/03/2008; OMS. **Use of the air quality guidelines in protecting public health: a global update.** Organização Mundial da Saúde. Disponível em: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2006/pr52/en/index.html>, acesso em 22/03/2008.
- [9] GOHYBRID. **History of Hybrid Technology.** Disponível em: http://www.gohybrid.ca/hybrid_history.html, acesso em 19/03/2008.
- [10] MODERN. **History of the Hybrid. They've Been Around Longer Than You Think.** Modern Racer. Disponível em: <http://www.modernracer.com/features/historyofthehybrid.html>, acesso em 02/03/2008.
- [11] VE. **Veículos Elétricos a Bateria, Híbridos e de Célula a Combustível.** Disponível em: http://www.ve.org.br/VE2006/downloads/Associacao_Brasileira_Veiculo_Eletrico_Constituida_Rio_de_Janeiro.doc, acesso em 14/03/2008.

[12] FOLHA. **O Protocolo de Kyoto**. Disponível em: http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia/2001-efeito_estufa-protocolo_de_kyoto.shtml, acesso em 19/03/2008.

[13] NHTSA. **Title 49 United States Code, Chapter 329 – Automotive Fuel Economy**. National Highway Traffic Safety Administration. Disponível em: <http://www.nhtsa.dot.gov/CARS/rules/CAFE/legislation.htm#>, acesso em 14/04/2008.

[14] Adaptado de EHSANI, M.; GAO, Y.; GAY, S. E.; EMADI, A.. **Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design**. CRC Press, Estados Unidos, 2004.

[15] PETROBRAS. **Comparação de resultados de emissões e consumo entre veículos híbridos e veículos nacionais utilizando gasolina com adição de etanol**. Congresso SAE Brasil. 2004.

[16] TOYOTA. **Photos & Colors**. Disponível em: <http://www.toyota.com/prius-hybrid/photo-gallery.html>, acesso em 23/10/2008.

[17] ABVE. **Uso de veículos elétricos é destaque no último relatório no IPCC**. Associação Brasileira do Veículo Elétrico. Disponível em: <http://www.abve.org.br/destaques/destaque64.shtml>, acesso em 01/04/2008.

[18] GHIST. **Global Habitat, Industry and Sustainability Training**. Disponível em: www.ghist.com/images/toyota_prius_red3.jpg, acesso em 24 de março de 2009.

[19] PETROBRAS. **Projeto BEST – Estudo de Veículos Híbridos com Gasolina Nacional**. Petróleo Brasileiro S.A., 2008.