

## GERAÇÃO DISTRIBUÍDA ATRAVÉS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS

L. A. Pecorelli Peres (\*)      Lucia M. de Souza  
(estudante)  
Universidade do Est. do Rio de Janeiro - UERJ  
Brasil

Marcelo Peçanha      Edison Tito Guimarães  
Cogerar Sistemas de Energia  
Rio de Janeiro  
Brasil

### 1. SUMÁRIO

O ingresso do Brasil na tecnologia veicular elétrica híbrida através comercialização de ônibus deste tipo, permite visualizar diversas oportunidades de aplicação destes veículos. Soma-se a isto, o sucesso de automóveis elétricos híbridos lançados por conceituadas indústrias do ramo no exterior, o que demonstra o inequívoco surgimento de uma nova opção de transporte. Todavia, esta mudança está ocorrendo acompanhada de possibilidades mais abrangentes que não se limitam exclusivamente ao modo de tração destes veículos. Estudos conduzidos anteriormente preconizam a utilização da tecnologia veicular elétrica, no Brasil, não apenas como meio de transporte de baixo consumo e reduzidas emissões, pois estes veículos podem constituir uma opção de geração distribuída quando estiverem estacionados [1,2]. Neste caso, dois níveis principais de atuação são antevistos: o primeiro refere-se ao funcionamento puramente como gerador de energia elétrica, por exemplo, por ocasião de emergências na rede de energia. O segundo nível de emprego, mais sofisticado, remete ao funcionamento do veículo elétrico híbrido como *co-gerador*, isto é, com o aproveitamento das energias elétrica e térmica disponíveis. Este texto analisa o potencial de utilização destes ônibus em geração distribuída.

### PALAVRAS CHAVE

geração distribuída, veículos elétricos, energia, eficiência energética, meio ambiente, cogeração

### 2. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Este trabalho tem com objetivo discutir e apresentar com base na metodologia descrita uma

análise de desempenho do funcionamento do veículo elétrico híbrido como geração distribuída. Isto é viável pois em essência, entre os sistemas em uso, como por exemplo, o *série*, dispõe-se de um motor a combustão interna funcionando a velocidade praticamente constante, no ponto de máxima eficiência, acoplado a um gerador síncrono que quando necessário recarrega as baterias conectadas ao motor elétrico responsável pelo acionamento das rodas. Este conjunto funciona de forma otimizada. Devido a maior eficiência e as economias resultantes, veículos desta natureza podem ser concebidos agregados a dispositivos de ligação à rede elétrica e até mesmo à uma tubulação de fornecimento de água quente. Consta-se que este conceito amplia as opções de fornecimento de energia na rede de baixa tensão de modo a inseri-lo no planejamento e projeto das empresas. O investimento em novas frotas veiculares poderá, assim, agregar benefícios adicionais de auto produção de energia.

Diversas complexidades e dilemas acompanham este processo, uma vez que a indústria automobilística, em geral, não lida com as questões relacionadas ao fornecimento de energia. Cabe um exame técnico do assunto do ponto de vista das redes elétricas, da energia térmica e dos efeitos ambientais. Há ainda que se considerar as questões institucionais que muitas vezes tornam-se barreiras para o ingresso de efetivas alternativas neste campo.

A análise realizada neste trabalho procura examinar as relações de energia e custos dos combustíveis envolvidos supondo-se a utilização de veículos elétricos híbridos atuando como geradores e co-geradores. É indispensável destacar que o usuário do veículo elétrico híbrido ao adquiri-lo está investindo fundamentalmente na sua função de transporte. Portanto, pela função de gerador ou co-gerador estará pagando um custo adicional para exercê-la. Tal custo adicional é

encarado como a diferença existente entre o veículo do tipo convencional, cuja função é exclusivamente transporte e o veículo do qual poderá dispor da função de fornecimento de energia. Dependendo da utilização prevista para o VEH, pode resultar vantajoso este acréscimo se comparado com as aquisições de uma instalação geradora e de um veículo tradicional. Desta maneira, o texto é iniciado por uma descrição dos veículos elétricos híbridos e da sua concepção como um co-gerador sobre rodas. Com base nos dados disponíveis são então estudados casos hipotéticos. Os resultados mostram-se promissores ainda mais se considerando que a tecnologia veicular elétrica híbrida vem se implantando no Brasil. As conclusões apontam para um panorama bastante positivo a ser inserido na matriz energética com o ingresso desta tecnologia. Desta forma, sua atuação na geração distribuída se destaca ao se contemplar, por exemplo, a utilização do Diesel e do gás natural o que permite inferir também sobre o biodiesel. As possíveis formas de penetração desta tecnologia são examinadas no cenário vigente.

### 3. VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS

A Figura 1, em seguida, exibe o esquema típico do veículo convencional a combustão interna, aqui denominado por VCI, considerado neste trabalho. Nesta figura a sigla **m.c.i.** significa motor a combustão interna.

Figura 1 – Esquema Básico do VCI

**combustível** ⇒ **m.c.i** ⇒ **rodas**

A análise deste trabalho concentra-se no veículo elétrico híbrido, VEH, do tipo *série* com motor a combustão interna. Vale registrar que o termo híbrido expressa o uso de um combustível, como fonte de energia primária, aliada a pelo menos um motor elétrico para o acionamento das rodas através de um conversor apropriado. Pode-se ilustrar estes conceitos com o esquema da Figura 2, em seguida, onde, m.g.e. significa motor-gerador elétrico, ao qual se costuma incorporar um sistema de regeneração visando o aproveitamento da energia durante frenagens e percursos em declive.

Figura 2 – Esquema do Veículo Elétrico Híbrido Série

**combustível**                      **baterias**  
 ||                                      ||  
**m.c.i.** ⇒ **gerador** ⇔ **controle** ⇔ **m.g.e** ⇒ **rodas**

Como se observa, neste caso, o motor a combustão interna aciona um gerador elétrico que possibilita manter o banco de baterias existentes recarregado. Um controlador atua de forma a adequar a alimentação proveniente tanto do gerador como das baterias, sendo estas conectadas a um motor elétrico para acionar as rodas do veículo. Como se pode observar este veículo além de eliminar a necessidade de recarga das baterias pode ser reabastecido por um combustível típico a

exemplo do diesel. A sua autonomia é ampliada pelo fato de se otimizar a operação do motor a combustão e de tal forma que funcione com velocidade praticamente constante, em zonas de alto rendimento, deixando-se para as baterias as modulações da potência requeridas. Apesar da autonomia ser, em geral, mais ampla do que a de um veículo elétrico similar a bateria, este tipo de veículo não evita as emissões atmosféricas, ainda que bem sejam menores que a de um VCI tradicional, visto que o consumo específico é menor.

O conceito abordado neste trabalho amplia atuação do VEH que passa ser utilizado como fonte de energia descentralizada quando estacionado. Nos VEH do tipo *série* considera-se esta perspectiva uma consequência lógica já que se dispõe de um gerador síncrono cujo acoplamento à rede pode ser efetuado através de um transformador adequado. Nesta situação o veículo pode, então, produzir energia elétrica, conectado isoladamente à carga a ser atendida, ou, em nível mais sofisticado, ligado à própria rede.

Todavia, este esquema pode ser aprimorado pois é possível aproveitar a energia térmica produzida pelo motor a combustão interna existente. Nestas circunstâncias há necessidade de um acoplamento à tubulação local, por exemplo, de água quente, propiciando assim conceber um VEH *cogedor*. A Figura 3, a seguir, mostra como extensão do veículo híbrido da Figura 1 o esquema do *hipercarro* como fonte de energia:

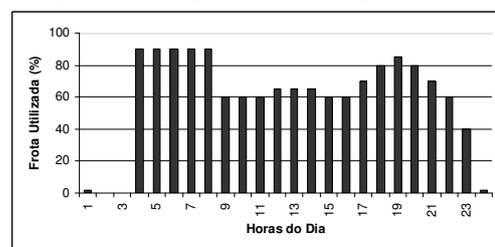
Figura 3 – VEH Estacionado Atuando como Fonte de Energia

**combustível**                      **baterias**  
 ||                                      ||  
**m.c.i.** ⇒ **gerador** ⇔ **controle** ⇔ **m.g.e** ⇒ **rodas**  
 ↓                                      ||  
**energia**    **controle** ⇒ **rede elétrica**  
**térmica**                                      **e comunicação**

### 4. CARACTERIZAÇÃO DA ANÁLISE

A análise realizada considerou uma frota típica de ônibus urbanos cuja curva de ocupação diária em termos percentuais é apresentada na Figura 4, a seguir [2].

Figura 4 – Ocupação Diária Típica da Frota



O complemento da Figura 4 representa a disponibilidade da frota, isto é, a quantidade de ônibus estacionados na garagem para atuar como geradores ou co-geradores. Para que os resultados pudessem ser

facilmente extrapolados para outras situações similares, admitiu-se um total de 100 ônibus e um percurso de 100 km, a uma velocidade média 20 km/hora. Tomou-se como referência dois tipos de VCIs: ônibus convencionais a Diesel e a gás natural. Estes foram comparados aos respectivos VEHs, isto é, ônibus elétrico híbrido a Diesel e ônibus elétrico híbrido a gás natural, atuando em três funções apenas como transporte, como transporte e geração de energia elétrica bem como transporte e co-geração. Para realizar os cálculos considerou-se VCIs típicos de 210 HP. VEHs similares, em termos de capacidade de passageiros, foram admitidos com um esquema do tipo *série*, MCI de 80 HP acoplado a um gerador síncrono trifásico, 440 V, operando com ponte retificadora. Este conjunto é associado ao controlador eletrônico por “chopper” a IGBT e banco de baterias que suprem um motor de corrente contínua para tração das rodas com potência nominal de 120 kW e potência máxima de 240 kW, a 1800 e 3600 RPM, respectivamente [3]. Procurou-se com isto reproduzir as características inerentes dos ônibus fabricados no Brasil. Além disto, a Tabela 1, a seguir, apresenta a lista de dados básicos que foram assumidos, conforme referências [2, 4, 5, 6]. Para a avaliação das emissões estes dados foram complementados pela Tabela 2 [5,6], 3 e 4.

Tabela 1 – Lista de Dados Básicos

Dados	Valor
Fator de Utilização da Frota para Transporte [2]	0,6
Fator de Disponibilidade da Frota [2]	0,4
Poder Calorífico do Diesel (kcal/kg) [2]	10280
Poder Calorífico do GN (kcal/m <sup>3</sup> ) [7]	9850
Massa Específica do Diesel (kg/m <sup>3</sup> ) [2]	839
Massa Específica do GN (kg/m <sup>3</sup> ) [9]	0,74
Consumo Específico do VCI a Diesel (l/km) [4]	0,65
Consumo Específico do VEH a Diesel (l/km) [4]	0,50
Consumo Específico do VCI a GN (m <sup>3</sup> /km) [5]	0,57
Consumo Específico do VEH a GNV (m <sup>3</sup> /km)	0,44
Preço do Diesel (R\$/l **)	1,40
Preço do GNV (R\$/m <sup>3</sup> **)	1,10
Preço de Referência do GN (R\$/m <sup>3</sup> **)	1,88
Rendimento do MCI do VCI (%) [2]	0,20
Rendimento do MCI do VEH (%) (*) [2]	0,26
Rendimento do Gerador do VEH (%)	0,96

Obs.: (\*) Funciona com velocidade praticamente constante; (\*\*) valores de referência com impostos, referência Novembro/2003.

Tabela 2 - Fatores de Emissão para Motores a Diesel

Poluente	CO	CH <sub>4</sub>	NMCOV	NO <sub>x</sub>	MP
FE (g/kWh)	4,00	0,60	0,50	7,00	0,15

Obs: FE - fator de emissão; CH<sub>4</sub> (metano) e NMCOV (compostos orgânicos voláteis exclusive metano) constituem os hidrocarbonetos totais (HC=1,1g/kWh); NO<sub>x</sub> - óxidos de nitrogênio, respectivamente; MP - material particulado.

Tendo em vista o consumo específico do VCI a Diesel, a velocidade média, o percurso, o poder calorífico do

combustível e o rendimento do MCI foi possível estimar a potência média utilizada durante os trajetos, igual a 17 % da potência total do MCI. Este cálculo forneceu os fatores de emissão em g/km expressos na Tabela 3, requeridos para avaliar os níveis de emissão anuais, conforme equação 1 as unidades das grandezas vem expressas .

$$FE' = (FE \times P_m) / V_m \quad (1)$$

Onde:

FE' - fator de emissão em g/km

FE - fator de emissão em g/kWh

P<sub>m</sub> – Potência média utilizada no percurso em kW

V<sub>m</sub> – velocidade média do percurso em km/h

Tabela 3 - Fatores de Emissão dos VCIs a Diesel para as Condições Consideradas de Percurso

Poluente	CO	HC	NO <sub>x</sub>	MP
FE (g/km)	5,22	1,43	9,13	0,20

Quanto aos fatores de emissão relacionados com os VCI's a gás natural, supôs-se a utilização do ciclo Otto para o seu funcionamento, conforme [6]. A averiguação das emissões dos hidrocarbonetos totais foram consideradas separando-se o metano CH<sub>4</sub> com 1,9 g/kWh, dos compostos voláteis orgânicos exclusive metano, NMCOV com 0,4 g/kWh. Isto se deve a sua importância em termos dos impactos sobre o efeito estufa, pois como pode-se verificar são bem maiores que o Diesel. A tabela 4, de acordo com [5], apresenta estes dados:

Tabela 4 - Fatores de Emissão para Motores a GN

Poluente	CO	CH <sub>4</sub>	NMCOV	NO <sub>x</sub>	MP
FE (g/kWh)	2,00	1,90	0,40	3,50	0,01

Atribuindo-se um cálculo análogo ao anterior, para o Diesel, foi possível converter os dados indicados em g/kWh da tabela anterior para g/km, conforme Tabela 5, a seguir.

Tabela 5 - Fatores de Emissão dos VCIs a GNV para as Condições Consideradas de Percurso

Poluente	CO	CH <sub>4</sub>	NMCOV	NO <sub>x</sub>	MP
FE (g/km)	2,59	2,46	0,52	4,54	0,01

De acordo com [3] o ônibus híbrido elétrico a Diesel apresenta uma redução de cerca de 60% dos fatores de emissão relacionadas na Tabela 2 que correspondem a norma europeia EURO II. Devido a escassez de dados para ônibus híbrido elétrico a gás natural deste porte, supôs-se de forma aproximada que ocorra a mesma redução apontada. Neste é utilizada uma potência média de cerca de 44% da potência total do MCI do VEH. Empregando-se novamente a equação (1) obtém-se então os fatores de emissão convertidos para g/km

correspondentes ao VEH a Diesel e a gás natural reunidos nas Tabelas 6 e 7 respectivamente, conforme segue.

Tabela 6 - Fatores de Emissão dos VEHs a Diesel para as Condições Consideradas de Percurso

Poluente	CO	HC	NO <sub>x</sub>	MP
FE (g/km)	3,13	0,86	5,48	0,12

Tabela 7 - Fatores de Emissão dos VEHs a GNV para as Condições Consideradas de Percurso

Poluente	CO	CH <sub>4</sub>	NMCOV	NO <sub>x</sub>	MP
FE (g/km)	1,58	1,50	0,32	2,76	0,01

Para a operação do VEH como gerador foi assumido um valor médio correspondente a 55% da sua potência aparente. Deste modo, sob um fator de potência igual a 0,92, dispõe-se de 37 kW/ônibus, já descontadas as perdas inerentes da conexão à rede que deseja-se suprir.

## 5. METODOLOGIA

A análise focalizou os custos operacionais anuais decorrentes do consumo dos combustíveis considerados e na avaliação das emissões locais uma vez que estes valores são decisivos para revelar o potencial de emprego da tecnologia veicular elétrica híbrida na geração descentralizada. Para uma melhor sistematização, o Caso A, visualizou a oportunidade de utilizar o ônibus elétrico híbrido apenas como meio de transporte. No Caso B, são consideradas a função transporte e a de gerador elétrico. Para isto, foi estabelecido um indicador, K1, conforme equação 2, referente ao custo unitário do combustível utilizado em relação a energia elétrica produzida, para efeito de uma comparação preliminar com as tarifas típicas praticadas por concessionárias de eletricidade.

$$K1 = CC / WE \quad (2)$$

Onde:

K1- custo unitário do combustível para a produção de energia elétrica (R\$/MWh)

CC - custo do combustível

WE - energia elétrica produzida (MWh)

O Caso C supôs-se o ônibus elétrico híbrido funcionando como uma unidade de co-geração, acrescentando-se à avaliação anterior os ganhos adicionais com o aproveitamento de parte da energia térmica disponível que seria totalmente dissipada. Neste sentido, conforme referência [8], caso sejam acoplados os dispositivos apropriados, é notória a recuperação de calor que pode ser conseguida. De fato, a fonte de calor mais importante corresponde a fração originada do sistema de refrigeração do motor que permite o aproveitamento em termos de água quente e vapor e que alcança cerca de 46%. Ressalve-se que 50% da água quente pode ser, por exemplo, destinada à produção de

água gelada. Uma segunda fração corresponde ao calor residual associado ao sistema de lubrificação que é recuperável. A terceira fração térmica se refere aos gases de escapamento do motor que também são economicamente utilizados. Estas frações apresentam excelentes rendimentos e apenas uma pequena proporção da ordem de 8% é perdida por radiação. No trabalho em pauta, por se tratar de uma análise indicativa, estas diversas frações foram agregadas num único fator de aproveitamento de energia térmica para o qual foram admitidos diversos níveis. Supondo-se que a energia térmica fosse adquirida de uma concessionária de gás natural ao invés de produzida localmente, obteve-se um abatimento do dispêndio com o combustível para co-geração o que permitiu estabelecer o indicador, K2 em função de K1, expresso na equação (3), conforme segue:

$$K2 = K1 - [PC_{GN} \times PR_{GN} \times FA \times \{(WC/WE) - 1\}] \quad (3)$$

$$K2 < K1, \quad WC > WE \text{ e } FA < 1$$

Onde:

K2 - custo unitário do combustível para a produção de energia elétrica com aproveitamento térmico (R\$/MWh)

PC<sub>GN</sub> - poder calorífico do GN expresso em MWh/m<sup>3</sup>

PR<sub>GN</sub> - preço do GN em R\$/m<sup>3</sup>

FA - fator de aproveitamento da energia térmica disponível sendo esta igual a (WC - WE)

WC - energia total do combustível utilizada para co-geração (MWh)

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Caso A – Função Transporte

Este caso vem apresentado nas Tabelas 8 e 9. A Tabela 8, a seguir, expõe as emissões anuais dos ônibus em exame decorrentes dos percursos realizados.

Tabela 8 – Emissões Anuais do Caso A

Tipo de Ônibus	Emissões Anuais (t)					
	CO	HC	CH <sub>4</sub>	NMCOV	NO <sub>x</sub>	MP
Diesel	11,4	3,1	-	-	20,0	0,4
GN	5,7	-	5,4	1,1	9,9	-
OEH Diesel	6,9	1,9	-	-	12,0	0,3
OEH GN	3,5	-	3,3	0,7	6,0	-

Obs.: OEH – ônibus elétrico híbrido

A Tabela 9 expõe os consumos de combustível e os custos correspondentes.

Tabela 9 - Consumos e Custos Anuais x 10<sup>6</sup>

Consumo e Custos	Tipos de Ônibus			
	Diesel	OEH Diesel	GN	OEH GN
Consumo	1,42	1,09	1,24	0,95
Custo (R\$)	1,99	1,53	1,36	1,04

Obs. Consumo de Diesel em litros e de GN em m<sup>3</sup>.

Para este caso observa-se um ganho por ônibus com a economia anual de combustível da ordem de  $4,6 \times 10^3$  R\$/ônibus para o híbrido a Diesel. Este ganho é um pouco menor para o ônibus elétrico híbrido a GN, cerca de  $3,1 \times 10^3$  R\$/ônibus.

## 6.2 Caso B – Função Transporte - Gerador Elétrico

Esta condição não se revelou atrativa para fornecimentos de energia fora da ponta. Isto pode ser observado através dos valores calculados para K1 na Tabela 10, a seguir, pois são superiores às tarifas praticadas fora deste horário. Sendo o período de ponta de 18 às 21 horas, verifica-se também que a disponibilidade da frota fica reduzida a um baixo fator de uso de cerca de 0,03 anual para a atividade de geração, já descontados os fins de semana. Isto pode ser deduzido da Figura 4 na qual se observa a grande utilização da frota nas horas de ponta. Admitindo-se uma tarifa de 1,06 R\$/kWh neste horário para os dias úteis, a geração total anual de 643,65 MWh proporcionou, mesmo assim, um aumento significativo dos ganhos com cada ônibus em relação ao Caso A pois, quase chegam a duplicar. Este resultado mostra que a função transporte realizada pelo OEH em conjunto com a função gerador permite uma amplificação de ganhos maior do que aquela que seria conseguida com apenas a duplicação do percurso por dia no Caso A com o ônibus convencional, em especial para o OEH a Diesel, cujo ganho, neste caso, ultrapassa o OEH a GN.

Tabela 10 - Indicador K1 e Ganho/km do Caso B

Tipo de ônibus	K1 (R\$/kWh)	Ganho (R\$/ônibus)x10 <sup>3</sup>
OEH Diesel	0,56	7,8
OEH GN	0,38	7,5

É também interessante notar que nesta condição apesar da função gerador de energia elétrica aumentar as emissões totais, elas são inferiores aos montantes encontrados para os ônibus convencionais correspondentes, conforme pode ser visto na Tabela 11, a seguir, comparando-se com aqueles da Tabela 8.

Tabela 11- Emissões Anuais do Caso B

Tipo de Ônibus	Emissões Anuais (t)					
	CO	HC	CH <sub>4</sub>	NMCOV	NO <sub>x</sub>	MP
OEH Diesel	9,5	2,6	-	-	16,7	0,4
OEH GN	4,8	-	4,6	1,0	8,4	-

## 6.3 Caso C – Função Transporte - Co-Geração

O indicador K2, conforme equação 3, foi utilizado para avaliação deste caso. Três níveis agregados de aproveitamento térmico, FA, foram considerados: 0,3, 0,5 e 0,7. Para efeito de comparação admitiu-se uma tarifa média de 0,30 R\$/kWh. Nesta situação com o ingresso da co-geração, o fornecimento de energia elétrica torna-se atrativo em horários de ponta e fora da ponta permitindo que hajam ganhos consideráveis por

ônibus para valores de  $FA \geq 0,5$ . Com isto aproveita-se inteiramente a disponibilidade da frota o que propicia uma geração anual de 12899 MWh. A Tabela 12 apresenta o indicador K2 e o ganho por ônibus a Tabela 13 exprimem os resultados das emissões:

Tabela 12 – Indicador K2 e Ganho/ônibus

Tipo de ônibus	FA	K2 R\$/kWh	Ganho (R\$/ônibus)x10 <sup>3</sup>
OEH Diesel	0,3	0,41	(*)
	0,5	0,32	(*)
	0,7	0,22	15,1
OEH GN	0,3	0,24	11,0
	0,5	0,14	23,6
	0,7	0,04	36,2

(\*) Não se mostra atrativo

Tabela 13- Emissões Anuais do Caso C

Tipo de Ônibus	Emissões Anuais (t)					
	CO	HC	CH <sub>4</sub>	NMCOV	NO <sub>x</sub>	MP
OEH Diesel	60,6	16,7	-	-	106,0	2,3
OEH GN	30,3	-	28,8	6,1	53,1	0,2

Visando avaliar a sensibilidade desta condição em relação ao aumento de geração e ao aumento de percurso diário, três simulações adicionais foram examinadas com  $FA=0,7$ . Na primeira a potência média foi elevada de 55 para 85%, correspondendo a 57 kW/ônibus e uma geração anual igual a 19934 MWh. Na segunda, apenas a o percurso diário foi aumentado de 100 km/dia para 200km/dia. Quanto a terceira combinaram-se as duas anteriores, isto é, a potência média de 85% com o percurso de 200 km/dia, refletindo assim uma condição mais realista para o cenário em pauta. Para maior conveniência desta comparação foi construída a Tabela 14 com os resultados destas simulações transcrevendo-se os resultados com  $FA=0,7$ , da Tabela 12. Na Tabela 14 foram também apresentados os aumentos de ganho obtidos e indicados por  $\Delta$  tomando como base a primeira linha referente à  $FA=0,7$ , potência média, 55% e o percurso de 100 km

Tabela 14 - Sensibilidade ao Aumento de Geração e Aumento de Percurso ( FA= 0,7)

Pot. Média (%)	Percurso km/dia	Ganho (R\$/ônibus)x10 <sup>3</sup>			
		OEH Diesel	$\Delta$ (%)	OEH GN	$\Delta$ (%)
55	100	15,1	-	36,2	-
85	100	20,8	38	54,2	50
55	200	19,7	30	39,3	8
85	200	25,4	68	57,3	58

Estas situações estudadas no Caso C evidenciam a conveniência de se utilizar frotas de OEH em co-geração. Além disto, mostram também que a atividade co-geração suplanta a atividade transporte em termos de ganhos esperados, já que os acréscimos de percurso são bem menos eficazes que os acréscimos de potência na obtenção de ganhos mais elevados, principalmente para

o OEH a GN. Todavia, o preço do OEH é mais elevado que o do ônibus convencional. Esta diferença é atualmente estimada em R\$ 75000,00/ônibus do porte desta análise. Assumindo-se que os investimentos das instalações de co-geração pudessem alcançar cifras da ordem de R\$ 25000,00/ônibus, mesmo assim, pode-se inferir um baixo tempo de retorno, menor que 2 anos, para os ganhos anuais encontrados com FA=0,7, potência média 85%, 200 km/dia e OEH a GN, em conformidade com o resultado da análise financeira procedida em [2]. A Tabela 15 completa a avaliação de sensibilidade mostrando as emissões totais alcançadas tanto para percursos de 100 como de 200 km

Tabela 15 – Emissões Anuais do Caso C (Potência Média 85%, Percursos de 100 e 200 km e FA=0,7)

OEH		Emissões Anuais (t)					
		CO	HC	CH <sub>4</sub>	NMCOV	NO <sub>x</sub>	MP
D	100	89,9	24,7	-	-	157,3	3,4
GN	100	44,9	-	42,7	9,0	78,7	0,2
D	200	96,8	26,6	-	-	169,3	3,8
GN	200	48,4	-	46,0	9,7	84,8	0,3

## 7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho procurou de uma forma sistemática apresentar novas possibilidades de aplicação da tecnologia veicular elétrica híbrida. Para isto, foi considerado o ônibus elétrico híbrido do tipo *série* a Diesel e GN os quais foram comparados aos veículos convencionais similares. Neste sentido, estabeleceram-se os Casos A, B e C de forma a contemplar o ônibus funcionando apenas como transporte, ele como transporte e gerador e também como transporte e co-gerador, respectivamente.

A metodologia utilizada permitiu descortinar resultados indicativos de cada caso de forma a revelar o potencial da tecnologia veicular elétrica híbrida cuja viabilidade, no Caso B, ficou restrita ao emprego do OEH em emergência ou em horários de ponta.

Ao contrário, os resultados encontrados para o Caso C são bem mais promissores pois ampliam de maneira considerável as perspectivas de emprego da tecnologia veicular elétrica híbrida quando são agregadas as funções transporte e co-geração. Nestas circunstâncias, visualizam-se possibilidades inovadoras para os projetos de geração distribuída [9]. De fato, o Caso C permite conceber projetos atrativos onde há necessidade de transporte para locais em que o consumo de energia, tanto elétrica, quanto térmica sejam intensos. Isto ocorre, por exemplo, em grandes centros de compras (“shopping centers”). Ao invés de serem equipados com instalações convencionais de co-geração, e atendidos por empresas de transporte coletivo que visam facilitar o maior acesso dos consumidores às lojas e serviços oferecidos cabe verificar a viabilidade destas duas funções serem realizadas com base em frotas de OEH, em especial, empregando-se o GN[5]. Nestes termos conferem-se excelentes oportunidades de ganhos com rápidos retornos e com menores impactos para o meio

ambiente, uma vez que a função transporte é realizada com baixas emissões e baixo consumo de combustível. É recomendável, portanto, o incremento dos recursos destinados às pesquisas visando um maior desenvolvimento da tecnologia veicular elétrica híbrida no Brasil aliado ao estabelecimento de políticas públicas consistentes em seu benefício, tendo em vista ser constatada uma maior eficiência energética e menores impactos ao meio ambiente.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] Pecorelli Peres, L.A.; Hollanda, J. B. *Análise das Possibilidades da Utilização de Veículos Elétricos Híbridos na Geração Distribuída Móvel*. Comitê 37 – Planejamento e Desenvolvimento de Sistema de Potência, X ERLAC, CIGRÉ, Puerto Yguazú, Argentina, Maio de 2003.
- [2] Guimarães, Edson T. *Uso da Energia Térmica dos VEH*, 1<sup>o</sup> Workshop sobre Veículo Elétrico Híbrido no Brasil promovido pelo INEE - Instituto Nacional de Eficiência Energética, São Paulo, SP, Brasil, Abril de 2003.
- [3] ELETRA Tecnologia em Tração Elétrica - *Veículo Híbrido a Tração Elétrica*, Publicação Informativa da ELETRA, São Paulo, SP, Brasil, Junho de 2001.
- [4] Ribeiro, S. Kahn. *Emissões do Veículo Convencional e de VEHS: Resultados Medidos*, 1<sup>o</sup> Workshop sobre Veículo Elétrico Híbrido no Brasil promovido pelo INEE - Instituto Nacional de Eficiência Energética, São Paulo - SP, Brasil, Abril de 2003.
- [5] Ribeiro, S. Kahn (organizadora). *Estudo das Vantagens Ambientais do Gás Natural Veicular: O Caso do Rio de Janeiro*, Centro Clima - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, 2001.
- [6] PETROBRAS/CENPES – *Limites de Emissão para Motores de Veículos Pesados*, Tabela de Divulgação, 1998.
- [7] Goldemberg, José. *Propriedades e Conversões de Energéticos*, publicado pela revista Mundo Elétrico, pág. 37, São Paulo, SP, Janeiro de 1987.
- [8] Lizarraga, Jose M. Sala; *Cogeneracion Aspectos termodinámicos, tecnológicos y económicos*, Bilbao, Euskal Herriko Uniberstitateko Argitarapen Zerbitzua, 1<sup>a</sup> edição, 1999, ISBN: 84-7585-571-7.
- [9] Editorial Board of IEEE Power Engineering Review - *Future EVs May Help Power your Home*; July 2001, Vol. 21, No 7, pg. 48.

**Nota:** Este trabalho em parceria com a COGERAR – Sistemas de Energia. foi elaborado no âmbito do Grupo de Estudos de Veículos Elétricos ([www.gruve.eng.uerj.br](http://www.gruve.eng.uerj.br)), que funciona na Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ.

### Agradecimento

À FAPERJ – Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro pelo apoio na concessão de bolsa de Iniciação Científica em projeto de pesquisa relacionado com veículos elétricos concedido a estudante de Engenharia da UERJ, Lucia M. de Souza, participante deste trabalho.