

**FUCAPE WORKING PAPERS**

**O Valor da flexibilidade de veículos convertidos para o GNV**

Graziela Fortunato (FUCAPE Business School)  
Sergio Bastos (PUC-RJ)

No.27 / (Dezembro) 2010

# O Valor da flexibilidade de veículos convertidos para o GNV

Sergio Bastos e Graziela Fortunato

## Resumo

O uso do gás natural como fonte de energia no setor de transportes surgiu como uma alternativa menos danosa ao meio ambiente, além de ser encontrado de forma abundante na natureza. Embora não seja uma fonte renovável, é uma alternativa ao uso da gasolina em veículos, uma vez que as propriedades químicas do gás natural permitem sua utilização como combustível em motores que funcionam por meio de ignição por centelhamento. Veículos leves (automóveis particulares ou comerciais) podem ser fabricados com a possibilidade de uso de mais de um combustível (*flex*), usualmente gasolina e etanol, ou ainda serem convertidos ao Gás Natural Veicular (GNV). Neste estudo, utiliza-se a metodologia de opções reais para valorar a flexibilidade obtida pela conversão de veículos leves movidos a gasolina para o GNV, considerando que existem incertezas quanto à evolução futura dos preços dos combustíveis alternativos e o risco de escassez do GNV. Os resultados evidenciam que há uma vantagem significativa nessa decisão.

## Introdução

Dentre tantos setores econômicos dinâmicos e essenciais do ponto de vista macroeconômico, o de energia destaca-se nos dias de hoje como foco das atenções de governos, investidores, profissionais das mais diversas áreas e da população em geral. A questão energética está na agenda política e econômica das mais diversas esferas empresariais, políticas e sociais. Dentre as inúmeras implicações desse setor para a economia, destacam-se duas grandes ameaças: 1) a inexistência de uma oferta segura de energia, incluindo tanto aspectos de garantia de fornecimento quanto de preços acessíveis e 2) danos ao meio ambiente causados por fontes poluentes de energia (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2006). Ambas as ameaças impactam o bem estar e a qualidade de vida da população mundial; a primeira em sua relação direta com o crescimento econômico e a segunda em função dos desequilíbrios ambientais decorrentes de uma matriz energética poluente e não renovável.

Possíveis soluções para uma dessas ameaças tendem a implicar na deterioração da outra, acarretando fatores como: i) eventos que desestabilizam áreas geopolíticas produtoras de energia, com destaque para o petróleo; ii) importância do uso de energia para o crescimento econômico das nações; iii) matriz energética mundial ainda dependente de fontes de energia finitas e altamente poluentes; iv) baixa segurança institucional e regulatória em alguns países produtores importantes e v) danos graves e irreversíveis ao meio ambiente, com

destaque para o aquecimento global decorrente das emissões de CO<sub>2</sub>. Em suma, o setor de energia encontra-se num momento crucial em que os padrões de suprimento e de consumo são notadamente insustentáveis (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2008).

Neste contexto, a necessidade da integração de políticas energéticas e políticas ambientais como, por exemplo, o incentivo à produção mais eficiente e menos danosa ao meio ambiente, já é uma realidade.

O uso do gás natural como fonte de energia no setor de transportes surgiu como uma alternativa menos danosa ao meio ambiente que também é encontrada de forma abundante na natureza. As propriedades químicas do gás natural são tais que permitem substituir combustíveis de motores que funcionam por meio de ignição por centelhamento como gasolina e etanol. No Brasil, este combustível é o chamado Gás Natural Veicular (GNV).

Veículos leves, como automóveis particulares ou comerciais, podem ser fabricados com a possibilidade de uso de mais de um combustível (os chamados *flex*), usualmente gasolina e etanol, ou serem convertidos ao GNV. Conversão é o processo de adaptação do veículo que consiste na adição de um conjunto de equipamentos, chamado *kit* gás, que compreende um reservatório para o GNV, rede de tubos de alta e baixa pressão, regulador de pressão, válvula de abastecimento, dispositivo de troca de combustível e indicadores de condições do sistema (SCHWOB ET AL. 2003).

Um veículo movido a gasolina ou etanol embute a opção de ser convertido para o GNV. Feita a conversão, o veículo passa a ter a opção da troca de uso de combustível. Do ponto de vista do dono do veículo, a cada utilização do mesmo a opção pelo combustível pode ser tomada, já que por meio de uma chave o sistema pode ser alterado para receber um ou outro combustível. De forma simplificada, pode-se admitir decisões sobre o combustível a cada abastecimento ou a cada uso (BASTIAN-PINTO, BRANDÃO e ALVES, 2010).

Existem vários benefícios econômicos do uso do GNV: (i) menor custo de combustível; (ii) redução do IPVA – Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores; (iii) menor custo de manutenção dos motores em função do menor desgaste; (iv) menor custo de lubrificantes em função de maiores intervalos de troca; (v) redução de perdas de combustível que, por ser gasoso, necessita ser manipulado e armazenado isolado da atmosfera. Além disso, há uma redução da poluição atmosférica, pois a combustão tende a ser completa liberando apenas dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (HILGEMBERG e GUILBOTO, 2006) e água (H<sub>2</sub>O) (BERMANN, 2002; SANTOS, 2002; PRAÇA, 2003).

O custo da conversão de veículos leves movidos a gasolina ou etanol para o GNV varia de R\$ 2,2 mil a R\$ 3,5 mil, dependendo do modelo do veículo. Como pontos negativos à

conversão, veículos movidos a GNV tendem a perder potência e espaço interno devido ao peso e volume ocupado pelo cilindro do reservatório de gás.

A decisão de conversão depende de vários fatores como o custo de conversão, a evolução futura dos preços dos combustíveis em consideração e a possibilidade de escassez do GNV. Postos de abastecimento de GNV não são encontrados a cada cidade ou estrada com a mesma capilaridade dos postos de abastecimento de gasolina e etanol. Independentemente da decisão econômica baseada no preço dos combustíveis, o proprietário pode ser forçado a abastecer e utilizar a gasolina, que é um combustível mais caro, em detrimento do GNV que é mais barato, porém indisponível. A análise tradicional pelo método do Fluxo de Caixa Descontado não permite determinar o valor desta opção de conversão, portanto, métodos de apreamentos de opções precisam ser utilizados para esta avaliação.

Dessa forma, o objetivo desse estudo é responder à seguinte pergunta: qual o valor da flexibilidade obtida pela conversão de um veículo leve movido à gasolina para o gás natural veicular (GNV), utilizando a metodologia de opções reais?

Este artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2, é apresentado um breve levantamento dos trabalhos acadêmicos relacionados e uma retrospectiva sobre o mercado de GNV. Na parte 3 são mostradas a modelagem e a aplicação proposta, em seguida, a discussão dos resultados e uma análise de sensibilidade. Por fim, na seção 5, a conclusão.

## **Revisão Literatura**

Veículos *flex* ou multi-combustível são uma realidade no Brasil. Bastian-Pinto, Brandão e Alves (2010) calcularam o valor da flexibilidade de troca entre gasolina e etanol em veículos de combustível *flex*, demonstrando através da metodologia de opções reais, o valor adicionado ao ativo.

Considerando que a restrição de oferta é o maior impedimento à maior utilização do GNV, Coutinho et al. (2004) utilizam a teoria dos jogos para analisar o conflito de interesses entre fornecedor e distribuidor que contribui para tal limitação de oferta. Já Royer, Fettermann e Silva (2007) procuram contextualizar o processo decisório de taxistas no Rio Grande do Sul ao optar pelo GNV, por meio da comparação de percepções das vantagens e desvantagens do GNV em dois momentos: 2001 e 2006. São apontados atributos associados ao serviço do gás natural: espera em postos, garantia de preço, redução de IPVA, oferta de postos, continuidade do abastecimento e confiabilidade do abastecimento; e associados ao produto gás natural:

preço, impacto ambiental, segurança, custo de conversão, garantia de fábrica após conversão e fabricação com motor a gás e, novamente, a restrição de oferta ou escassez do GNV.

Por outro lado, Brandão Filho (2005) desenvolveu uma metodologia para estudar as preferências dos consumidores de combustível, com enfoque no gás natural veicular, utilizando dados conjuntos de preferências reveladas e declaradas e concluiu que o uso de GNV possui um grande potencial de crescimento. Este estudo também indica que a acessibilidade aos postos é um ponto relevante na expansão da demanda por GNV, enquanto que o preço já contribuiu para essa expansão, revelando que a demanda reprimida atual não é influenciada pelo preço. Esse ponto já havia sido levantado por Praça (2003) que se preocupou com a infra-estrutura de distribuição de gás natural e desenvolveu um modelo matemático e programação linear a ponto de reduzir o custo de distribuição.

De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2009, emitido pelo Ministério das Minas e Energia, a participação do gás natural na oferta de energia interna evoluiu da seguinte forma: 0,3% em 1970, 1,0% em 1980, 3,1% em 1990, 5,4% em 2000 e 10,3% em 2008. Além disso, destaca-se uma evolução da parcela das fontes renováveis de 2004 (43,8%) para 2008 (45,9%). A Tabela 1 mostra a participação do gás natural na matriz energética brasileira, em termos de oferta interna de energia, comprovando sua importância e sua evolução. Segundo Prates et al. (2006), o gás natural deixou de ser um simples subproduto na produção de petróleo e tornou-se uma alternativa energética estratégica para o país. Seu estudo mostra ainda que em 2005, o maior consumidor de gás natural em volume de venda foi o segmento industrial (57%), seguido do segmento de geração e co-geração de eletricidade (27,1%), consumo automotivo (13,2%), residencial (1,5%) e comercial (1,2%). Desde 2000, a oferta interna de gás natural no país tem crescido a uma taxa média (17%aa) superior ao crescimento médio da economia e do crescimento médio da oferta interna de energia.

**Tabela 1** – Oferta Interna de Energia do Brasil.

<b>Fontes</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
<b>Energia não renovável</b>	<b>120.103</b>	<b>121.350</b>	<b>124.464</b>	<b>129.102</b>	<b>136.616</b>
Petróleo e derivados	83.648	84.553	85.545	89.239	92.410
Gás natural	19.061	20.526	21.716	22.199	25.934
Carvão mineral e derivados	14.225	13.721	13.537	14.356	14.562
Urânio e derivados	3.170	2.549	3.667	3.309	3.709
<b>Energia renovável</b>	<b>93.642</b>	<b>97.314</b>	<b>101.880</b>	<b>109.656</b>	<b>115.981</b>
Hidráulica e eletricidade (*)	30.804	32.379	33.537	35.505	35.412
Lenha e carvão vegetal	28.203	28.468	28.589	28.628	29.227
Derivados da cana-de-açúcar	28.775	30.147	32.999	37.847	42.866
Outras renováveis	5.860	6.320	6.754	7.676	8.475
<b>Total</b>	<b>213.744</b>	<b>218.663</b>	<b>226.344</b>	<b>238.758</b>	<b>252.596</b>

Fonte: Balanço Energético Nacional 2009. <https://ben.epe.gov.br>, acessado em 14/04/2010.

Valores em mil tep (tonelada equivalente de petróleo).

(\*)1 kWh = 860 kcal (equivalente térmico teórico - primeiro princípio da termodinâmica).

De acordo com o Balanço Energético Nacional 2009 (Tabela 2), nota-se a evolução do segmento automotivo no consumo total do gás natural no Brasil. A participação do GNV evoluiu de um patamar de 3,1% em 2000 para 9,1% em 2008, tendo apresentado um patamar ainda maior em 2007 (11,2%). Destaca-se também a dependência brasileira em relação ao gás importado, também destacado no estudo de Prates et al. (2006). Em 2008, a importação representou 42,3% do consumo, tendo chegado a um patamar ainda maior em 2007 (45,1%).

**Tabela 2 – Produção e Consumo de Gás Natural.**

IDENTIFICAÇÃO	1970	1980	1990	2000	2005	2006	2007	2008
Produção	1.264	2.205	6.279	13.283	17.699	17.706	18.152	21.593
Importação	0	0	0	2.211	8.998	9.789	10.334	11.348
Perdas e ajustes (*)	-1.147	-1.123	-2.116	-5.403	-5.719	-5.458	-5.573	-6.105
Consumo total	117	1.082	4.163	10.091	20.978	22.037	22.913	26.836
Transformação	37	79	749	2.126	5.934	5.957	5.627	8.284
Consumo final	80	1.003	3.414	7.965	15.044	16.080	17.286	18.552
Não-energético	3	452	1.010	831	849	863	877	807
Energético	77	551	2.404	7.134	14.195	15.217	16.409	17.745
Setor energético	74	188	859	2.278	3.500	3.712	4.013	5.227
Residencial	0	0	5	114	217	236	251	260
Comercial / público	0	0	3	86	321	364	377	197
Transportes	0	0	2	313	1.945	2.307	2.559	2.453
Industrial	3	363	1.535	4.343	8.209	8.595	9.196	9.605

Fonte: Balanço Energético Nacional 2009. <https://ben.epe.gov.br>, acessado em 14/04/2010.

Valores em  $10^6 \text{ m}^3$ .

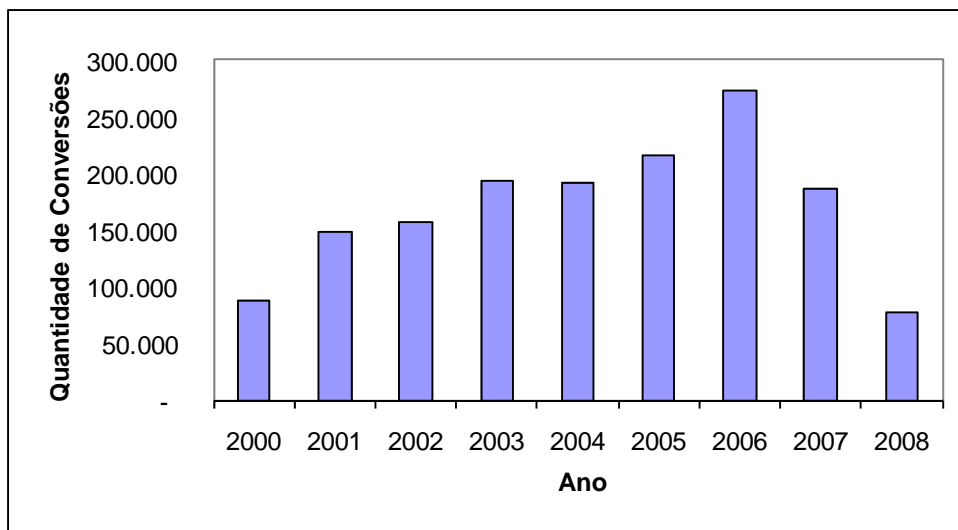
(\*) Inclusive não-aproveitada e reinjeção.

Os fatores que tem maior impacto sobre a incerteza do mercado de GNV são: a garantia de fornecimento de gás e o desenvolvimento de um marco regulatório para o setor. Quanto ao primeiro, destaca-se a grande dependência brasileira do gás importado da Bolívia e os problemas decorrentes, conforme observado nos últimos anos, e que indicam um risco de abastecimento futuro (PRATES ET AL., 2006). Quanto ao segundo, destaca-se discussão dos projetos de lei em tramitação no Congresso Nacional que pretendem estabelecer um marco regulatório para o gás natural. Configura-se, dessa forma, um cenário de incertezas para as empresas do setor e para os clientes.

A despeito das incertezas, a conversão de veículos movidos a gasolina ou a etanol para o GNV foi grande nos últimos anos, como destacado no Gráfico 1, embora tenha recuado em 2007 e 2008 devido ao risco de desabastecimento elevado durante aquele período. Há crescente aceitação do uso do GNV em veículos particulares enquanto a conversão de veículos para o gás natural já é uma realidade para táxis e transporte público. Em novembro de 2009, a frota brasileira de veículos a GNV era de 1.626.640 (Folha do GNV, [www.ngvgroup.com](http://www.ngvgroup.com), acessado em 14/04/2010). A avaliação custo x benefício, ainda que realizada em termos simplistas, é considerada generalizadamente favorável à conversão. No entanto a ausência de veículos saídos de fábrica com a opção de combustível a gás é uma

barreira ao desenvolvimento do mercado do GNV, apesar da frota de veículos a gás natural ser a segunda maior do mundo, atrás somente da Argentina.

**Gráfico 1** – Evolução das Conversões para GNV.



Fonte: IBP – Instituto Brasileiro do Petróleo.

Outra barreira ao desenvolvimento do mercado é a rede de distribuição pouco extensa, destacado como ponto crítico por Prates et al. (2006). Mesmo assim, seu estudo mostra que o crescimento do mercado de GNV tem permitido que as redes de distribuição cheguem a várias cidades e estados e tem funcionado como âncora para a sua extensão.

### **Modelagem e Discussão dos Resultados**

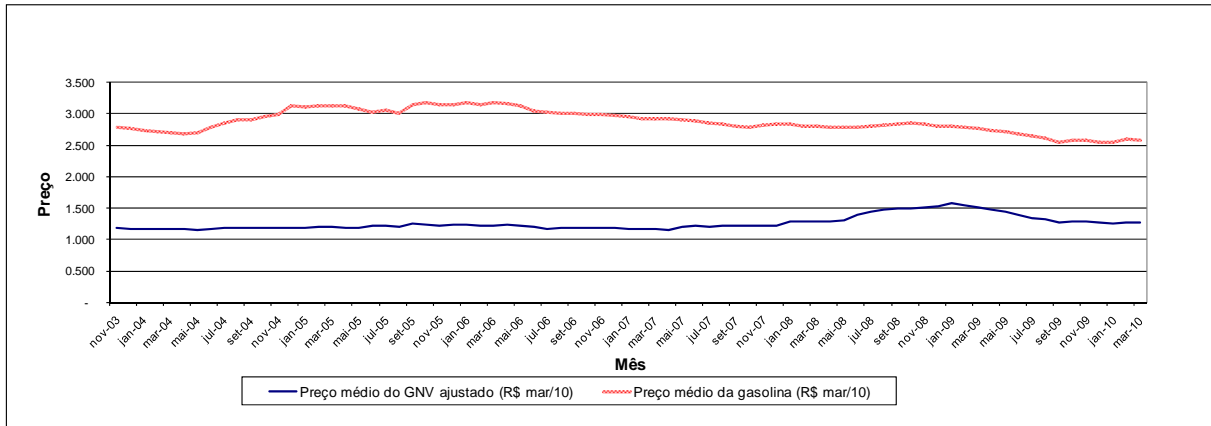
Considerou-se o caso de um consumidor que possui um veículo convertido para GNV. Uma vez convertido, o consumidor passa a ter a opção, que é a de escolher o combustível mais vantajoso economicamente para o seu uso. Emprega-se o modelo de opções reais, através da simulação de Monte Carlo, considerando que a opção de escolha do combustível pode ser modelada como uma opção europeia, já que a decisão do combustível (GNV e gasolina) a cada período é totalmente independente da decisão dos períodos anteriores.

As séries de preços de GNV e de gasolina utilizadas neste estudo são as divulgadas pela ANP (Agência Nacional de Petróleo). Os preços são trazidos a valores equiparáveis pelo IGP-M, índice de preços mais usado no Brasil. Logo, as séries utilizadas de preços históricos, que compreende o período de novembro de 2003 a março de 2010, se encontram em Reais de março de 2010. Além disso, para fins de comparabilidade, os preços de GNV são ajustados



considerando um rendimento 25% superior ao da gasolina. Considerando tais tratamentos, a série de preços é apresentada no Gráfico 2.

**Gráfico 2** – Evolução dos Preços Ajustados Médios de GNV e Gasolina no Brasil.



Valores em R\$ de março de 2010 / litro de gasolina.

Embora seja grande a diferença de preço, nota-se uma leve tendência à sua redução. Também por uma simples observação do Gráfico 2, nota-se que a volatilidade dessas séries é baixa. Esse comportamento suporia uma unanimidade na adoção do GNV. No entanto, o que se coloca como relevante na decisão de conversão é o fator escassez. Hoje são 1.782 postos de abastecimento de GNV no Brasil, dos quais 485 na cidade de São Paulo e 513 na cidade do Rio de Janeiro (fonte: Folha do GNV – Março de 2010, [www.ngvgroup.com](http://www.ngvgroup.com), acessado em 14/04/2010). Essa rede é pequena comparada à rede de postos de abastecimento de gasolina e etanol (BRANDÃO FILHO, 2005; PRAÇA 2003; PRATES ET AL., 2006).

Portanto, esse cenário se caracteriza por uma opção que o consumidor tem a cada abastecimento do veículo convertido entre GNV e gasolina, cujo fator decisão não é somente o preço, mas a escassez dos pontos de abastecimento, o que difere de Bastian-Pinto, Brandão e Alves (2010) e torna um tópico relevante de se avaliar.

Para determinar o valor da opção de um veículo movido a GNV, deve-se levar em consideração os benefícios da incorporação da flexibilidade do GNV, ou seja, o ganho mensal provocado pela conversão. Tal ganho resulta dos seguintes componentes: (i) diferença de preço entre GNV e gasolina dado um determinado consumo mensal; (ii) redução do IPVA em 75%, da seguinte forma:

$$\pi = \left[ \frac{\delta \cdot \Delta \text{preço}}{\theta} \right] + [IPVA \cdot \kappa_{IPVA} \cdot \kappa_{Vo}] \quad (1)$$

onde:  $\pi$  = Ganho mensal dada pela conversão do veículo para GNV  
 $\delta$  = Distância total percorrida por mês (km/mês)  
 $\Delta$ preço = Diferença de preço médio entre GNV e gasolina  
 $\theta$  = Consumo do veículo a gasolina (km/l)  
IPVA = Valor do veículo x alíquota imposto (IPVA)  
 $k_{IPVA}$  = Redução IPVA  
 $k_{V_0}$  = Fator de redução de valor do veículo para cálculo do IPVA

Os parâmetros utilizados para calcular o ganho mensal estão apresentados na Tabela 3:

**Tabela 3** – Parâmetros para a Aplicação do Modelo de Opções Reais

Descrição Parâmetro	Valor
Distância percorrida diariamente (km)	120.0
Quantidade de uso mensal (dias)	20
Distância total percorrida no mês (Km/mês)	2,400.0
Consumo do veículo a gasolina (km/l)	8.0
Valor do veículo (R\$)	40,000.0
IPVA (percentual do valor do veículo / ano)	4.0%
Redução do IPVA (%)	75%
Fator de redução de valor do veículo para cálculo do IPVA	1.0
Ganho com redução do IPVA (R\$/mês)	100.0
Ganho mensal - combustível + IPVA (R\$)	579.44
Custo da conversão (R\$)	2,500.0
Custo de oportunidade livre de risco (%aa)	4.00%
Custo de oportunidade livre de risco (%am)	0.327%

Para a determinação do processo de difusão estocástico, seguido pela gasolina e pelo GNV, analisou-se a raiz unitária da série de preços de ambos os combustíveis da seguinte forma:

$$\ln[GNV_t] - \ln[GNV_{t-1}] = a + (b - 1) \ln[GNV_{t-1}] + \varepsilon_t \quad (2)$$

onde:  $\varepsilon_t \sim Normal(0, \sigma^2 / N)$

Aplicando o preço do GNV e da gasolina na Equação (2), onde se avalia a hipótese nula de existência de raiz unitária da série de preços, obtem-se os seguintes valores na Tabela 4:

**Tabela 4** – Resultado do Teste de Raiz Unitária para as Séries de Preços GNV e Gasolina

	<b>a</b>	<b>p-value</b>	<b>b-1</b>	<b>p-value</b>	<b>b</b>
GNV	0.0074	0.2459	-0.0275	0.2790	0.9725
Gasolina	-0.0009	0.9725	-0.0001	0.9951	0.9999

Aplicando o teste de raiz unitária para a série de preços a um nível de significância de 5%, há evidência de que tanto a série de preços de gasolina quanto a série de preços do GNV possuem raiz unitária, configurando que ambas as séries podem ser modeladas por um Movimento Geométrico Browniano (MGB). Com isso, podem ser descritas das seguintes formas:

$$\text{GNV:} \quad d\text{GNV} = \mu_{\text{GNV}} dt + \sigma_{\text{GNV}} dz_{\text{GNV}} \quad (3)$$

$$\text{Gasolina:} \quad d\text{GAS} = \mu_{\text{GAS}} dt + \sigma_{\text{GAS}} dz_{\text{GAS}} \quad (4)$$

onde:  $d\text{GNV}$  = variação de preço do GNV no período de tempo  $dt$

$d\text{GAS}$  = variação de preço da gasolina no período de tempo  $dt$

$\mu_{\text{GNV}}$  = *drift do GNV* = média aritmética da série de preços do GNV:

$$\ln(\text{GNV}_t / \text{GNV}_{t-1}) + \sigma^2 / 2 \quad (5)$$

$\mu_{\text{GAS}}$  = *drift da gasolina* = média aritmética da série de preços da gasolina:

$$\ln(\text{Gasolina}_t / \text{Gasolina}_{t-1}) + \sigma^2 / 2 \quad (6)$$

$\sigma_{\text{GNV}}$  = volatilidade do GNV = desvio padrão da série:

$$\ln(\text{GNV}_t / \text{GNV}_{t-1}) \quad (7)$$

$\sigma_{\text{GAS}}$  = volatilidade da gasolina = desvio padrão da série:

$$\ln(\text{Gasolina}_t / \text{Gasolina}_{t-1}) \quad (8)$$

$dz_{\text{GNV}}$  = processo de Wiener para variáveis incertas =  $\varepsilon_{\text{GNV}} dt^{1/2}$ , onde  $\varepsilon_{\text{GNV}} \approx N(0,1)$

$dz_{\text{GAS}}$  = processo de Wiener para variáveis incertas =  $\varepsilon_{\text{GAS}} dt^{1/2}$ , onde  $\varepsilon_{\text{GAS}} \approx N(0,1)$

O *drift* e a volatilidade das séries de preços de GNV e gasolina foram calculados conforme as Equações 5, 6, 7 e 8, assim como a correlação entre elas, considerando intervalos de tempo mensais. Os resultados encontram-se na Tabela 5:

**Tabela 5** – O *Drift*, Volatilidade e Correlação das Séries de Preços

$\mu_{GNV}$	0.412%
$\mu_{GAS}$	-0.094%
$\sigma_{GNV}$	1.635%
$\sigma_{GAS}$	1.225%
$\rho_{GNV-GAS}$	0.402

Nota-se que tanto os *drifts* quanto as volatilidades de ambas as séries são baixas. Os preços da gasolina derivam do fato de que existe um *player* dominante – a Petrobras, empresa estatal que tende a seguir uma política de estabilidade de preços. Embora a oferta de gás natural tenha uma parcela significativa importada, a valorização do Real na maior parte da série histórica contribuiu para a estabilidade dos preços em Reais.

Os processos estocásticos para os preços do GNV e da gasolina foram determinados a partir da integração de Itô (DIXIT e PINDICK, 1994) e discretizadas em períodos mensais, seguindo as seguintes equações:

$$GNV_t = GNV_{t-1} e^{[(\mu_{GNV} - \frac{\sigma_{GNV}^2}{2})\Delta t + \sigma_{GNV} \varepsilon_{GNV} \sqrt{\Delta t}]} \quad (9)$$

$$Gasolina_t = Gasolina_{t-1} e^{[(\mu_{Gasolina} - \frac{\sigma_{Gasolina}^2}{2})\Delta t + \sigma_{Gasolina} \varepsilon_{Gasolina} \sqrt{\Delta t}]} \quad (10)$$

onde:  $\Delta t$  é 1 mês, ou 1/12 anos.

Considerando a possibilidade de escassez do GNV, ou seja, a possibilidade do consumidor não conseguir abastecer o tanque de combustível com o GNV sendo esta a melhor escolha naquele momento em termos de preço, foi acrescentado ao cálculo do diferencial de preços dos combustíveis ( $\Delta$ preço) uma componente estocástica de escassez. A partir de uma função randômica de  $N(0,1)$ , considerou-se uma probabilidade de 10% de falta do GNV, o que elevaria seus preços a valores superiores aos da gasolina, resultando em impacto nulo. A relação de consumo entre o GNV e a gasolina, considerando um veículo de porte médio é de, respectivamente, 10 km / m<sup>3</sup> e 8 km / l, segundo a Folha do GNV- Março 2010 ([www.ngvgroup.com](http://www.ngvgroup.com), acessado em 14/04/2010). Pode-se então trabalhar com o GNV ajustado para litros de gasolina numa proporção de 125% de rendimento.

Como os processos foram modelados com neutralidade a risco, foi utilizada a taxa de juros de longo prazo (TJLP) como taxa livre de risco ( $r$ ) de 0,327%am ou 4%aa para a

obtenção do valor presente dos benefícios da incorporação da flexibilidade do GNV, da seguinte forma:

$$VP_{\pi} = \sum_{t=1}^{60} \frac{\max imo(0; \Delta preço)}{(1+r)^t} \quad (11)$$

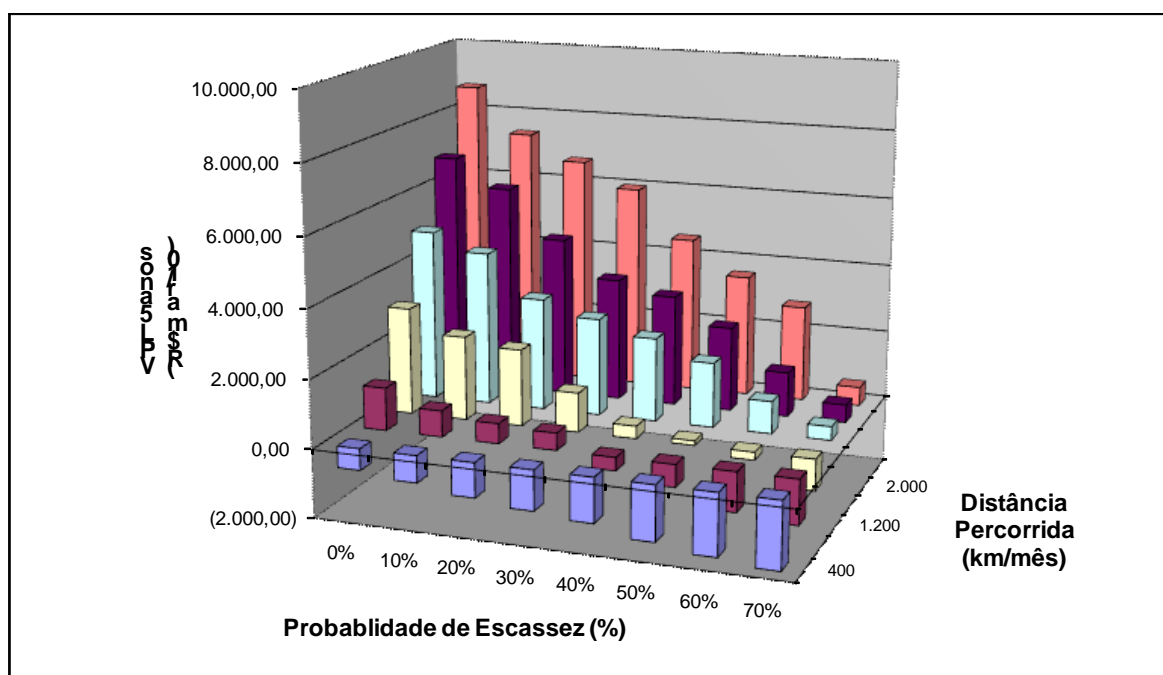
onde:  $VP_{\pi}$  = Valor presente dos ganhos mensais

r = taxa livre de risco

A partir de simulação com 10.000 interações, o valor da flexibilidade obtido foi de R\$9.891,64 ou 195,7% de retorno sobre o custo da conversão, com 10% de escassez.

A decisão de conversão por parte de um dono de veículo, considerando os benefícios da redução do valor do combustível e do IPVA, se dará considerando a intensidade de uso do veículo e a percepção de escassez do GNV. Cabe, portanto, uma análise de sensibilidade que apresente o valor da flexibilidade a partir da conjugação de níveis de distância percorrida mensalmente com a probabilidade de escassez. Isso é apresentado no Gráfico 3.

**Gráfico 3** – Análise de Sensibilidade Quanto à Intensidade de Uso do Veículo e à Escassez do GNV.



Nota-se que, considerando uma conversão de R\$ 2.500,00, a flexibilidade decorrente da conversão tem valor positivo a partir de uma combinação de 50% de escassez com uma distância percorrida de 1.200 km por mês.

## **Conclusão**

A utilização do gás natural como combustível de veículos no Brasil passou a ter relevância a partir de 1998. De 2000 a 2008 houve um incremento de 166% no consumo de GNV. Hoje é uma fonte de energia relevante em algumas grandes cidades brasileiras, notadamente São Paulo e Rio de Janeiro, principalmente no segmento comercial (táxis e ônibus). A opção pela conversão de um veículo movido a gasolina ou etanol para o GNV embute uma opção de flexibilidade, já que o veículo poderá utilizar tanto o combustível original quanto o GNV. Nesse artigo analisou-se o valor de tal flexibilidade considerando um veículo leve a gasolina convertido para o GNV, levando em conta a metodologia de opções reais e considerando o movimento geométrico browniano para modelar as incertezas do preço do GNV e da gasolina. Considerando a possibilidade de escassez do GNV, ainda não disponível para consumo com a capilaridade das redes de abastecimento da gasolina e do etanol, agregou-se uma parcela estocástica para refletir tal escassez na apuração do benefício da utilização do GNV.

Os resultados indicam que para um veículo no valor de R\$ 40.000,00 e um consumo de combustível relativo a 2.400 km percorridos mensalmente, o valor presente líquido da conversão adiciona R\$ 9.891,64 de valor, ou seja, 24,7% do valor do veículo. Essa destacada vantagem econômica tem sido refletida na grande aceitação da conversão de veículos de uso intensivo, como táxis, em grandes cidades brasileiras em que há oferta do GNV. Para esses consumidores a perda de espaço em bagageiro em função da alocação do cilindro do GNV não chega a ser um inconveniente. O ritmo de conversão tem-se dado mesmo num contexto em que os riscos de abastecimento crescem por conta da ainda alta dependência da importação do gás boliviano.

Por simplificação não foram considerados outros custos e benefícios associados à conversão como o menor custo de manutenção dos motores, o menor custo de lubrificantes, a redução da poluição atmosférica, a redução de perdas de combustível, a perda de potência e a perda de espaço de mala. Tampouco se modelou uma variável macroambiental que pode influenciar no comportamento dos preços dos combustíveis: o marco regulatório. O efeito dessas variáveis pode ser considerado como sugestões para estudos futuros.

## Referências Bibliográficas

BASTIAN-PINTO, C.; BRANDÃO, L.; ALVES, M. L. Valuing the switching flexibility of the ethanol-gas flex fuel car. *Annual of Operating Research*, v.176, n.1, p.333, 2010.

BERMANN, C. *Energia no Brasil. Para quê? Para quem? Crise e alternativas para um país sustentável*. Editora Livraria da Física, 2ª ed. São Paulo 2002.

BRANDÃO FILHO, J.E. *Previsão de Demanda por Gás Natural Veicular: Uma Modelagem Baseada em Dados de Preferência Declarada e Revelada*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Escola de Engenharia, Fortaleza, 2005.

COUTINHO, E. J. R.; PRATA, B. A.; ARRUDA, J. B. F.; JÚNIOR, E. F. N. Teoria dos jogos: uma técnica de auxílio à tomada de decisão no setor de gás natural. In: *Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás*. Salvador, IBP, 2004.

DIXIT, A.; PINDYCK, R.S. *Investment under Uncertainty*. Princeton University. Press, Princeton, NJ, 1994.

HILGEMBERG, E.M.; GUILBOTO, J.J.M. Uso de Combustíveis e Emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil: Um Modelo Inter-Regional de Insumo-Produto. *Nova Economia Belo Horizonte*, v.16, n.1, p.49-99, 2006.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World energy outlook 2006: executive summary*. Paris, 2006. Disponível no website <http://www.iea.org>.

\_\_\_\_\_. *World energy outlook 2008: executive summary*. Paris, 2008. Disponível no website <http://www.iea.org>.

MME – MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. *Balanco Energético Nacional 2009*. Disponível no site: [HTTPS://ben.epe.gov.br](https://ben.epe.gov.br).

PRAÇA, E.R. *Distribuição de Gás Natural no Brasil: Um Enfoque Crítico e de Minimização de Custos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Escola de Engenharia, Fortaleza, 2003.

PRATES, C.P.T.; PIEROBON, E.C.; COSTA, R.C.; FIGUEIREDO, V.S. Evolução da Oferta e da Demanda de Gás Natural no Brasil. *BNDES Setorial*, v.24, p.35-68, 2006.

ROYER, R.; FETTERMANN, D.; SILVA, C. M. F. Processo decisório: atributos relevantes para taxistas optarem pelo GNV. In: *Anais do XXXI Encontro da ANPAD*. Rio de Janeiro, ANPAD, 2007.

SANTOS. E. M. *Gás natural – estratégias para uma energia nova no Brasil*. Editora Annablume, 1ª ed. Rio de Janeiro, 2002.

SCHWOB, M.; MORALES, M. E.; HENRIQUES, M.; ESTEVES, R. Avaliação e otimização de dispositivos de conversão e adaptação de motores para o gás natural. In: *Anais do 2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás*. Rio de Janeiro, IBP, 2003.