

# **DETERMINAÇÃO DA IMPORTÂNCIA RELATIVA DOS PRINCIPAIS ATRIBUTOS RELEVANTES NA DECISÃO DE CONVERSÃO DE VEÍCULOS LEVES PARA GÁS NATURAL VEICULAR (GNV): O CASO DOS TAXISTAS DA CIDADE DE FORTALEZA**

**\*CARLOS ANDRÉ MARQUES BARROSO  
JOSÉ EXPEDITO BRANDÃO FILHO  
JOÃO BOSCO FURTADO ARRUDA  
ERNESTO FERREIRA NOBRE JÚNIOR**

**\*UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
NÚCLEO DE PESQUISAS EM LOGÍSTICA, TRANSPORTES E DESENVOLVIMENTO  
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES**

## **1. RESUMO**

Este trabalho relata um estudo cujos resultados podem auxiliar no processo de tomada de decisão no que tange às políticas de expansão do consumo do gás natural veicular - GNV. O principal enfoque consiste em determinar a importância relativa dos atributos mais relevantes considerados pelos taxistas da cidade de Fortaleza quando os mesmos decidem converter seus veículos para utilização de GNV. Foram utilizados dados coletados através da Técnica de Preferência Declarada, a partir dos quais foram estimados os coeficientes dos atributos escolhidos para compor a função utilidade utilizando-se o Modelo Multinomial Logit - MNL. Através da análise da função utilidade obtida, pode-se obter informações sobre os impactos de variações dos valores dos atributos na utilidade dos combustíveis, bem como a relação entre os parâmetros estimados. Por fim, este estudo permitiu determinar quais são os fatores decisivos em uma política de expansão do uso do GNV, quais as impedâncias percebidas pelos usuários e ressalta as vantagens do GNV em relação aos seus concorrentes.

## **2. ABSTRACT**

This paper presents a study aiming to help the decision making process related to the expansion of the urban car fleet moved with the natural gas fuel. It consists in determining the relative importance of the most relevant attributes to taxi drivers in Fortaleza city, situated in northeastern Brazil, when they decide to convert their vehicles to that fuel. It were used data collected using Stated Preference Techniques. The coefficients of the chosen attributes of the utility function were estimated using the Multinomial Logit Model. The relative weights of the attributes has been determined and discussed to give some insights on necessary policies to expand the consume of the natural gas fuel. An extended exercise was made aiming to determine the probability of choice of the fuels alcohol, gasoline and natural gas in the study sample producing different figures from those actually meet in the study area.

### 3. INTRODUÇÃO

A recente crise do “apagão” no Brasil reflete o inadequado planejamento dos recursos energéticos no país e falhas nas políticas de estímulo ao desenvolvimento de fontes alternativas de energia. Nesta conjuntura, o setor automotivo tem tido tratamento desproporcional à sua importância, em termos de sua escala potencial de consumo. Conforme dados do GEIPOT (2001), a frota nacional de veículos leves (carros de passeio e comerciais) foi estimada em 27 milhões de unidades em 2001. A produção, naquele ano, de veículos deste tipo, movidos a gasolina, álcool e diesel é da ordem de 93%, 0,6% e 6,4%, respectivamente, o que mostra a hegemonia dos veículos a gasolina. Sendo assim, a diversificação da oferta de combustíveis automotivos é uma questão que deve receber a devida importância.

O gás natural veicular – GNV surge como uma alternativa bastante atrativa para utilização em larga escala em veículos automotores e apresenta algumas vantagens em relação aos seus concorrentes. Na perspectiva ambiental, o GNV apresenta-se como uma fonte energética limpa, cuja combustão proporciona uma redução de mais de 90% de emissões de material particulado e de óxido de enxofre em relação à gasolina, álcool e diesel (SANTOS, 2002). Essa característica vem estimulando muitos países a implementar políticas de utilização do GNV. Sob o ponto de vista econômico, o GNV apresenta um custo de aquisição inferior ao das outras alternativas. Além disso, os custos de manutenção com os motores dos veículos diminuíram com o uso do GNV, resultando em uma troca de óleo de cada 10 para cada 20 mil km rodados (SANTOS, 2002).

Em contrapartida, existem aspectos que desestimulam o uso do GNV em veículos particulares, como o custo elevado de conversão, a desvalorização do veículo, a perda de potência do motor e a falta de confiabilidade nos agentes de conversão por parte da população. É preciso, então, uma evolução da indústria automobilística e o apoio das entidades governamentais na expansão do GNV. Neste sentido, conforme Desta forma, o Governo Federal objetiva ampliar a participação do Gás Natural na matriz energética brasileira, pretendendo evoluir de 4,7% (MME, 2002) para 15% ao final desta década (CTGÁS, 2003).

Diante deste contexto é notória a necessidade de estudos no Brasil relacionados à demanda de mercado do gás natural, incluindo o GNV. Dessa forma estudos de análise de demanda utilizando modelos de escolha discreta, com dados de preferência declarada (PD) e preferência revelada (PR), permitiriam retratar, no caso do setor veicular, quais são os fatores que levam o usuário a utilizar veículos movidos a GNV e quais as impedâncias envolvidas neste processo. Com base nestas informações é possível elaborar cenários de previsão de demanda e detectar os gargalos existentes no mercado de combustíveis, cujas informações podem ser utilizadas no auxílio à tomada de decisões em políticas públicas e em empresas do setor automobilístico e de distribuição de combustíveis.

O presente trabalho visa contribuir no processo de tomada de decisões sobre políticas de expansão do uso do GNV, apresentando uma análise do referido energético como uma alternativa de combustível sob a ótica dos taxistas da cidade de Fortaleza, os quais utilizam o GNV em sua quase totalidade.

#### 4. O PROCESSO DE ESCOLHA DOS CONSUMIDORES

O processo de escolha do consumidor é condicionado por um conjunto de procedimentos citados a seguir (LOUVIERE et al, 2000):

- a) Dependem das características individuais e socioeconômicas do tomador de decisão (renda, idade, nível de escolaridade, etc.);
- b) As alternativas são constituídas por um conjunto de atributos que são avaliados pelo tomador de decisão no processo de escolha; e
- c) O consumidor escolhe uma dentre as várias alternativas existentes com o objetivo de satisfazer ao máximo as suas necessidades.

O item (c) está relacionado à Teoria Microeconômica do Consumidor, a qual se baseia na hipótese de que os indivíduos distribuem racionalmente suas despesas dentro de suas limitações orçamentárias. Esta teoria supõe que existe uma medida desta satisfação ou, pelo menos, uma escala ordinal de preferências do consumidor. Dessa forma, o consumidor procura se situar no ponto mais alto de sua escala de preferências compatível com as suas limitações orçamentárias. A medida de satisfação de um consumidor com relação a uma determinada alternativa de consumo de um bem ou serviço é chamada de utilidade.

Segundo LANCASTER (1966, apud BEN-AKIVA e LERMAN, 1985), a utilidade resultante do consumo individual de um bem pode ser definida em termos de atributos inerentes ao bem. Ou seja, a função utilidade relaciona os valores dos atributos com a utilidade do produto:

$$U_N = F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (1)$$

em que

$U_n$  : Utilidade do produto  $n$ ;

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  : atributos que caracterizam a utilidade do produto.

A partir dessa função, a qual associa os atributos de um produto à sua utilidade, é possível analisar o comportamento do consumidor diante de várias alternativas disponíveis. As informações adquiridas podem ser utilizadas de várias formas, desde a estimativa da demanda de produtos existentes e de novos produtos, até a definição de políticas públicas.

#### 5. MODELOS DE ESCOLHA DISCRETA

Tendo como fundamentação a Teoria da Utilidade Aleatória, a qual nada mais é do que uma junção das Teorias da Probabilidade com a Teoria Microeconômica do Consumidor, os modelos de escolha discreta possuem como principal postulado a seguinte sentença (ORTÚZAR e WILLUMSEM, 1994): “a probabilidade de um indivíduo escolher uma dada opção é função de suas características socioeconômicas e da relativa atratividade da opção”.

Entretanto, representar a utilidade de um produto apenas em função dos atributos das alternativas e das características dos consumidores (componentes determinísticos) não representaria com exatidão o processo de composição da utilidade. Isso se deve à existência de componentes aleatórios, não identificáveis na utilidade, mesmo considerando o comportamento racional do consumidor.

MANSKI (1973, apud BEN-AKIVA e LERMAN, 1985) identifica quatro fontes de aleatoriedade:

- a) Existência de atributos que afetam a escolha e que não foram incluídos na função utilidade;
- b) Existência de características dos consumidores que afetam a escolha e que não foram incluídas na função utilidade;
- c) Existência de erros de medição dos valores dos atributos, podendo ser minimizados em experimentos de preferência declarada; e
- d) Utilização de variáveis instrumentais (variáveis proxy) representando atributos que não podem ser mensurados diretamente.

Dessa forma, a utilidade de uma alternativa  $i$  para um indivíduo  $n$  é composta de duas parcelas - determinística e aleatória - como mostra expressão a seguir:

$$U_{in} = V(Z_{in}, S_n) + \varepsilon(Z_{in}, S_n) = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (2)$$

em que

$V(Z_{in})$  = Componente observável relacionado aos atributos do produto;

$V(S_n)$  = Componente observável relacionado às variáveis socioeconômicas dos usuários;

$\varepsilon(Z_{in})$  = Componente aleatório relacionado aos atributos do produto;

$\varepsilon(S_n)$  = Componente aleatório relacionado às variáveis socioeconômicas dos usuários.

Para a utilização da expressão (2) na análise da utilidade de um determinado produto é preciso que a população considerada no estudo seja relativamente homogênea e que os seus constituintes sejam considerados racionais. É assumido, também, que o termo aleatório tenha média zero e seja regido por uma distribuição de probabilidade definida para cada modelo.

Dentre os modelos de escolha discreta existentes, o Modelo Multinomial Logit - MNL é o mais simples e prático. Sua principal hipótese é que o modelo pode ser generalizado assumindo-se que os resíduos aleatórios ( $\varepsilon_{ih}$ ) são independentes e identicamente distribuídos (IID) segundo uma distribuição de Gumbel (WILLIAMS, 1977), de modo que:

$$P_{ih} = \frac{\exp(V_{ih})}{\sum_{j \in A(h)} \exp(V_{jh})} \quad (3)$$

em que

$P_{ih}$ : Probabilidade de escolha de uma alternativa  $i$  por um indivíduo  $h$  ;

$A(h)$ : Conjunto de alternativas  $j$  disponíveis para o indivíduo  $h$  ;

$V_{ih}$ : Utilidade sistemática da alternativa  $i$  para um indivíduo  $h$  ;

$V_{jh}$ : Utilidade sistemática da alternativa  $j$  para um indivíduo  $h$ .

A forma linear é a mais utilizada para representar a função utilidade. A estimação dos coeficientes dos atributos constituintes da função utilidade, através de um conjunto de dados de escolha discreta, se dá através do método de ajuste por máxima verossimilhança (LOUVIERE et al, 2000). Esse método consiste na maximização de uma função denominada verossimilhança ( $L^*$ ). Considerando uma

amostra com N observações e definindo  $y_{in} = 1$  (se, na observação n, foi escolhida a alternativa i) ou  $y_{in} = 0$  (caso contrário), a função de verossimilhança pode ser representada como segue:

$$L^* = \prod_{n=1}^N \prod_{i \in C_n} P_n(i)^{y_{in}} \quad (4)$$

em que

$L^*$  : função de verossimilhança

$P_n(i)$  : probabilidade do indivíduo n escolher a alternativa i, expressa em (3);

$C_n$  : conjunto de escolha ;

N : tamanho da amostra.

## 6. TÉCNICA DE PREFERÊNCIA DECLARADA

O termo Preferência Declarada (PD) refere-se a uma família de técnicas de coleta de dados que utiliza declarações de indivíduos sobre suas preferências, dentro de um conjunto de alternativas hipotéticas, objetivando estimar funções utilidade (KROES e SHELDON, 1988).

Esta técnica surgiu na década de 70, advinda da área de marketing, como uma alternativa no sentido de compensar algumas limitações dos dados de preferência revelada, podendo-se citar: dificuldade na determinação da influência individual de cada variável dentro do processo de escolha; necessidade de uma grande quantidade de entrevistas, gerando aumento de custos; e dificuldades na análise de um novo ou desconhecido produto.

De uma forma resumida, pode-se dizer que a modelagem de dados de preferência declarada deve seguir os seguintes passos:

- a) Definição do método de entrevistas e do contexto a qual vai ser aplicada;
- b) Seleção da amostra;
- c) Determinação dos fatores mais relevantes na tomada de decisão;
- d) Projeto das alternativas a serem apresentadas aos respondentes;
- e) Desenvolvimento do método para apresentação e coleta de dados do experimento;
- f) Estimação do modelo, análise dos dados e realização dos testes de validade;

As formas mais comuns de registrar as preferências, segundo Jones, 1989, são os métodos de avaliação, escolha e ordenação. O método de ordenação foi o utilizado neste trabalho, e se caracteriza por requerer do usuário que ordene um grupo de alternativas segundo suas preferências. Este método tem como característica um maior número de observações por experimento, já que à medida que o indivíduo ordena as alternativas, ele procede n-1 escolhas em cada ordenação, onde n representa o número de alternativas.

Além disso, existem alguns métodos de apresentação dos questionários aos entrevistados na coleta de dados, os quais definem o modo como as alternativas serão apresentadas e como os respondentes devem ser inquiridos para registrar suas preferências. Segundo JONES (1989), os principais métodos de apresentação

dos questionários são: Face-a-face, Questionários auto-explicativos e Método híbrido (questionários auto-explicativos com acompanhamento via telefone).

O método de entrevistas face-a-face foi o escolhido para este estudo já que nos traz vantagens como o entrevistador pode explicar qual a verdadeira finalidade da pesquisa e administrar a sua aplicação; outra vantagem é que fica assegurada uma alta taxa de retorno. As desvantagens deste método são a necessidade de entrevistadores experientes e o alto custo da pesquisa;

## **7. ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE PREFERÊNCIA DECLARADA E DO MODELO LOGIT MULTINOMIAL AO CASO DOS MOTORISTAS DE TÁXI DA CIDADE DE FORTALEZA**

### **7.1. A ESCOLHA DOS ATRIBUTOS E DOS NÚMEROS E VALORES DOS NÍVEIS**

Para a realização do experimento de Preferência Declarada é necessária a determinação de quais atributos são os mais relevantes no processo de tomada de decisão dos indivíduos para o caso em estudo.

Os atributos para o caso particular dos taxistas foram apresentados por BARROSO et al (2003), após uma pesquisa exploratória, em que foram entrevistadas 216 pessoas ligadas à utilização de frotas. Os atributos determinados como mais relevantes foram:

- Segurança
- Desempenho do Veículo
- Custo com Abastecimento
- Potencial de poluição do meio-ambiente

Neste estudo, essas quatro variáveis também se mostraram como as mais relevantes para o grupo de taxistas (44 indivíduos), embora não se apresentando na mesma ordem.

Os trabalhos de BROWNSTONE et al (1994) e CHIU et al (1999) também apresentaram como relevantes as variáveis “custo com abastecimento”, “segurança” e “desempenho do veículo”. No presente estudo, foi adicionado ao experimento a variável “custo com conversão”, que é uma importante variável no caso de decisão de uso do GNV.

Por outro lado, o atributo “poluição atmosférica” apesar de estar entre os quatro mais citados na amostra, foi desconsiderado no experimento PD, pois as respostas sob a perspectiva ambiental parecem estar refletindo uma mera atitude considerada pelos respondentes como geradora de *status* social, com conseqüente menor impacto no processo de tomada de decisão individual quanto ao uso de combustível, se tomado em relação ao custo de conversão. Isto corrobora com os resultados encontrados em outro estudo, desenvolvido por CHIU et al. (1999).

Com a escolha dos atributos “custo com abastecimento”, “segurança”, “desempenho do veículo” e “custo de conversão”, montou-se o experimento PD, constituído por um conjunto de opções com os atributos e seus níveis (ver exemplo de módulo de escolha na Figura 01).

A Tabela 1 apresenta os atributos e seus níveis utilizados, com as respectivas descrições. Os níveis de cada um dos atributos mostrados foram definidos por BARROSO et al (2003), a partir das situações encontradas na realidade da cidade de Fortaleza na época da aplicação do experimento, dezembro de 2002, e de algumas fontes bibliográficas.

Tabela 1 – Variáveis e respectivos níveis utilizados no experimento PD

ATRIBUTOS E SUA DESCRIÇÃO	NÍVEIS	DESCRIÇÃO DOS NÍVEIS
Custo para aquisição da tecnologia: o custo adicional que vai propiciar a utilização da tecnologia. Apresentada no experimento como <i>custo de conversão</i> .	0	Sem custo (permanece com o combustível atual)
	500 <sup>1</sup>	Valor, em Reais, do custo estimado de conversão de gasolina para álcool
	2.000 <sup>2</sup>	Valor, em Reais, do custo estimado de conversão de gasolina para GNV
Custo com abastecimento: custo devido ao abastecimento do veículo para que o mesmo percorra 500 km	100	Valor, em Reais, do custo estimado de abastecimento de um veículo a gasolina para percorrer 500 km
	85	Valor, em Reais, do custo estimado de abastecimento de um veículo a álcool para percorrer 500 km
	40	Valor, em Reais, do custo estimado de abastecimento de um veículo a GNV para percorrer 500 km
Desempenho do Veículo: Potência do veículo; varia de acordo com o combustível utilizado.	100	Potência equivalente a de um veículo a gasolina
	90	Potência equivalente a 90% de um veículo a gasolina
	75	Potência equivalente a 75% de um veículo a gasolina
Segurança: Percepção de segurança que o indivíduo tem do combustível (variável <i>dummy</i> ).	0	Reconhecidamente Seguro
	1	Segurança desconhecida, mas sem relatos de acidentes

<sup>1</sup> Preço médio de conversão, considerando somente reprogramação do *chip* da injeção eletrônica, estimado através de pesquisa de mercado realizada pelo autor em dezembro de 2002.

<sup>2</sup> Preço médio de conversão para um cilindro de 15 m<sup>3</sup>, estimado através de pesquisa de mercado realizada pelo autor em dezembro de 2002.

Fonte: BARROSO et al (2003)

## 7.2. CONFEÇÃO DO QUESTIONÁRIO E APLICAÇÃO DO EXPERIMENTO PD

Na confecção do questionário, os atributos e níveis levaram a uma criação de diferentes alternativas representadas pelo projeto fatorial completo de  $3^3 * 2^1$ , ou seja, 54 combinações possíveis. Devido ao grande número de combinações, fez-se uso de um projeto fatorial fracionário, de número 36b, conforme Kocur et al (1982), o qual permitiu a redução do número de alternativas para 27, mantendo a possibilidade de definição do peso dos atributos isoladamente.

Verificou-se que a utilização de um questionário contendo todas as 27 alternativas seria muito fatigante ao respondente. Desse modo, as 27 alternativas foram divididas em 9 cartões de 3 alternativas.

Foram, então, montados dois questionários com 04 cartões próprios e 1 cartão comum aos dois (cartão de controle), o qual continha a alternativa dominante (aquela que apresenta os melhores níveis) e a dominada (aquela que apresenta os piores níveis) do experimento. Caso o entrevistado escolhesse uma alternativa dominada, a entrevista seria descartada da análise dos dados. A Figura 01 mostra um exemplo de um cartão apresentado aos respondentes.

Foram realizadas 100 entrevistas através do método face-a-face JONES (1989). Os respondentes expressavam suas preferências ordenando as alternativas em cada cartão. O método de ordenação proporcionou a obtenção de 3 observações para cada cartão de alternativas e 15 observações para cada entrevistado, somando

um total de mais de 1.400 observações válidas (apenas 06 questionários foram invalidados).

Atributos \ Opções	COMBUSTÍVEL 1	COMBUSTÍVEL 2	COMBUSTÍVEL 3
<b>Custo com Conversão</b>	Sem Custo	500 Reais	2.000 Reais
<b>Custo com Abastecimento (Cada 500 Km)</b>	100 Reais	85 Reais	40 Reais
<b>Desempenho (Potência)</b>	Potência equivalente a de um veículo a gasolina	Potência equivalente a 90% de um veículo a gasolina	Potência equivalente a 75% de um veículo a gasolina
<b>Segurança</b>	Reconhecidamente Seguro	Reconhecidamente Seguro	Desconhecida, mas sem relatos de acidentes
<b>Ranking</b>	03	01	02

Figura 01 – Exemplo de um cartão com alternativas

### 7.3. ANÁLISE DOS DADOS

#### 7.3.1. ESTIMAÇÃO DO MODELO

A função linear foi a escolhida para representar a utilidade, visto que, apesar de sua forma simples, é a mais utilizada dentre os modelos de escolha discreta, como já comentado, proporcionando resultados bastante satisfatórios (BEN-AKIVA e LERMAN, 1985). A estimação do modelo (determinação dos coeficientes dos atributos) foi realizada utilizando-se o software TransCAD for Windows (CALIPER, 1998), cujos resultados estão ilustrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados Obtidos

Variáveis	$\beta_k$	t-student
Custo com Conversão (CC)	-0,000562	-10,1785
Custo com Abastecimento (CA)	-0,033509	-17,0619
Desempenho (Potência) (Pot)	0,022501	5,3825
Segurança (Seg)	-0,636109	-6,5786

Outras Estatísticas:

Número de Entrevistas: 94

Log-likelihood at zero: -845,710469

Log-likelihood at end: -567,357584

-2 (LL(zero) - LL(end)): 556,705771

Número de Casos: 1410

Asymptotic rho squared: 0,329135

Adjusted rho squared: 0,324405

O fato de se apresentar os combustíveis com uma denominação hipotética gerou na função utilidade uma constante específica da alternativa (ASC) igual para as três alternativas, o que anula a importância desta constante enquanto refletora da parcela de explicação do modelo que não é representada pelos atributos escolhidos. Desse modo, o modelo não é apropriado para propósitos de previsão de demanda, não só por usar dados PD puros. No entanto, enfatiza-se que o objetivo deste trabalho é apenas analisar o peso relativo dos atributos considerados na escolha de um combustível.

Considerando-se um nível de significância de 0,05 (95% de confiança), todos os valores obtidos para o teste *t-student* mostram-se satisfatórios.



Os sinais obtidos para os atributos foram conforme esperados. Um sinal negativo representa que a utilidade do combustível diminui com o aumento dos valores dos atributos. Analogamente, o sinal positivo do atributo *potência* corrobora sua direta proporcionalidade com a utilidade do combustível.

Observando os valores obtidos para os coeficientes dos atributos, observa-se que o atributo com maior peso na utilidade é a *segurança* ( $\beta_3 = -0,636$ ). Isto pode ser decorrente da desinformação, generalizada entre os usuários de automóveis, quanto ao nível de segurança dos acondicionadores de gás natural (cilindros) e quanto à confiabilidade nos agentes de conversão (oficinas), havendo ainda uma forte comparação do uso do Gás Natural com o uso clandestino do GLP em veículos automotores, principalmente no meio rural do Nordeste.

Observe-se que o aumento de um real no custo de um atributo representa uma desutilidade com valor correspondente ao coeficiente do atributo, explicitado na Tabela 5.

O  $\rho^2$ , que indica o grau de ajustamento (*goodness of fit*) do modelo, apresentou o valor de 0,324. O valor de  $\rho^2$  obtido pode ser considerado aceitável para modelos de escolha discreta (BEN-AKIVA e LERMAN, 1985).

### 7.3.2. TAXA MARGINAL DE SUBSTITUIÇÃO

Com o objetivo de analisar o *trade-off* entre os coeficientes estimados, lançou-se mão do conceito de taxa marginal de substituição, definida por BEN-AKIVA E LERMAN (1985) como a razão entre dois coeficientes de uma função utilidade. Assim:

$$TMS_{i-j} = -\frac{\frac{\partial U}{\partial j}}{\frac{\partial U}{\partial i}} = -\frac{\beta_j}{\beta_i} \quad (5)$$

em que  $TMS_{i-j}$ : taxa marginal de substituição de um atributo j para um atributo i;

$\frac{\partial U}{\partial i}$ : derivada parcial da utilidade em relação ao atributo i;

$\frac{\partial U}{\partial j}$ : derivada parcial da utilidade em relação ao atributo j;

$\beta_i$ : coeficiente do atributo i na função utilidade;

$\beta_j$ : coeficiente do atributo j na função utilidade.

A Tabela 3 apresenta as taxas marginais de substituição entre os atributos considerados no Estudo.

Tabela 3 – Taxas Marginais de Substituição

TMS <sub>CC-CA</sub>	-59,62
TMS <sub>CC-POT</sub>	40,03
TMS <sub>CA-POT</sub>	0,67

Os resultados da Tabela 3 mostram que os taxistas da cidade de Fortaleza estariam dispostos a pagar até R\$ 59,62 a mais no custo de conversão de seu veículo, caso

esse investimento lhe trouxesse uma economia de R\$ 1,00 real no custo de abastecimento despendido a cada 500 quilômetros rodados. Da mesma forma, eles estariam dispostos a pagar R\$ 40,03 a mais no custo de conversão, caso esse valor lhe trouxesse um aumento de desempenho equivalente a 1% em relação à potência da gasolina, e R\$ 0,67 no custo de abastecimento despendido a cada 500 quilômetros rodados, para o mesmo benefício.

### 7.3.3. ELASTICIDADE RELATIVA DA UTILIDADE DO GNV

Para se determinar o peso relativo de cada um dos atributos na utilidade global do GNV, calculou-se as elasticidades da utilidade do GNV correspondentes à variação dos valores de cada atributo, isoladamente, mantendo-se os outros constantes. Estes valores foram compilados dos outros combustíveis considerados no experimento PD e estão mostrados na tabela 4. A elasticidade é calculada pela seguinte expressão (ARRUDA, 1995):

$$E_a(V) = -\frac{\partial V}{V} \times \frac{a}{\partial a} \quad (6)$$

em que  $E_a(V)$  = Elasticidade da utilidade V para um atributo a.

Tabela 4 – Sensibilidade da Utilidade do GNV em relação aos atributos

Atributos	$\beta_k$	Valores utilizados para variação dos níveis dos atributos	Valores dos atributos do GNV	Utilidade do GNV	Utilidade modificada	Elasticidade (%)
Custo Conversão	-0,000562	0	<b>2000</b>	-1,41	-0,29	79,55%
Custo Abast.	-0,033509	100	<b>40</b>	-1,41	-3,42	94,87%
Potência	0,022501	100	<b>75</b>	-1,41	-0,85	-119,44%
Segurança(*)	-0,636109	2	<b>1</b>	-1,41	-2,05	45,02%

(\*)Como se trata de uma variável *dummy*, pode-se assumir parâmetros relativos, pois a afirmação de que atributo segurança valor tem valor "1" para o GNV e "0" para a gasolina é análoga à de que o atributo segurança valor tem valor "2" para o GNV e "1" para a gasolina, por exemplo.

Os valores apresentados na Tabela 4 mostram que, apesar de o atributo "segurança" apresentar o maior peso entre os atributos componentes da utilidade, o atributo "potência" aparece surpreendentemente com maior impacto, diante dos atributos de custo, os quais esperavam-se ser de maior impacto. Este valor pode estar refletindo a ligação entre este atributo e o valor do tempo, o qual é um parâmetro econométrico de grande importância na decisão de escolha. Isto também é explicado pelo fato de que os taxistas podem ter relacionado a potência como fator que depende tanto do combustível como do tipo de veículo. Neste trabalho, não foram abordadas questões que pudessem analisar separadamente o peso dos atributos dos veículos e dos combustíveis na escolha, fato que pode ter induzido os entrevistados considerar conjuntamente o combustível e o tipo de veículo na declaração de sua preferência com relação à potência. De fato, a maioria dos táxis presentes em cidades de grande porte como Fortaleza apresentam-se como veículos potentes, independentemente do tipo de combustível utilizado. O valor mostrado na tabela 4 demonstra que a variação positiva de uma unidade de potência ocasiona um decréscimo de 119,44% na utilidade.

O atributo “custo de abastecimento” gera o segundo maior impacto, também considerável, sobre a utilidade global do GNV. Isto se explica devido à importância deste atributo para os taxistas, que apresentam um grande valor de quilômetros rodados diariamente.

O atributo “custo de conversão” aparece com o terceiro maior impacto. A sua relativa menor importância dada aos dois primeiros reflete o fato de que os taxistas encaram este custo como um negócio, com retorno garantido, de modo que a sensibilidade ao custo de conversão não tão significativa quanto pareça ser.

O atributo “segurança” aparece com o menor impacto, o que pode ser explicado pelo fato de não ocorrer comumente acidentes graves em Fortaleza, cujas conseqüências são desastrosas e que, ao ocorrer podem gerar um impacto significativo. No entanto, não foi possível confirmar este aspecto no estudo.

## 8. CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho demonstram a necessidade de estímulo à indústria automobilística para produção de novos projetos veiculares que possam diminuir os custos de utilização do GNV.

Além disso, devem-se concentrar esforços em programas de *marketing* no sentido de explorar as vantagens do GNV e estimular a sua expansão do mercado de combustíveis.

Estas medidas são necessárias para tornar o GNV uma alternativa competitiva de mercado, dado os grandes benefícios econômicos e ambientais que advirão do seu posicionamento mais expressivo na matriz de insumos energéticos do país.

Os resultados indicam que a metodologia aplicada foi adequada, se usada para determinar os pesos das variáveis de decisão no consumo de combustíveis, o que auxilia o processo de elaboração de políticas para expansão do GNV no Brasil. No entanto, verificou-se uma necessidade de elaborar uma forma mais clara de abordagem do atributo “potência” nos questionários, relacionando a escolha nos níveis combustível e veículos, os quais interagem para a determinação da escolha do indivíduo. Em trabalhos futuros, espera-se elaborar modelos mais completos e verificar realmente se a potência se comporta desta forma. Além disso, a utilização de dados conjuntos de preferência declarada e revelada aumenta a consistência estatística dos dados, permitindo gerar informações mais consistentes e uma análise mais completa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARRUDA, J.B.F. *Evaluation of Urban Transport Projects in Developing Countries: An Accessibility Approach*. Ph.D. Thesis. Institute for Transport Studies. School of Business and Economic Studies. The University of Leeds. United Kingdom, 1995.
- BARROSO, C.A.M., NOBRE JÚNIOR, E.F. e ARRUDA, J.B.F. “Determinação e Estimação das Variáveis de Decisão na Conversão de Veículos de Pequeno Porte para Gás Natural”, *Anais do II Congresso P&D em Petróleo e Gás*, Rio de Janeiro, 15 a 18 de Junho de 2003
- BEN-AKIVA, M., LERMAN, S. *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. 7a ed. Cambridge, MIT Press, USA, 1985;
- BROWNSTONE, D. “A Demand Forecasting System for Clean-Fuel Vehicles”. Department of Economics, University of California, USA, 1994;
- CALIPER CORPORATION (1998). *Travel Demand Modeling with TransCAD 3.14*.
- CHIU, Y.; TZENGB, G *The Market Acceptance of Electric Motorcycles in Taiwan Experience Through a Stated Preference Analysis*. Department of Civil Engineering, University of Texas, Austin, USA, 1999.

- CTGÁS Gás Natural Ganha Espaço no País. Rio Grande do Norte, 2003 <Disponível em <http://www.ecoinv.com/porugues/projetos/cement/cement.htm>>. Data de Acesso: 14 de outubro de 2003.
- GEIPOP. “*Anuário Estatístico dos Transportes – Transporte Rodoviário*”. Ministério dos Transportes, 2001.
- JONES, P. “*An Overview of Stated Preferences Techniques*”. Transport Studies Unit, Oxford University, 1989.
- KROES, E. P.; SHELDON, R. J. *Stated Preference Methods: An Introduction*. Journal of Transport Economics and Policy, v. XXII, n.1, p.11-25, 1988.
- KOCUR, G.; ADLER, T.; RYMAN, W. *Guide to Forecasting Travel Demand with Direct Utility Assessment*. Resource Policy center, Dartmouth College, Hanover, NH, 1982.
- LOUVIERE, J.J., HENSHER, D.A., SWAIT, J.D. *Stated Choice Methods – Analysis and Application*. 1a ed. Cambridge, Cambridge University Press, 2000;
- MME. Balanço Energético Nacional – BEN 2002. Ministério das Minas e Energia, 2002.
- ORTÚZAR, J. de D. e WILLUMSEN, L. G. *Modelling Transport*. 3a ed. John Wiley & Sons Ltd., New York, NW, USA, 1994;
- SANTOS, E. M. *Gás Natural: Estratégias de uma Energia Nova no Brasil*. Annablume/ Fapesp/ Petrobrás, São Paulo, SP, 2002.
- WILLIAMS, H. “*On the Formation of Travel Demand Models and Economic Evaluation Measures of User Benefit*”. Environment and Planning, 9, 285-344, 1977.

Endereço Eletrônico dos Autores:

Carlos André Marques Barroso: [amarques@det.ufc.br](mailto:amarques@det.ufc.br)  
José Expedito Brandão Filho: [ebrandao@det.ufc.br](mailto:ebrandao@det.ufc.br)

João Bosco Furtado Arruda: [barruda@det.ufc.br](mailto:barruda@det.ufc.br)  
Ernesto Ferreira Nobre Júnior: [nobre@ufc.br](mailto:nobre@ufc.br)