

NÍVEIS QUANTITATIVOS DE EFICIÊNCIA E EMISSÕES DE SISTEMAS DE PROPULSÃO VEICULAR

Luiz Artur Pecorelli Peres
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ
Rua Fonseca Teles, 121
2º andar – sala L15
São Cristóvão – Rio de Janeiro
CEP 20940-903

Luiz Cláudio Ribeiro Rodrigues
Sebastião Fabio Q. de A. Rocha
Washington da Costa
Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET/RJ
Rua Miguel Ângelo, 96
Maria da Graça – Rio de Janeiro
CEP 20785-220

Abstract: The objective of this work is to establish a method to evaluate the merit levels for several types of modern road cars in order to contribute to its performance analysis. Two combined criteria are discussed and considered: the energy consumption and the specific dioxide carbon emissions. With these two elements is possible to obtain the total cost of energy and social damage during the vehicles useful life and determine a corresponding merit sequence. Consistent results were achieved utilizing the Simpson's and Ostermayer's equations for calculating the vehicle energy consumption and for CO₂ emissions, respectively. *Copyright © 2011 CBEE/ABEE*

Keywords: electric vehicles, vehicular efficiency, environment, emissions, merit levels.

Resumo: O objetivo deste trabalho é estabelecer um método para avaliar os níveis de mérito para vários tipos de carros rodoviários modernos, a fim de contribuir para a sua análise de desempenho. Dois critérios combinados são discutidos e considerados: o consumo de energia e as emissões específicas de dióxido de carbono. Com estes dois elementos é possível obter o custo total de energia e danos sociais durante a vida útil dos veículos e determinar uma seqüência de mérito correspondente. Resultados consistentes foram obtidos utilizando equações de Simpson e Ostermayer para calcular o consumo de energia do veículo e as emissões de CO₂, respectivamente.

Palavras Chaves: veículos elétricos, eficiência veicular, meio ambiente, níveis de mérito.

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Atualmente, os veículos automotores na sua maioria utilizam combustíveis derivados do petróleo que exercem grande impacto sobre o meio ambiente determinando o desenvolvimento de novas tecnologias de propulsão veicular mais eficientes. Constata-se assim, o surgimento de novos sistemas de propulsão veicular com foco no uso da eletricidade e da biomassa de forma a propiciar a atenuação de danos ao meio ambiente. Neste cenário de mudanças o Brasil ocupa uma posição de destaque mundial devido à sua exuberante matriz energética para atender o setor de transporte. De fato, três fatores conferem ao país a oportunidade de enormes ganhos de eficiência neste setor: a composição do sistema de geração de energia elétrica, constituído a maior parte por fontes de energia renovável, a intensa produção de biomassa derivada da cana de açúcar e a disponibilidade de enormes reservas de combustíveis fósseis. Assim,

como a tração elétrica apresenta comparativamente rendimentos bem superiores à da combustão interna deduz-se que o ingresso da biomassa bem como dos combustíveis fósseis na produção de eletricidade é bem mais vantajosa do que apenas o reabastecimento de veículos à combustão interna. (PACCA 2009).

Este trabalho tem como objetivo estabelecer um método de obtenção de níveis de mérito dos principais tipos de veículos rodoviários em voga de forma a contribuir para a análise do seu desempenho sob dois critérios combinados: o consumo específico de energia (MJ/km) e das emissões de dióxido de carbono (kg de CO₂/km), levando-se em conta exclusivamente o sistema de propulsão do veículo, aqui designado pela sigla SPV. Assim, é tomada como referência para os cálculos uma mesma plataforma veicular com diferentes SPVs. Esta metodologia foi aplicada para o ciclo de teste padronizado LA92, referente ao comportamento da velocidade de deslocamento do veículo em relação ao tempo de

forma a reproduzir os perfis típicos de direção em grandes metrópoles. Com estes elementos foi possível avaliar os custos totais da energia utilizada e dos danos das emissões durante a vida útil dos veículos e determinar uma seqüência de mérito segundo os dois critérios admitidos como fundamentais.

2 METODOLOGIA UTILIZADA

Os cálculos de eficiência tiveram como referência as equações de Simpson (SIMPSON, 2005) empregadas no modelo de simulação conhecido como PANVEC, *Parametric Modeling of Energy Consumption in Road Vehicles*, que permite analisar a eficiência energética de diversos SPVs. Estas equações introduzem no cálculo das componentes de força de tração os ciclos de teste padronizados representados por parâmetros equivalentes, propiciando uma simplificação dos cálculos usuais. Quanto às avaliações das emissões de CO₂ estas foram baseadas nas metodologias descritas por (ÁLVARES, 2002) e (OSTERMAYER, 2004).

2.1 Equações de Eficiência (Simpson)

De acordo com Simpson, a análise de desempenho de um veículo considera a sua massa total, as suas dimensões e os componentes do grupo moto propulsor. Quanto ao ciclo de teste este é modelado de forma paramétrica ao invés do uso de pontos representativos da velocidade em função do tempo. Assim, é estabelecido o consumo energético a partir da potência média correspondente, cuja equação vem apresentada a seguir:

$$\bar{P}_{drive-out} = \frac{1}{2} \rho C_D A \Lambda^3 v_{avg}^3 + C_{RR} m_{total} g v_{avg} + (1 - k_{regen}) k_m m_{total} \tilde{a} v_{avg} \quad (1)$$

Onde,

v_{avg} → velocidade média, corresponde à velocidade equivalente do ciclo de teste escolhido

Λ → razão da velocidade média e da velocidade eficaz cúbica do trajeto

\tilde{a} → aceleração característica, quantifica a variação equivalente da velocidade no ciclo e teste escolhido

ρ → densidade do ar (~1,2kg/m³)

C_D → coeficiente de resistência aerodinâmica

A → área frontal do veículo (m²)

C_{RR} → coeficiente de resistência ao rolamento

m_{total} → massa total do veículo (kg)

g → aceleração da gravidade (9,81m/s²)

Z → inclinação do trajeto (%)

k_m → fator de inércia de rotação do sistema de propulsão

Com base na equação da potência média, a energia utilizada pelo veículo é calculada para uma mesma plataforma de acordo com o sistema de propulsão considerado. As equações (2) e (3), básicas para o cálculo da energia, vêm abaixo indicadas:

$$Energy(Wh) = Range \frac{\bar{P}_{battery}}{v_{avg-kph}} \quad (2)$$

$$Fuel(Wh) = Range \frac{\bar{P}_{fuel}}{v_{avg-kph}} \quad (3)$$

Onde, o range corresponde a autonomia que a bateria ou o tanque de combustível proporcionam ao veículo.

O cálculo do consumo específico de energia neste trabalho foi expresso em MJ/km considerando-se a distância percorrida no ciclo de teste escolhido.

3 CÁLCULOS DESENVOLVIDOS

3.1 Premissas, Dados e Cálculos da Eficiência

A realização das simulações a partir das equações de Simpson permitiu estabelecer uma ordenação de mérito para os veículos que utilizam sistemas diferentes de propulsão com base nos custos da energia consumida e da quantificação de emissão de CO₂ correspondentes ao ciclo de teste escolhido ao longo da sua vida econômica. Para isto foi adotada uma mesma plataforma veicular com sistemas de propulsão distintos, isto é, a combustão interna a gasolina, diesel, biodiesel e GNV e ainda veículos elétricos a bateria e híbridos com as configurações: paralelo (PHEV) e série (SHEV), estes utilizando gasolina. Para o veículo elétrico e híbrido, a bateria utilizada foi a de íon de lítio.

3.1.1 Características dos Ciclos de Condução Utilizados

A Tabela 3.1 exibe a representação paramétrica de ciclos de teste padronizados de acordo com as equações de Simpson. Para os cálculos deste trabalho foram selecionados inicialmente três ciclos de condução, LA92, NYCC, US06; em um segundo momento optou-se pelo LA92, pois o mesmo está no meio termo entre os grandes centros urbanos e rodovias, representando bem a maioria dos percursos urbanos brasileiros.

Tabela 3.1: Características dos ciclos de teste utilizado neste trabalho

Ciclos	VELOCIDADE MÉDIA (km/h)	RAIZ CUBICA DA VELOCIDADE MÉDIA		RAZAO DE VELOCIDADE V_{rme} / V_{avg}	CARACTERISTICA DE ACELERAÇÃO (m/s ²)
		$v_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^T v dt$			
LA 92	39,40	57,92		1,47	0,217
NYCC	11,36	20,56		1,81	0,293
US 06	76,88	91,49		1,19	0,190

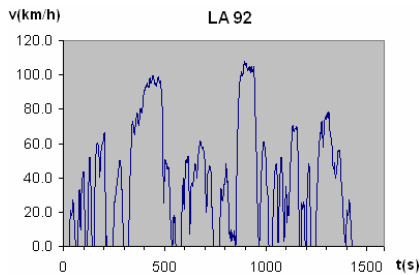


Figura 3.1: Ciclo de teste padronizado LA92

3.1.2 Escolha e Características do Veículo Utilizado

A plataforma veicular adotada no estudo apresentado corresponde ao veículo Holden Commodore VY sedan, modelo 2003, cujos dados estão indicados na Tabela 3.2. A escolha desta plataforma buscou evitar a identificação com modelos montados no Brasil de forma que conclusões que fogem ao escopo deste trabalho possam vir a ser cogitadas.

Tabela 3.2: Dados referentes ao veículo

DADOS REFERENTES AO VEICULO	
Massa total do veículo	1550 Kg
Coefficiente de arrasto aerodinamico	0,32
Area frontal	2,5 m ²
Coefficiente de resistência ao rolamento	0,01
Raio da roda	320 mm
Consumo de acessórios	1000 W
Velocidade máxima	180 Km
Aceleração	0-100 Km/h em 9 s
Autonomia	500 Km

3.1.3 Descrição das Simulações Efetuadas Relacionadas com o Consumo de Energia

O ciclo de teste escolhido LA92 reproduz o perfil de direção em grandes metrópoles cujos trajetos são realizados em ruas, em avenidas e nas vias expressas. Com base neste ciclo e a utilização das equações de Simpson foi calculado para cada sistema de propulsão veicular considerado o consumo energético em MJ/km, conforme disposto em ordem crescente na Figura 3.2.

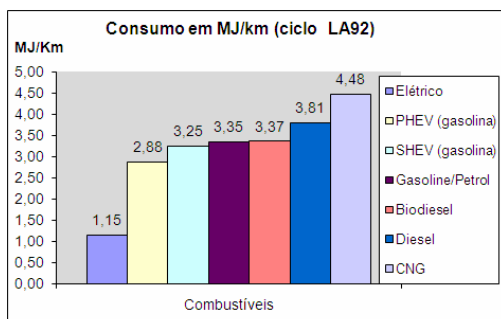


Figura 3.2: Consumo em MJ/km (ciclo LA92)

Verifica-se que o veículo que apresenta o melhor desempenho energético corresponde ao sistema de propulsão elétrica a bateria, seguido pelos veículos movidos a PHEV, SHEV a gasolina, biodiesel, diesel e em último lugar o GNV.

Note-se que o resultado apresentado pelo veículo elétrico a bateria se deve aos altos rendimentos do sistema eletrônico de controle de velocidade e do motor elétrico. Além disto, este veículo não consome energia nos intervalos de tempo que se encontra em repouso do ciclo de teste LA92 e ainda conta com regeneração durante os períodos de frenagem.

Visando dispor da diferença de desempenho em termos percentuais, ou por unidade (p.u.) do comportamento energético dos sistemas de propulsão veicular estudados, o gráfico da Figura 3.2 foi reproduzido na Figura 3.3 adotando-se como valor de referência o consumo do veículo elétrico a bateria.

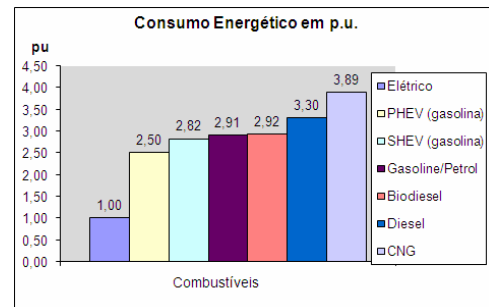


Figura 3.3: Consumo Energético em pu

Os resultados obtidos permitiram determinar os custos específicos de energia utilizada por quilômetro expressos em valores correntes em R\$/km. A contabilização dos veículos elétricos a bateria foi elaborada supondo-se o valor vigente da energia elétrica para consumidores residenciais de baixa tensão com consumos iguais ou superiores a 300 kWh e admitida igual à R\$ 0,50 por kWh, já para média tensão fora de ponta a tarifa média utilizada foi de R\$ 0,155 por kWh com os impostos inclusos e tendo como referência aquela praticada pela Light SESA, em janeiro de 2011. Para os custos de reabastecimento correspondentes aos demais veículos foram tomados os valores cobrados diretamente aos consumidores, incluindo os impostos e encargos, e tendo como referência a Petrobras, em janeiro de 2011, cujos valores são os seguintes: para a gasolina R\$ 2,58 por litro, diesel R\$ 1,982 por litro, biodiesel R\$ 1,638 por litro e GNV R\$ 1,624 por m³.

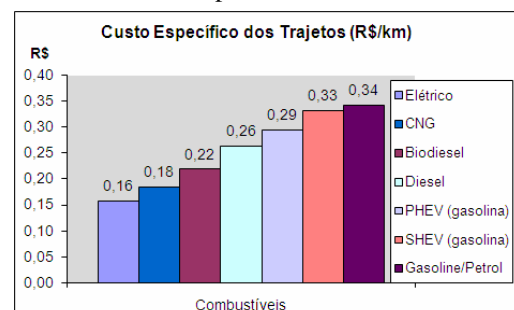


Figura 3.4: Custo Específico dos Trajetos (R\$/km)

Como visto no gráfico da Figura 3.4, o veículo elétrico a bateria apresenta menor custo, R\$ 0,16 por km, seguido pelos veículos a combustão interna com GNV R\$ 0,18 por km, com biodiesel R\$ 0,22 por km, com diesel R\$ 0,26 por km, com os veículos híbridos

elétricos PHEV R\$ 0,29 por km e SHEV R\$ 0,33 por km e, por último, com gasolina R\$ 0,34 por km.

Estes resultados permitem uma reflexão a respeito dos aspectos relacionados à conjuntura do sistema econômico e aqueles puramente de ordem técnico científica. De fato, observa-se um inesperado deslocamento de posição do veículo à combustão interna movido a GNV, último colocado sob o critério de consumo energético, isto é, com cerca de quatro vezes a energia requerida por um veículo elétrico a bateria, conforme Figura 3.3, apresentar um desempenho econômico praticamente igual ao melhor sistema de propulsão considerado. Portanto, caso não se considere outros critérios na atribuição de méritos e quiçá de tributos submetidos às políticas públicas coerentes, continuar-se-á avaliar os diversos SPVs meramente diante das condições de oferta instantâneas (mercado) sem levar em conta prejuízos sociais de médio e longo prazo decorrentes de escolhas cujos preços podem estar distorcidos por subsídios e tributos oriundos de políticas diversas vezes conflitantes. Neste sentido, para equilibrar esta característica real da estrutura econômica vigente a metodologia proposta combinou o gasto energético ao das emissões. A Figura 3.5 complementa esta discussão com um gráfico para o qual se calculou o custo do consumo específico dos combustíveis considerados (R\$/km) adotando-se unicamente o consumo energético encontrado para o veículo elétrico em MJ/km.

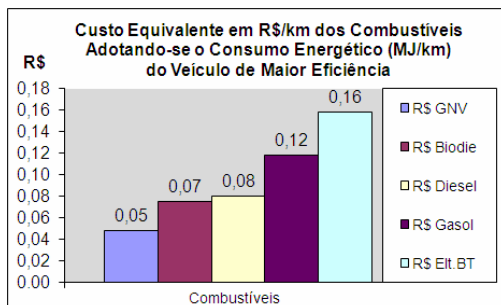


Figura 3.5: Custo Equivalente em R\$/km dos SPVs à Combustão Interna Adotando-se o Consumo Energético (MJ/km) do Veículo de Maior Eficiência

O gráfico da Figura 3.5 confirma as observações anteriores e indica que a utilização de combustíveis como o GNV para a produção de eletricidade e reabastecimento da recarga do veículo elétrico a bateria é atrativo em virtude da maior eficiência e economia que se obtém mesmo levando em conta os fatores econômicos de conjuntura.

Um outro ponto importante a destacar refere-se à redução da tarifa de energia elétrica fora do horário da ponta e com a qual as empresas comerciais e industriais procuram otimizar as suas atividades. Desta forma, mostra-se também atrativo o exame da redução de custos operacionais das frotas veiculares empresariais visando garantir o benefício desta diferenciação e assim introduzirem veículos elétricos nas suas atividades de modo que possam optar pela recarga noturna. Neste sentido, foi elaborada uma

simulação para o veículo elétrico, considerando a regulamentação existente com uma tarifa média fora de horário de ponta igual a 0,155 R\$/kWh utilizando o período fora da ponta e comparado com o uso de veículos à combustão interna, conforme indicado no gráfico da Figura 3.6.

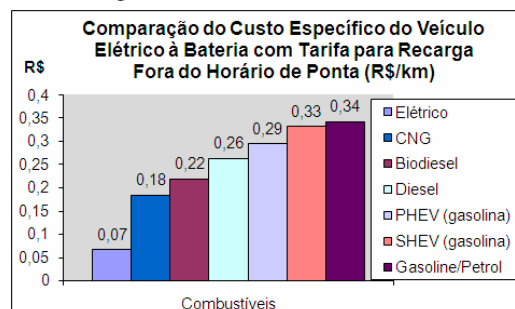


Figura 3.6: Comparação do Custo Específico do Veículo Elétrico a Bateria com Tarifa para Recarga Fora do Horário de Ponta (R\$/km)

Conforme se observa na Figura 3.6, o custo específico do veículo funcionando com GNV, o melhor colocado como SPV a combustão interna, é o triplo do encontrado para o veículo elétrico que opere em frota empresarial de forma que possa se beneficiar, por exemplo, das tarifas conhecidas como azul ou verde, caso a recarga possa ser realizada em períodos fora dos horários de ponta. Este resultado contrasta com aquele encontrado na Figura 3.5 em que a influência da conjuntura econômica no Brasil sobre a energia elétrica e os combustíveis é tão díspare que o SPV mais eficiente (elétrico a bateria) apresente um custo específico praticamente igual do SPV menos eficiente (GNV).

3.2 Avaliação das Emissões de CO₂

Neste estudo a avaliação das emissões de CO₂ se refere exclusivamente ao sistema de propulsão do veículo (SPV) submetido ao ciclo de teste LA92. Portanto, para os veículos elétricos a bateria bem como aqueles a combustão interna, supridos com combustíveis renováveis, não foram considerados os danos sociais provenientes destas emissões. A Tabela 3.3 apresenta os dados dos valores específicos dos fatores de emissão dos combustíveis considerados em volume e massa na segunda e terceira colunas, respectivamente, e com os quais foram calculados os valores correspondentes de emissão específicos expressos em kg CO₂/km, na última coluna.

Tipos de energia	Fatores de Emissão kg CO ₂ /km		Fonte	Valores
	kgCO ₂ /L	kgCO ₂ /kg		Calculados
Elétrico	0,00	0,00	----	----
Gasoline/Petrol	1,781	1,318	IPCC/BEN	0,236
Diesel	2,606	1,928	IPCC/BEN	0,236
Biodiesel	1,760	1,514	EPE-(2007)	0,237
CNG		0,896	IPCC/BEN	0,251

Os resultados encontrados estão representados no gráfico da Figura 3.7.

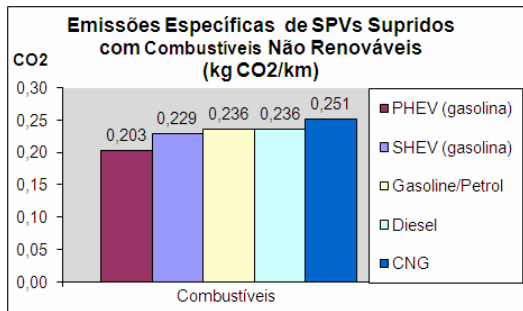


Figura 3.7: Emissões Específicas de SPVs Supridos com Combustíveis Não Renováveis (kg CO₂/km)

Os cálculos efetuados mostram que no cenário atual brasileiro apesar dos SPVs a GNV apresentarem excelente custo operacional (R\$/km), são menos eficientes (MJ/km) e de forma coerente apresentam os maiores níveis de emissão (kg CO₂/km). Assim fica bem evidente que a complexidade e a volatilidade do mercado das fontes de energia para os SPVs não possui mecanismos de adoção imediata das melhores opções tecnológicas de eficiência energética e de preservação ambiental. Esta dicotomia para ser equilibrada necessita de uma estratégia de compensação pela introdução de políticas públicas que levem em conta os danos das emissões que não são contabilizados na estrutura de preços da economia neoclássica. (PECORELLI PERES, 2000).

3.3 Níveis de Mérito com Base nos Custos de Energia e Emissões

3.3.1 Premissa e Dados

Para os cálculos dos valores atuais dos custos de energia e de emissões de CO₂ dos diversos SPVs considerados, ao longo da sua vida econômica, utilizou-se conforme (PUCCINI, 1969), a equação (4).

$$P = R \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (4)$$

Onde,

R - valor dos custos anuais de energia e de emissão de CO₂

P - valor atual dos custos anuais de energia e emissões

n - número de anos da vida útil do veículo

i - taxa de juros

Para efeito do cálculo do valor atual P admitiu-se um período de vida econômica, portanto, útil do veículo igual a 10 anos, estimando-se uma taxa anual de 10% aplicada ao final de cada ano. Este cálculo foi expresso em dólares (USD) considerando-se a média da sua cotação tomando como referência, em Reais, os últimos 5 anos, isto é, entre 2006 e 2010, de acordo com a Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Valores da Cotação Média Anual do Dólar (USD) no Brasil

Valores do dólar	2006	2007	2008	2009	2010	Média
	R\$ 2,15	R\$ 1,79	R\$ 2,39	R\$ 1,75	R\$ 1,69	R\$ 1,95

Fonte: Banco Central do Brasil. Período: Média dos dias úteis de cada mês

3.3.2 Cálculos dos Custos de Reabastecimento

Com base no consumo de energia dos diversos SPVs estudados no trabalho (MJ/km), calculou-se os custos correspondentes considerando a distância média anual percorrida pelos veículos iguais a 15000 km e os preços da eletricidade e combustíveis expressos em R\$/MJ derivados dos preços correntes no Brasil. Os dados para os preços da gasolina, diesel, biodiesel e GNV tiveram como referência os informes da Petrobras de janeiro de 2011 e para o valor da energia elétrica foram utilizadas publicações da Light Serviços de Eletricidade S. A. no mesmo período.

Os valores atuais para o custo correspondente aos SPVs estudados ao longo de 10 anos encontram-se indicados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5: Valores Atuais de Reabastecimento dos SPVs Estudados

Valores Atuais de Reabastecimento dos SPVs Estudados				
Fontes de energia	Consumo MJ/Km	Custo do MJ/Km	Custo/ano (US\$) 15.000 km	Principal P (US\$)
Elétrico	1,15	R\$ 0,16	\$ 1.213,37	\$ 7.455,65
Gasolina	3,35	R\$ 0,34	\$ 2.627,39	\$ 16.144,15
Diesel	3,81	R\$ 0,26	\$ 2.018,40	\$ 12.402,21
Biodiesel	3,37	R\$ 0,22	\$ 1.678,14	\$ 10.311,45
CNG	4,48	R\$ 0,18	\$ 1.418,38	\$ 8.715,33
SHEV (gasolina)	3,24	R\$ 0,33	\$ 2.532,49	\$ 15.561,04
PHEV (gasolina)	2,88	R\$ 0,29	\$ 2.225,52	\$ 13.674,85

O gráfico da Figura 3.8 ilustra os valores atuais dos custos de reabastecimento dos SPVs estudados.

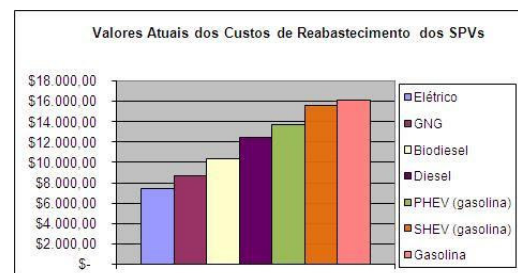


Figura 3.8: Valores Atuais dos Custos de Reabastecimento dos SPVs

O gráfico da Figura 3.8 indica que mesmo considerando os elevados tributos incidentes sobre o preço final da energia elétrica no Brasil, ainda assim, o veículo elétrico a bateria, apresenta um custo menor de reabastecimento ao longo da sua vida útil em relação aos demais SPVs estudados.

3.3.3 Cálculos dos Custos dos Danos das Emissões

As emissões anuais de CO₂ dos SPVs considerados podem ser obtidas de acordo com os dados da Tabela 3.3 e o gráfico da Figura 3.5. Com relação aos custos

sociais dos danos destas emissões, tomou-se como referência o valor adotado de U\$ 64,90 / tCO₂ no Technical Support Document da Environmental Protection Agency – EPA, dos Estados Unidos para o ano de 2010. Assim, o valor atual das emissões dos SPVs que utilizam combustíveis não renováveis foi então determinado conforme apresentado na Tabela 3.6 representados em seguida pelo gráfico da Figura 3.9, aplicando-se a equação (3) e as mesmas condições de prazo e taxa de atratividade.

Tabela 3.6: Valores Atuais dos Custos dos Danos dos SPVs

Valores Atuais dos Custos dos Danos dos SPVs					
Fontes de energia	kg co2 por km	kgCO2/ano 15.000 km	tCO2/ano 15.000 km	Custo U\$ tCO2/ano	Principal (U\$)
Elétrico	0	0	0,00	0,00	0,00
Gasolina	0,236	3540	3,54	229,75	1411,69
Diesel	0,236	3540	3,54	229,75	1411,69
Biodiesel	0	0	0,00	0,00	0,00
CNG	0,251	3765	3,77	244,35	1501,42
SHEV (gasolina)	0,229	3435	3,44	222,93	1369,82
PHEV (gasolina)	0,203	3045	3,05	197,62	1214,29
Valor da tCO2	\$ 64,90	R\$ 126,85	Taxa 10% aa n = 10 anos		

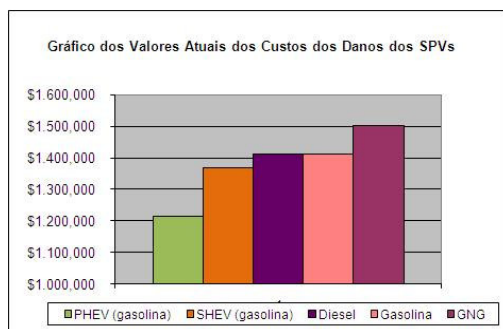


Figura 3.9: Gráfico dos Valores Atuais dos Custos dos Danos dos SPVs

Constata-se que a incorporação neste estudo dos custos de danos das emissões, propicia equilibrar os efeitos contraditórios da conjuntura econômica de forma que o SPV mais eficiente e menos emissor de CO₂ receba um nível de mérito coerente com estes princípios. De fato, apesar do SPV a GNV apresentar um custo de reabastecimento baixo em relação aos demais, verifica-se que o mesmo em termos do custo de dano é desvantajoso.

3.3.4 Combinação do Custo de Reabastecimento e de Danos das Emissões (Custo de Mérito)

A combinação dos valores atuais de reabastecimento da Tabela 3.5 e dos custos de danos relativo à emissão de CO₂ da Tabela 3.6 são indicados na Tabela 3.7 e referem-se aos custos de mérito dos SPVs. O gráfico da Figura 3.10 ilustra os cálculos realizados.

Tabela 3.7: Combinação dos Valores Atuais de Reabastecimento e de Danos das Emissões

Valores atuais de reabastecimento e de danos das emissões			
Fontes de energia	Reabastecimento (U\$)	Danos (U\$)	Custo Total (U\$)
Elétrico	7455,65	0,00	7.455,65
Gasolina	16144,15	1411,69	17.555,84
Diesel	12402,21	1411,69	13.813,90
Biodiesel	10311,45	0,00	10.311,45
CNG	8715,33	1501,42	10.216,74
SHEV (gasolina)	15561,04	1369,82	16.930,86
PHEV (gasolina)	13674,85	1214,29	14.889,15

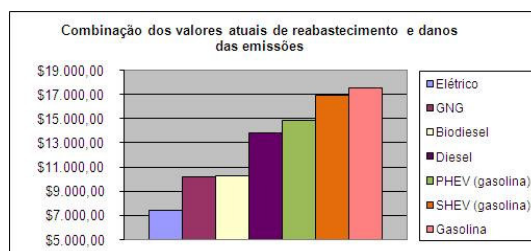


Figura 3.10: Combinação dos Valores Atuais de Reabastecimento e Danos das Emissões

3.3.5 Níveis de Mérito de Desempenho dos SPVs

O estabelecimento da ordem de mérito dos SPVs analisados tomou como referência o valor do veículo movido a gasolina e foi utilizado como dados os valores do custo dos combustíveis (em pu) e o custo do dano proveniente da emissão (em pu). A partir da soma destes valores, em pu, foi definida a ordem de mérito, demonstrada na Tabela 3.8 e na Figura 3.11.

Tabela 3.8: Dados Utilizados para Estabelecimento da Ordem de Mérito

ORDEM DE MÉRITO - reabastecimento e de danos das emissões			
Fontes de energia	PU base gasolina Reabastecimento	Custo p/km (U\$) Danos	Ordem de Mérito
Elétrico	0,46	0,00	0,46
Gasolina	1,00	1,00	2,00
Diesel	0,77	1,00	1,77
Biodiesel	0,64	0,00	0,64
CNG	0,54	1,06	1,60
SHEV (gasolina)	0,97	0,97	1,94
PHEV (gasolina)	0,86	0,86	1,72

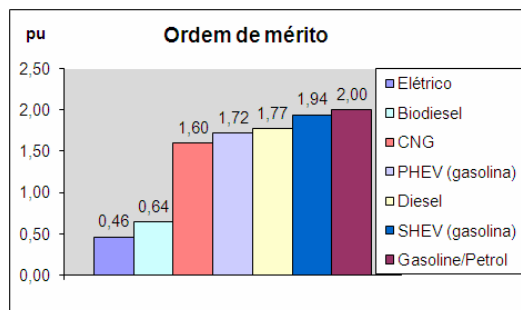


Figura 3.11: Ordem de Mérito

Os resultados da Figura 3.11 demonstram a importância da introdução de veículos elétricos híbridos do tipo “plug-in”, utilizando combustíveis renováveis de forma a se aproximarem da performance do veículo elétrico a bateria.

4 Conclusões e Considerações Finais

É complexa a análise de desempenho dos SPVs convencionais a combustão interna e dos veículos elétricos a bateria bem como os híbridos que estão entrando no mercado.

Caso se adote as diretrizes contidas nas normas ambientais é preciso que se obedeça à sua concepção de compensação de danos. Assim, a aquisição de um carro ao longo da sua vida útil causa danos decorrentes das suas emissões sem que estas sejam submetidas aos critérios de compensação que inspiram a norma legal. O trabalho em pauta procurou combinar a eficiência energética e as emissões de CO₂ dos SPVs estudados de tal forma que ambos sejam elementos comparativos para a identificação do mérito. Um terceiro aspecto subjacente refere-se aos custos de reabastecimento considerado essencial pelo usuário do veículo e o custo do dano que o usuário provoca e que, em geral, se isenta pela ausência de mecanismos para coibi-los.

O estudo evidenciou que o custo da eletricidade e dos combustíveis praticados no Brasil não são indicadores consistentes para atribuição de mérito energético dos SPVs analisados.

Outros combustíveis, como etanol, por exemplo, podem figurar nesta metodologia aqui proposta e também outras plataformas veiculares. Os cálculos desenvolvidos mostram que os critérios adotados são mais robustos em relação às contradições da conjuntura econômica que não obedece à lógica da eficiência energética. Com o método descrito o veículo mais eficiente e menos emissor obteve o menor custo de mérito. Além disto, a ordem encontrada é coerente com os SPVs analisados.

Ficou claro neste estudo a carência de políticas públicas no Brasil voltadas para os sistemas de propulsão veicular tendo em vista os resultados discrepantes influenciados pela forte carga tributária e subsídios cruzados que se sobrepõem nos preços das tarifas de energia elétrica e de combustíveis.

Os estudos apresentados estão sendo aprofundados pelo Laboratório de Sistemas de Propulsão Veicular e Fontes Eletroquímicas da UERJ e pela área automotiva do CEFET-RJ, que estão trabalhando em parceria para a inclusão de SPVs reabastecidos com etanol, inclusive nos sistemas elétricos híbridos. Tais estudos ensejam a proposição de procedimentos mais coerentes para a atribuição de tributos voltados para os veículos rodoviários no Brasil (DOMINGUES et PECORELLI PERES 2010).

O advento irreversível da tecnologia veicular elétrica no mercado impõe que de forma urgente sejam intensificadas as pesquisas e estudos de caráter institucional sobre os temas abordados.

5 REFERÊNCIAS

- ÁLVARES, OLÍMPIO DE MELO JR.; LINKE, RENATO RICARDO ANTÔNIO (2002) **Metodologia Simplificada de Cálculo das Emissões de Gases do Efeito Estufa de Frotas de Veículos no Brasil**. CETESB. São Paulo.
- BCB – BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Média anual da cotação do dólar no Brasil**. Acesso em 03 de fevereiro de 2011.
- DOMINGUES, J. M. et PECORELLI PERES (2010). **Veículo elétrico, políticas públicas e impostos**. Monitor Mercantil Digital de 22/01/2010, Coluna Opinião.
- EPE; TOLMASQUIM, MAURÍCIO TIOMNO; SERVA, GELSON BAPTISTA et al (2005). **Potencial de Redução de Emissões e CO₂ em Projetos de Produção e Uso de Biocombustíveis**. Empresa de Pesquisa Energética, EPE.
- OSTERMAYER, FELIPE (2004). **Estudo das emissões de gases formadores do efeito estufa e balanço resultante da conversão de motores a gasolina, de uma frota de veículos leves, para gás natural e álcool hidratado**. Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, RGS.
- PETROBRAS (janeiro de 2011). **Composição de preços**. <http://www.petrobras.com.br/pt/produtos/composicao-de-precos/>
- PACCA, S. (2009). **Veículos elétricos: uma esperança renovada de ganhos ambientais e econômicos para novos investidores em energia no Brasil**. Disponível em: http://146.164.33.61/termo/Motores/Trabalho%20motores/VE_UmaEsperancaRenovada.pdf
- PECORELLI PERES, L. A. (2000). **Avaliação dos Impactos Energéticos e Ambientais da Introdução dos Veículos Elétricos**, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, MG, Brasil.
- PUCCINI, A. L., MARQUES, J. L. M., HESS, G., PAES, L. C. M. R. (1969). **Engenharia Econômica e Análise de Investimentos**. Primeira Edição: FORUM EDITORA, Rio de Janeiro.
- SIMPSON, ANDREW G. (2005) **Parametric Modelling of Energy Consumption in Road Vehicles (PANVEC)**. Tese de Doutorado, The University of Queensland, School of Information Technology and Electrical Engineering, Austrália.