



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – UFC  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA – CAEN  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ECONOMIA – MPE**

**ÂNGELA GUIMARÃES**

**O ETANOL E A GASOLINA SÃO SUBSTITUTOS PERFEITOS?**

**FORTALEZA  
2008**

**ÂNGELA GUIMARÃES**

**O ETANOL E A GASOLINA SÃO SUBSTITUTOS PERFEITOS?**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Mestrado Profissional em Economia – MPE/CAEN, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Aquino de Souza

**FORTALEZA  
2008**

**ÂNGELA GUIMARÃES**

**O ETANOL E A GASOLINA SÃO SUBSTITUTOS PERFEITOS?**

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Mestrado Profissional em Economia – MPE/CAEN, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Economia.

Aprovada em 27/08/2008

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Sérgio Aquino de Souza  
Orientador

---

Prof. Dr. Fabrício Carneiro Linhares  
Membro

---

Prof. Dr. Ricardo Brito Soares  
Membro

Aos Mestres que acendem as luzes do  
meu caminho.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha família, pelo apoio e estímulo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Sérgio Aquino de Souza, pela orientação no desenvolvimento, busca por soluções práticas e conclusão deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Flávio Ataliba, pelo apoio, generosidade e conhecimentos impecavelmente transmitidos.

Ao Prof. Dr. Edinaldo Tebaldi, pelas sementes lançadas por meio do seu dinâmico e aguçado profissionalismo.

Aos demais Professores do Mestrado Profissional em Economia da UFC, pelo compartilhamento de seus saberes, experiências e amizade.

Aos colegas do Mestrado Profissional em Economia, pela gratificante convivência e troca de experiências ao longo do curso.

Aos funcionários e demais colaboradores do CAEN/MPE, pela atenção, apoio e presteza dispensados, fundamentais para o andamento dos trabalhos.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

“O brilho do sol, no lado de dentro da gente, se chama sonho.”

(Rubem Alves)

## RESUMO

O comportamento dos preços relativos nacionais dos combustíveis líquidos (relação entre o preço do álcool e o da gasolina) foi analisado com base no painel desses preços mensais, em 27 unidades brasileiras, durante o período de julho de 2001 a fevereiro de 2008, disponibilizados pela ANP e por meio da Metodologia Box-Jenkins. Constatou-se empiricamente que os preços relativos parecem seguir um processo auto-regressivo da classe AR(1), com média igual à razão entre as utilidades marginais do litro do álcool e do litro da gasolina, ou seja, igual ao coeficiente técnico de 70%. Esse resultado sugere que os proprietários de carros bicomcombustíveis, mediante o poder de arbitragem, se tornaram o agente regulador natural deste mercado, tanto no curto quanto no longo prazo.

**Palavras-chave:** etanol, gasolina C, arbitragem do consumidor, carros *flex-fuel*, combustíveis substitutos perfeitos.

## ABSTRACT

The relative domestic prices behavior for fuels (relationship among price of ethanol and gasoline) was analyzed accord to panel monthly ones on 27 Brazilian units during the period from July 2001to February 2008. They released by ANP and through Box-Jenkins methodology. It was empirically verified that relative prices seem to follow a first-order autoregressive process, AR(1), with an average ratio equal marginal utility of ethanol (sugarcane) and gasoline (fossil fuel) liters, which is equal technical coefficient of 70 %. This result suggests that owners of dual-fuel ehicle technology in the face of consumer arbitrage became the natural official regulator of this market such as short as long term.

**Key words:** ethanol, gasoline, consumer arbitrage, flexible-fuel vehicle (FFV), fuels perfect substitutes.

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Preço do óleo cru (US\$ de 2007).....	18
GRÁFICO 2 - Consumo de Petróleo, segundo regiões geográficas mundiais, em 2007 (milhões barris/dia).....	19
GRÁFICO 3 - Habitantes por automóveis – 1997 e 2006.....	20
GRÁFICO 4 - Preço médio do litro do álcool etílico hidratado ao consumidor, em dezembro de 2007.....	23
GRÁFICO 5 - Distribuição da produção de álcool etílico anidro – 2007.....	23
GRÁFICO 6 - Emissão de gás efeito estufa durante a produção e combustão de biocombustíveis comparado com a gasolina e o diesel.....	25
GRÁFICO 7 - Preços internacionais do açúcar (UScents/lb) e do petróleo (US\$ por barril).....	26
GRÁFICO 8 - Matriz energética brasileira (2007).....	28
GRÁFICO 9 - Evolução da estrutura da oferta de energia, Brasil 1970-2004.....	29
GRÁFICO 10- Evolução da participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira, 1970-2004.....	29
GRÁFICO 11- Matriz de Combustíveis Veiculares, 2006-2007.....	32
GRÁFICO 12- Substituição entre álcool e gasolina.....	34
GRÁFICO 13- Comportamento do preço relativo dos combustíveis (média do painel com desvio padrão 1% e coeficiente técnico de 0.7).....	35
GRÁFICO 14- Função de autocorrelação (FAC).....	38
GRÁFICO 15- Função de autocorrelação parcial (FACP).....	38

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Matriz de consumo final de energia.....	16
TABELA 2 - Frota mundial de autoveículos (mil unidades) – 1997 a 2006.....	19
TABELA 3 - Relações de remuneração do setor sucroalcooleiro.....	26
TABELA 4 - Matriz de combustíveis veiculares, 2006-2007.....	31

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - Teste de raiz unitária (IPS).....	36
QUADRO 2 - Estimativas da equação 7 (com <i>dummy</i> estadual e tendência).....	40
QUADRO 3 - Estimativas da equação 6.....	41
QUADRO 4 - Teste de Wald.....	43

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. COMBUSTÍVEIS E FLEX-FUEL – UMA VISÃO GERAL.....	15
2.1 Preço Internacional do Petróleo.....	16
2.1.1 Crises no Abastecimento do Petróleo.....	17
2.2 Demanda por Petróleo no Setor de Transporte.....	19
2.3 O Setor Sucroalcooleiro Nacional.....	21
2.3.1 O Etanol.....	21
2.3.2 O Açúcar.....	25
2.3.3 A Energia do Bagaço e da Palha.....	26
2.4 Matriz Energética Brasileira.....	27
2.5 Carro <i>Flex</i> .....	30
3. MODELO TEÓRICO.....	33
4. ESTRATÉGIA EMPÍRICA PARA ANÁLISE DO EQUILÍBRIO.....	35
5. CONCLUSÃO.....	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

## 1. INTRODUÇÃO

O grande desafio deste século será satisfazer a crescente demanda por energia, simultaneamente, com a redução das emissões do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), principal gás responsável pelo efeito estufa, e com a diversificação da matriz energética por meio do uso de fontes alternativas e renováveis. Os combustíveis fósseis ainda continuarão sendo a base da energia do Planeta durante muito tempo.

No final dos anos 1970, a produção média brasileira ainda era de 200 mil barris por dia, enquanto o consumo atingia 1 milhão 115 mil barris/dia. O desafio passou a ser o descobrimento de reservas para aumentar a produção. Nos anos 1990, a PETROBRÁS conquistou a posição de maior produtora em águas profundas do mundo. Cerca de 65% da área de seus blocos exploratórios eram *offshores*, a profundidades de mais de 400 metros.

Do outro lado destes problemas a busca de novos tipos de combustíveis e avanços tecnológicos na indústria automobilística possibilita uma redução cada vez mais sensível desta dependência, além de contribuir substancialmente para a redução das emissões do dióxido de carbono no setor dos transportes.

Ao se tratar de combustíveis alternativos para transportes no Brasil, o álcool hidratado parece ser uma possibilidade mais do que viável para a redução do nível de dependência externa e/ou petrolífera. O álcool, ao contrário do petróleo, é produzido tendo por matéria-prima uma fonte renovável, a cana-de-açúcar, e também é menos poluente. Além disso, o álcool já possui tecnologia de produção e refino bem desenvolvida no Brasil, de modo que a porcentagem da frota e a aceitação dos proprietários dos motores que utilizam álcool como combustível crescem dia após dia.

O álcool também enseja mais de um milhão de empregos no País e contribui positivamente para sua balança comercial – a produção de álcool no Brasil

equivale a uma redução de importações de 200 mil barris / dia de petróleo<sup>1</sup> – além de situar a Nação num lugar de destaque internacional em decorrência do cultivo e da produção potencial.

Paralelamente aos combustíveis alternativos, a indústria automobilística também faz sua parte: a introdução dos veículos bicombustíveis permitiu às montadoras a substituição dos veículos exclusivos a álcool em razão do declínio das vendas, assim como propiciou que se beneficiassem ao ponto de não mais precisarem desenvolver projetos em duplicata para veículos a álcool e a gasolina.

Outra inovação tecnológica na indústria automobilística foi a inserção de um *software* diretamente no módulo de comando da injeção eletrônica, permitindo assim a identificação exata do álcool ou da gasolina no tanque. As características do álcool são diferentes das particularidades da gasolina e o sistema ajusta o funcionamento do motor com qualquer proporção da mistura. Apesar de a potência do motor ser a mesma com qualquer que seja a mistura, quando o veículo é abastecido com gasolina, tem maior autonomia de rodagem.

O custo de implantação desses componentes é relativamente baixo, e os fabricantes habitualmente oferecem os veículos do tipo *flex* com os mesmos preços quando comparados aos veículos movidos exclusivamente a gasolina.

Assim sendo, são variados os sinais de que o álcool tem tudo para obter ainda mais destaque na matriz energética do Brasil e de outros países. Por exemplo, a própria PETROBRÁS anunciou que pretende construir um alcoolduto entre os Estados de Goiás e São Paulo. Além do mais, vê-se um grande interesse político em se reduzir a dependência do petróleo e promover o crescimento econômico do País com base em um combustível menos poluente e renovável.

Com efeito, é de se esperar que a introdução dos automóveis bicombustíveis, bem como a expansão do setor sucroalcooleiro, possibilitem aos

---

<sup>1</sup> Pisani (2006)

proprietários de automóveis um nítido poder de arbitragem<sup>2</sup>, levando o álcool e a gasolina a se tornarem bens substitutos, respeitado os rendimentos relativos destes combustíveis.

Pouco se sabe, entretanto, sobre o modo como os brasileiros se comportam em relação a estes combustíveis altamente substituíveis; ou seja, ainda não foi analisado um possível equilíbrio para estes mercados nem de que maneira o mercado se comporta ante um possível desequilíbrio.

Neste trabalho, nos baseamos numa simples relação microeconômica que leva em conta a relação entre as utilidades marginais do litro do álcool e da gasolina; por hipótese, tal relação deve ser equivalente à razão entre os preços destes dois bens. Com base na metodologia Box-Jenkins, encontramos uma maneira simples de testar a existência de um possível equilíbrio e, de que maneira os preços relativos destes combustíveis podem de fato convergir para o equilíbrio em foco.

O trabalho ficou dividido de forma que, após essa introdução, é realizada uma visão geral dos seus elementos-chaves, incluindo-se o petróleo, o etanol, o advento dos carros do tipo *flex* e a matriz energética brasileira. Depois, é apresentado o modelo teórico em que se baseia a análise e, posteriormente, é formulada uma estratégia empírica para analisar o equilíbrio. Ao fim do ensaio, como de praxe, são tecidas as conclusões.

---

<sup>2</sup> Salvo *et alii* (2007)

## 2. COMBUSTÍVEIS E *FLEX-FUEL* – UMA VISÃO GERAL

O atual cenário mundial da área energética está voltado para a busca de recursos renováveis em substituição das fontes do carbono fóssil, tanto pela progressiva redução das reservas de petróleo do mundo quanto pelos efeitos da emissão do dióxido de carbono na atmosfera.

Avanços brasileiros no desenvolvimento de tecnologia e no uso de energias renováveis e mais limpas, que puseram o País na vanguarda, foram conquistados com origem na reação brasileira aos dois primeiros choques do petróleo, de 1973 e 1979.

Pesquisas em novas tecnologias de possíveis substitutos para este insumo essencial nos processos produtivos da economia moderna e exploração e produção de petróleo buscando a sua auto-suficiência, levaram o País, no momento atual, à maior estabilidade econômica.

O mundo experimenta o terceiro choque do petróleo e o Brasil está menos vulnerável, mas não imune. Três fatores explicam em boa parte a atual escalada de preços do petróleo iniciada em 2002. Hoje não falta energia, embora o equilíbrio entre oferta e demanda esteja muito próximo. Apesar da crise financeira dos EEUU, países emergentes, como China e Índia, conseguem manter a demanda aquecida, evitando que a economia mundial se reprima. Além disso, 51% da população mundial consomem gasolina subsidiada, o que não incentiva a redução do gasto. Outro fator é a depreciação do dólar, pois, desde 2002, a moeda dos Estados Unidos teve desvalorização de cerca de 30%. O aumento gradual de preços nos últimos anos também permitiu que o mundo se tornasse menos vulnerável e se adaptasse. Isso se reflete na mudança da matriz energética mundial. Em 1973, o petróleo respondia por 46,2% da oferta de energia do mundo e, em 2005, a fatia havia caído para 35%. No País, a redução da participação do petróleo e de seus derivados na matriz, nesse período, ocorreu com o aumento da oferta de energia hidráulica e de derivados da cana (etanol e bagaço), ver tabela 1, a seguir.

Tabela 1 - Matriz de Consumo Final de Energia<sup>3</sup> (% e tep)<sup>4</sup>

ESPECIFICAÇÃO	BRASIL		OECD <sup>5</sup>		OUTROS(*)	
	1973	2007	1973	2005	1973	2007
INDÚSTRIA	29.8	37.8	30.8	20.8	35.8	27.5
TRANSPORTE	25	26.7	23.3	31.3	23.4	19.7
SETOR ENERGÉTICO	3.3	9.7	8.3	7	6.9	7.9
OUTROS SETORES	38.7	19	30.4	31.5	29.7	37.6
USO NÃO-ENERGÉTICO	3.1	6.8	7.1	9.3	4.2	7.2
TOTAL (%)	100	100	100	100	100	100
TOTAL - milhões tep	<b>76.3</b>	<b>215.1</b>	<b>3097.4</b>	<b>4144.2</b>	<b>1478.3</b>	<b>4215.5</b>

Fonte: Resenha Energética Brasileira, MME (2008).

Nota: (\*) Exclusive Brasil e países da OCDE.

O Brasil, ao longo deste período, busca atuar em linhas de pesquisas de tipos diferentes de energia, em razão do seu grande potencial de fontes naturais, como hidráulica, eólica, solar e outras opções ditas limpas. No caso dos biocombustíveis, não só o Brasil, mas também diversos países estudam e praticam o seu uso. Nosso País apenas é o líder mundial no uso de etanol, em razão da sua experiência de mais de 30 anos. Outras tecnologias de mobilidade também são realidade para o Brasil, introduzidas em nossa matriz energética. Destaque é conferido ao combustível biodiesel (diesel vegetal), tendo por matérias-primas diversas oleaginosas como algodão, amendoim, dendê, girassol, mamona, soja. Outra fonte, o H-bio (óleo vegetal mais diesel mineral), desenvolvida pela PETROBRÁS, permite a mistura de óleos vegetais ao óleo mineral, diretamente na unidade de refino, obtendo como resultado um diesel de qualidade superior àquele produzido exclusivamente do petróleo e com baixo teor de enxofre.

## 2.1 Preço Internacional do Petróleo

De acordo com cálculos de especialistas no setor, cerca de 50% das reservas mundiais convencionais de petróleo estão esgotadas, tendo sido consumidos cerca de 2,5 trilhões de barris desde o início da exploração comercial do

<sup>3</sup> Termo técnico para demanda por todas as formas de energia.

<sup>4</sup> Unidade de medida – O padrão internacional é converter o potencial calórico de cada recurso de energia pelo seu equivalente ao de um barril de petróleo (bep = barril equivalente de petróleo). A unidade bep, por sua vez, dá origem à unidade tep, tonelada equivalente de petróleo.

<sup>5</sup> OCDE - *Organisation de Coopération et de Développement Économiques*. São os seguintes 30 países- membros: Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Coreia do Sul, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Luxemburgo, México, Noruega, Nova Zelândia, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Eslovaca, República Tcheca, Suíça, Suécia e Turquia.

produto, no final do século XIX. Ao ritmo atual de consumo, as reservas podem durar entre 40 e 50 anos.

Além do grande crescimento dos mercados emergentes, China e Índia, os próprios países do Oriente Médio surgiram também como grandes consumidores de energia com a industrialização da região. A Arábia Saudita é o país que mais tem aumentado o consumo, com investimentos nas indústrias de petroquímica, de alumínio e de fertilizantes. Desde 2004, tem crescido a uma taxa de 24% ao ano, com o consumo atual de 2,3 milhões de barris por dia.

Somados a essa crescente demanda mundial, vêm os baixos resultados de produção dos grandes países produtores, como México, Noruega e Rússia, as condições ambientais desfavoráveis e as instabilidades geopolíticas, contribuindo, para que o preço do barril de petróleo oscile tanto no mercado internacional.

O consumo global, em 2008, segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), deve ficar, em média, em 86,9 milhões de barris por dia, 0,9% acima de 2007. Já a tendência para 2009 será de redução dessa demanda, com o declínio das condições econômicas globais.

A seguir, é feita breve exposição de acontecimentos que definiram a trajetória do atual mercado dos combustíveis líquidos álcool e gasolina, objeto desta análise, com o intuito de rever as causas principais que influenciaram conflitos, políticas, pesquisas, consumidores. Pelo gráfico 1, podem ser vistas as relações dos conflitos no mundo com as conseqüentes elevações do preço do barril de petróleo, no período de 1973 a 2007.

### **2.1.1 Crises no Abastecimento do Petróleo**

O primeiro choque do petróleo ocorreu em 1973, quando os países do Oriente Médio diminuíram a produção. Foi uma crise de interrupção de oferta, quando o preço do barril passou de US\$ 2,90 para US\$ 11,65 em apenas três meses. As vendas para os EUA e a Europa também foram embargadas nessa

época, em virtude do apoio dado a Israel na Guerra do Yom Kippur (Dia do Perdão). Com isso, as cotações chegaram a um valor equivalente a US\$ 40 nos dias de hoje.

Em 1979, a paralisação da produção iraniana foi conseqüência da Revolução Islâmica liderada pelo aiatolá Khomeini, provocando o segundo grande choque do petróleo, elevando o preço médio do barril ao equivalente a US\$ 80 atuais. Os preços permaneceram altos até 1986, quando voltaram a cair.

A Guerra do Golfo começou em agosto de 1990, com a tentativa do Iraque de anexar seu vizinho Kuwait. Os Estados Unidos, até então aliados do Iraque contra o Irã, decidiram intervir na região. Com a guerra, o Golfo Pérsico foi fechado e os EUA perderam dois fornecedores de petróleo - Iraque e Kuwait. As especulações sobre o desenrolar da guerra levaram os preços do petróleo a subir ao patamar próximo aos US\$ 40 atuais. Com a rendição de Saddam Hussein, os preços do petróleo voltaram a cair.

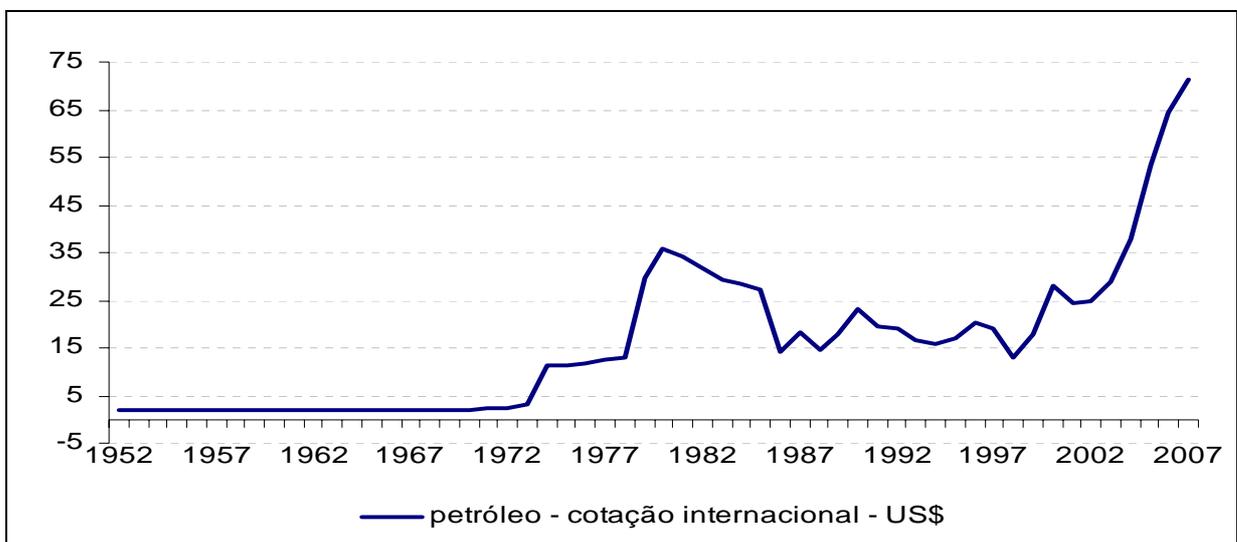


Gráfico 1 – Preço do óleo cru (US\$ de 2007).

Fonte: Fundo Monetário Internacional - International Financial Statistics (FMI/IFS).

Nota: Em 2008, o valor do barril de petróleo quebrou vários recordes; no mês de julho, superou os US\$145.

A atual crise do petróleo, considerada o terceiro choque, resulta do aumento da demanda (sem renovação de estoques) que vem se elevando desde 2002, com o forte crescimento global (gráfico 2), das instabilidades políticas (Golfo Pérsico, Nigéria, Geórgia) e da baixa cotação do dólar.

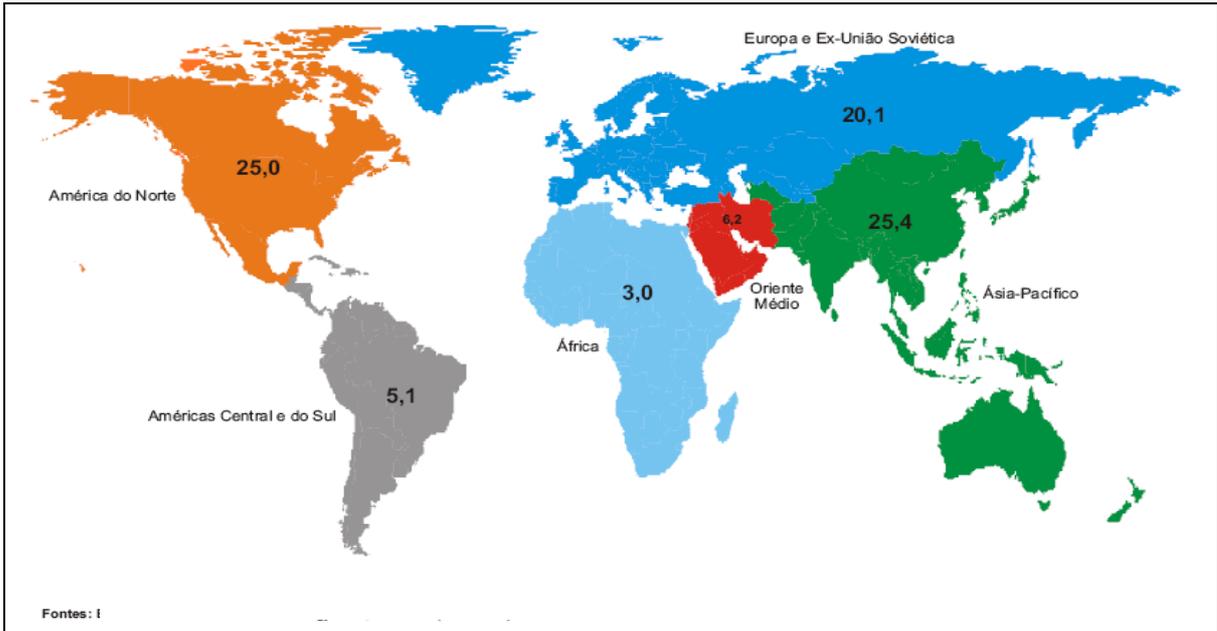


Gráfico 2 – Consumo de Petróleo, segundo regiões geográficas mundiais, em 2007 (milhões Barris/dia).

Fonte: BP Statistical Review of World Energy 2008; ANP/SPP.

## 2.2 Demanda por Petróleo no Setor de Transporte<sup>6</sup>

Os países em desenvolvimento prometem altas taxas de crescimento na demanda por petróleo, impulsionadas pelo seu forte crescimento econômico, com expansão de todas as suas atividades industriais. O setor de transportes é o responsável pelo maior consumo de derivados de petróleo no mundo. Nos países da OCDE (o Brasil não faz parte), esse setor já atingiu um grau de maturidade que permite projeções de redução de gasto. O consumo médio nesses países é de 500 veículos para cada 1000 habitantes, conforme pode ser visto na tabela 2 e no gráfico 3.

Tabela 2 – Frota mundial de autoveículos (mil unidades) – 1997 a 2006

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Estados Unidos</b>	207.754	211.616	216.309	221.475	223.446	229.620	231.390	237.243	241.194	244.166
<b>Japão</b>	70.003	70.815	71.723	72.649	73.408	73.989	74.214	74.656	75.686	75.859
<b>Alemanha</b>	44.501	44.979	45.793	47.307	47.975	48.225	48.564	48.915	49.223	49.742
<b>Itália</b>	33.995	34.596	35.485	36.165	36.995	37.682	38.476	38.224	38.942	39.877
<b>França</b>	31.267	32.310	33.089	33.813	34.597	35.144	35.628	36.039	36.298	36.661
<b>Reino Unido</b>	29.635	30.406	30.931	31.423	32.121	32.924	33.590	34.087	34.594	35.139
<b>Rússia</b>	22.538	23.707	24.739	25.394	26.263	27.315	28.783	29.744	31.212	31.212
<b>China</b>	12.191	13.093	14.529	16.089	18.020	20.532	23.829	26.937	31.597	ND

<sup>6</sup> EPE / MME (2005)

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Espanha	18.657	19.612	20.636	21.427	22.312	23.048	23.726	24.202	25.158	26.055
Brasil	17.635	18.302	18.685	19.310	20.093	20.769	21.357	22.172	23.023	24.069
México	13.296	13.891	14.592	15.487	17.784	18.884	20.551	21.184	21.451	23.160
Canadá	17.078	17.464	17.964	17.571	17.783	18.267	18.495	18.673	18.909	19.578
Coréia do Sul	10.413	10.470	11.164	12.060	12.915	13.949	14.587	14.934	15.397	15.895
Austrália	11.351	11.737	11.937	12.025	12.126	12.451	12.786	13.137	13.498	13.896
Holanda	6.505	6.639	6.894	7.190	7.389	7.706	7.894	8.220	8.369	8.319
Argentina	6.278	6.544	6.607	6.953	6.947	6.837	6.930	6.997	7.005	7.682
África do Sul	5.506	5.582	5.640	5.713	5.805	6.140	6.132	6.211	6.470	6.893
Bélgica	4.891	5.001	5.119	5.222	5.299	5.353	5.417	5.487	5.553	5.636
Suécia	4.039	4.145	4.259	4.387	4.428	4.466	4.511	4.567	4.628	4.696
Áustria	4.145	4.262	4.396	4.493	4.584	4.326	4.451	4.514	4.567	4.622
Outros	128.376	116.884	119.763	137.052	149.686	164.917	180.324	178.101	202.115	285.392
<b>TOTAL</b>	<b>695.909</b>	<b>697.793</b>	<b>715.858</b>	<b>748.712</b>	<b>775.392</b>	<b>808.218</b>	<b>837.184</b>	<b>849.730</b>	<b>888.925</b>	<b>953.927</b>

Fonte: AAMA, Adefa, Anfavea, Anfia, Federal Highway Administration, IMT, OICA, SMMT, VDA, Wards Communications

Na China e na Índia, no entanto, a proporção é de dez veículos para cada 1000 habitantes. De acordo com a OPEC - Organização dos 13 Países Exportadores de Petróleo, o setor de transporte será responsável por 78% do aumento da demanda por petróleo entre 2000 e 2025 nesses países.

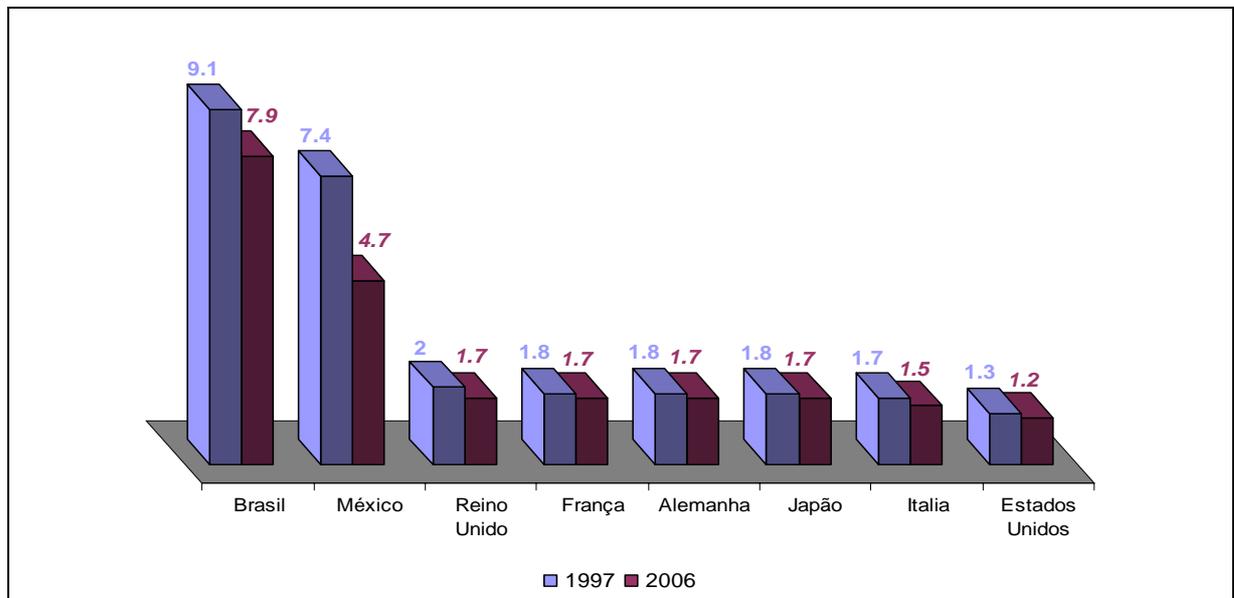


Gráfico 3 – Habitantes por autoveículos - 1997 e 2006.

Fonte: AAMA, Anfavea, SMMT.

## 2.3 O Setor Sucroalcooleiro Nacional

### 2.3.1 O Etanol<sup>7</sup>

O álcool é utilizado em grande escala no Brasil, especialmente como combustível alternativo e complementar aos derivados do petróleo. No começo dos anos 1970, em virtude da crise energética, o álcool ganhou o auge. O uso fundamental é como substituto da gasolina, pois sua mistura aumenta a octanagem de forma adicional e permite reduzir o emprego de chumbo.

Além disso, a substituição total da gasolina por álcool permite reduzir nos gases de escape o monóxido de carbono e o óxido de nitrogênio, muito nocivos à saúde e ao meio ambiente. O uso intensivo de álcool como aditivo à gasolina e como combustível exclusivo na forma de hidratado, desde meados da década de 1970, propicia ao Brasil significativa economia em divisas, particularmente em razão das importações de petróleo.

Com a crise do petróleo, em 1975, foi criado o PROÁLCOOL, com a implantação de várias destilarias de álcool em todo o Brasil, visando ao emprego alternativo deste combustível em substituição ao petróleo e seus derivados. O Governo brasileiro passou a investir grandes quantias no cultivo da cana-de-açúcar, a fim de se obter o álcool com a fermentação da sacarose.

Com isso, a indústria açucareira se viu beneficiada por investimentos na modernização dos engenhos, compra de novos equipamentos, melhoria do processo etc. Na ocasião, o Brasil importava em torno de 70% do petróleo que consumia.

O PROÁLCOOL concentrou-se, na primeira fase, na produção de álcool anidro em destilarias anexas às usinas, para que fosse posteriormente misturado à gasolina. Somente a partir de 1980, com o segundo choque do petróleo, a produção

---

<sup>7</sup> Em atendimento a um pedido da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (Unica), a ANP assinará uma resolução determinando que o álcool combustível comercializado nos postos de serviço do País passe a ser chamado de etanol (agosto/2008).

nacional ganhou maiores dimensões. Nessa fase, o PROÁLCOOL assume novas características, produzindo de forma predominante, nas chamadas destilarias autônomas, o álcool hidratado, que era usado diretamente nos motores projetados ou adaptados para tal finalidade.

Na década de 1980, o PROÁLCOOL dá um salto e consolida-se com o explosivo aumento da frota de veículos movidos a álcool hidratado. O Governo decidiu também pela adição de 22% de álcool anidro à gasolina. Dados oficiais confirmam que, em 1986, os carros a álcool eram responsáveis por 96% dos veículos comercializados no País.

Os preços do petróleo começaram a declinar, mas, por outro lado, os do açúcar tornaram-se mais atrativos no mercado internacional, enquanto as montadoras passaram a direcionar sua produção para os carros a gasolina. Em 1990, houve queda acentuada na fabricação de veículos a álcool, que passaram a representar 13% da frota do País. A produção caiu vertiginosamente, a tal ponto que os carros a álcool passaram a ser produzidos apenas sob encomenda. No final da década de 1990, existia uma frota remanescente de pouco mais de quatro milhões de veículos movidos a álcool<sup>8</sup>, mas grande parte dela encontra-se sucateada nos dias de hoje.

Ao longo dos anos 1990, o setor sucroalcooleiro foi alvo de um processo de desregulamentação, fato que estimulou a busca de técnicas produtivas mais eficientes que contribuíssem para a redução de custos e aumento de competitividade do álcool produzido no País.

Esse ganho na produtividade do álcool, as inovações tecnológicas ocorridas na indústria automobilística com o lançamento dos carros do tipo *flex* em 2003 e o aumento da preocupação com as questões ambientais fizeram com que

---

<sup>8</sup> Álcool hidratado - mistura hidroalcoólica, cujo principal componente é o álcool etílico ou etanol – combustível vendido para veículos de passeio e comerciais leves movidos a álcool. Álcool anidro - é o combustível puro acrescentado à gasolina pura em proporção fixada pelo Governo para formar a gasolina C. Atualmente o percentual é de 25%, estabelecido em 1º julho 2007.

essa fonte alternativa expandisse a sua oferta e demanda no cenário nacional de combustíveis líquidos.

Segundo a ANP, de janeiro a junho de 2008, o consumo de álcool combustível no País cresceu 52,9% e já se igualou ao da gasolina. A Agência aponta que esse crescimento foi motivado pela retração média de 12,1% no preço do litro desse combustível nas bombas e o volume de vendas dos carros bicompostíveis. O gráfico 4 mostra, em dezembro de 2007, a variação do preço médio do etanol nas regiões brasileiras.

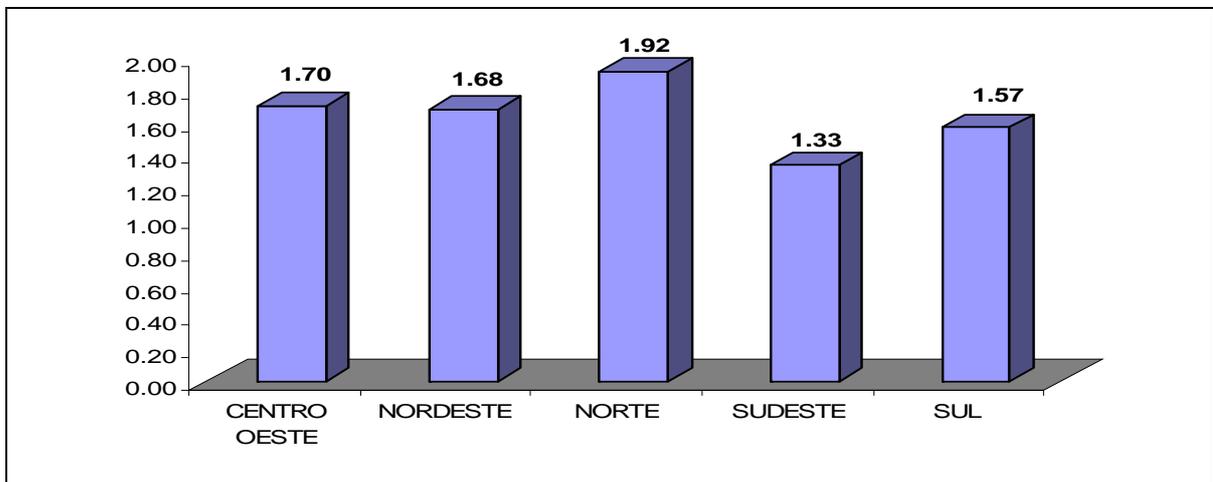


Gráfico 4 - Preço médio do litro do álcool etílico hidratado ao consumidor em dezembro de 2007  
Fonte: ANP.

O gráfico 5 mostra as diferentes vocações brasileiras para a produção do álcool, que explicam parte das variações dos preços há pouco apontadas.

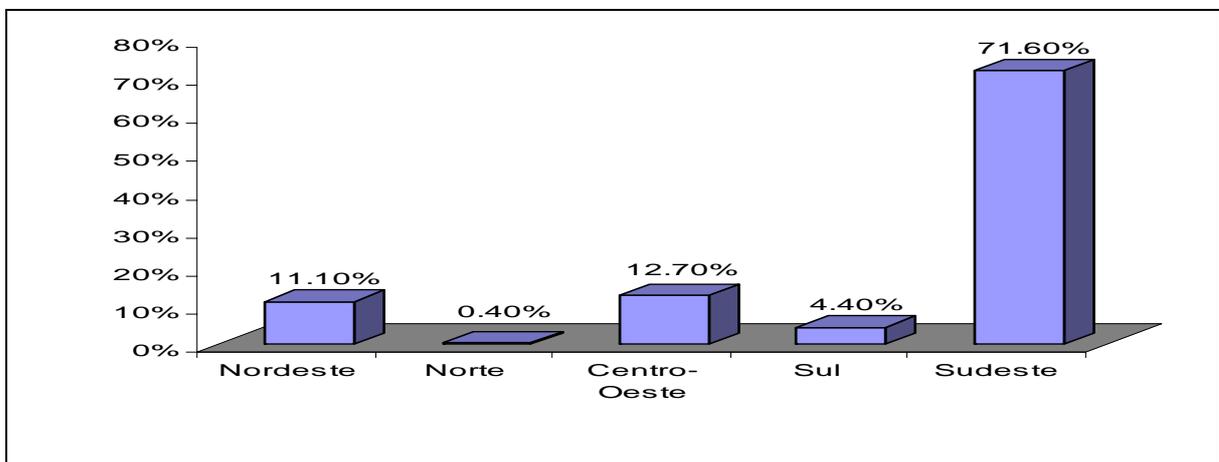


Gráfico 5 - Distribuição da produção de álcool etílico anidro - 2007  
Fonte: MA/SPAE/DAA.

Com a consolidação do mercado interno do etanol, a oportunidade de aumento das exportações do Brasil é uma realidade. O futuro promissor dessa energia limpa no mercado internacional depende não só da expansão sustentável da cultura de cana-de-açúcar no País, como também de sua eficiente política externa de rebater críticas ao etanol brasileiro – acentuar a diferença entre o etanol feito a partir do milho e o produzido com base na cana-de-açúcar.

O Brasil e os Estados Unidos são os maiores produtores mundiais de etanol, utilizando como matéria-prima a cana e o milho, respectivamente. O balanço energético para converter o milho em etanol é negativo – para cada 1 kcal de energia fornecida pelo etanol, gastam-se 29% a mais de energia fóssil para sua produção. No caso da cana, é positivo pois, para cada 1 kcal de energia consumida na produção, há um ganho de 3,24 kcal pelo etanol produzido. A cana produz três vezes mais álcool por área do que o milho. O custo de produção de cana é US\$0,28/l e de milho é US\$0,45/l. A redução de gás efeito estufa na produção e combustão de etanol de cana é de 65,3%, comparada com 12,4% para o etanol de milho<sup>9</sup>. Os subsídios agrícolas do governo dos EEUU para a produção de milho e etanol é outro fator bastante combatido, inclusive pelo Brasil junto à OMC.

O gráfico 6 mostra o confronto da emissão de gás efeito estufa entre os combustíveis fósseis e alternativos, conforme já mencionado.

---

<sup>9</sup> Andreoli (2006)

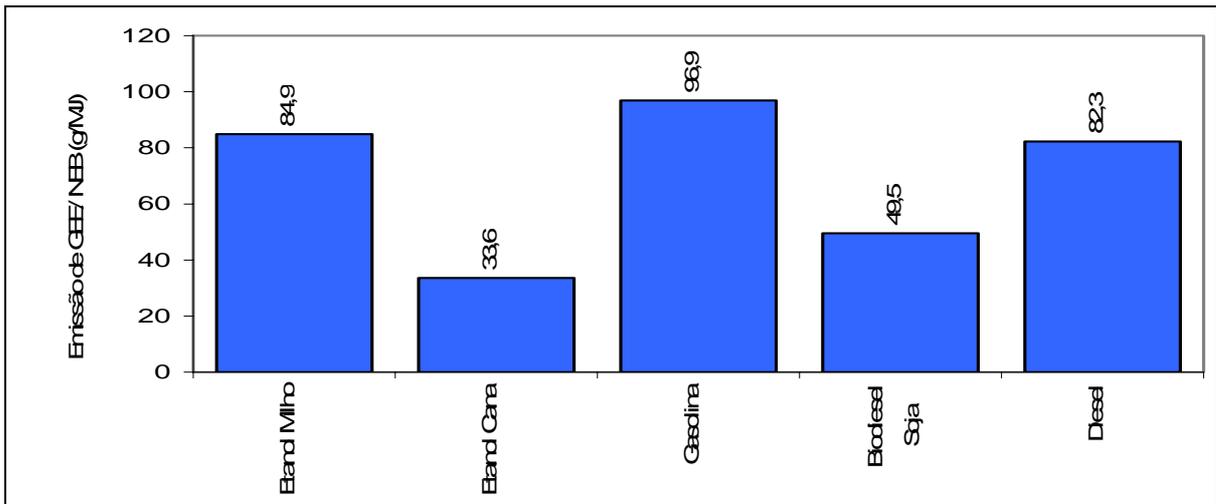


Gráfico 6 - Emissão de gás efeito estufa durante a produção e combustão de biocombustíveis comparado com a da gasolina e do diesel.

Nota – Gás Efeito Estufa (GEE equivalente a g CO<sub>2</sub>/MJ).

Fonte: EMBRAPA.

### 2.3.2 O Açúcar

O Brasil é o maior produtor e exportador de cana-de-açúcar do mundo, com os menores custos de produção, em consequência do uso de tecnologia, pesquisa agrícola e industrial, além de avançada gestão de negócios. O País detém hoje quase um terço do mercado mundial de exportação e também o menor preço de açúcar do mundo.

A evolução da técnica do plantio da cana auferiu destaque com a criação do programa PROÁLCOOL (1975), que, ao longo deste período, angariou expressiva conquista no rendimento industrial – 33,3% na produção do açúcar (120 kg / tonelada de cana) e 48,3% na produção do álcool (89 l / tonelada de cana) – dados de 2005<sup>10</sup>.

O gráfico 7 ilustra as diferentes variações dos preços do açúcar e do petróleo, com realce para o descolamento desta *commodity* na última década - consequência do forte aumento do consumo de energia no mundo, sem o equivalente crescimento das reservas provadas.

<sup>10</sup> Landell (2007)

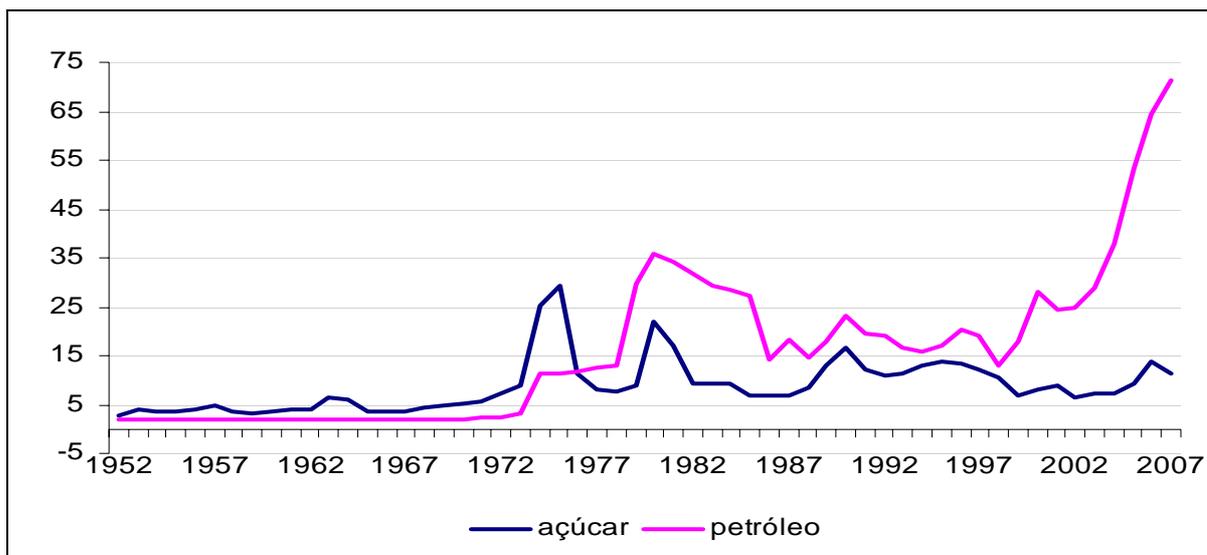


Gráfico 7 - Preços internacionais do açúcar (US cents/lb) e do petróleo (US\$ por barril).  
Fonte: IPEADATA.

A Tabela 3 exemplifica as remunerações entre o açúcar e o álcool no mês de abril/2008.

Tabela 3 – Relações de remunerações do setor sucroalcooleiro

NATUREZA	RELAÇÃO
Açúcar / Álcool Anidro	1,04 <sup>1</sup>
Açúcar / Álcool Hidratado	1,08
Anidro / Álcool Hidratado	1,04

Nota: <sup>1</sup> O açúcar remunerou 4% a mais que o anidro na média no mês.

Fonte: Cepea/Esalq – Séries Estatísticas abril/2008.

### 2.3.3 A Energia do Bagaço e da Palha

A geração de energia elétrica nas usinas ocorre com suporte no emprego da biomassa, utilizando-se como matéria-prima o bagaço e a palha da cana-de-açúcar. Durante muito tempo, o bagaço era considerado um peso para as usinas. Quando muito, era queimado nas caldeiras. Hoje, em sua maioria, as usinas sucroalcooleiras são auto-suficientes na produção de energia elétrica, graças ao uso do bagaço.

O excedente da energia gerada é comercializado no mercado. Indústrias de sucos cítricos, de papel e celulose, de esmagamento de soja, e outras que dispõem de caldeiras apropriadas, também usam esse subproduto para produzir

vapor e energia elétrica.

Outros aproveitamentos da palha da cana são: cobertura de solo, 'forragem verde hidropônica' ou FVH (rico alimento tecnicamente elaborado para animais), produção de compósitos para uso na construção civil, avicultura etc.

Além da utilização do bagaço e da palha na co-geração de energia, há uma nova tecnologia, de segunda geração, que está sendo aperfeiçoada para permitir o uso dessas matérias-primas com a produção também de etanol, chamado de bioetanol.

## **2.4 Matriz Energética Brasileira**

A matriz energética é o conjunto dos recursos de energia e seu uso na sociedade. O balanço entre a produção e o consumo é feito pelo Ministério das Minas e Energia (MME) e consolidado no relatório Balanço Energético Nacional (BEN)<sup>11</sup>. A matriz divide-se em dois aspectos: primeiro, os materiais usados (petróleo, água, carvão mineral, gás natural etc.) e as tecnologias de geração, como mecânica, térmica, nuclear, solar e eólica. Depois, a forma do consumo - eletricidade, combustível e queima industrial ou doméstica, entre outros. Cabe ao Governo planejar, organizar e definir políticas de uso dos combustíveis na matriz.

As diretrizes para o setor são definidas pelo Comitê Nacional de Política Energética e implementadas pelo MME. A regulamentação, inclusive a definição de preços, fiscalização e políticas localizadas, é feita pelas agências criadas nos anos 1990, após as privatizações, com destaque para a ANEEL (eletricidade), ANP (petróleo e derivados, gás natural e álcool) e ANA (água). O planejamento deve considerar a participação dos recursos renováveis para um crescimento sustentável e o impacto ambiental na saúde da população e na economia.

---

<sup>11</sup> BEN – Balanço Energético Nacional, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE/MME).

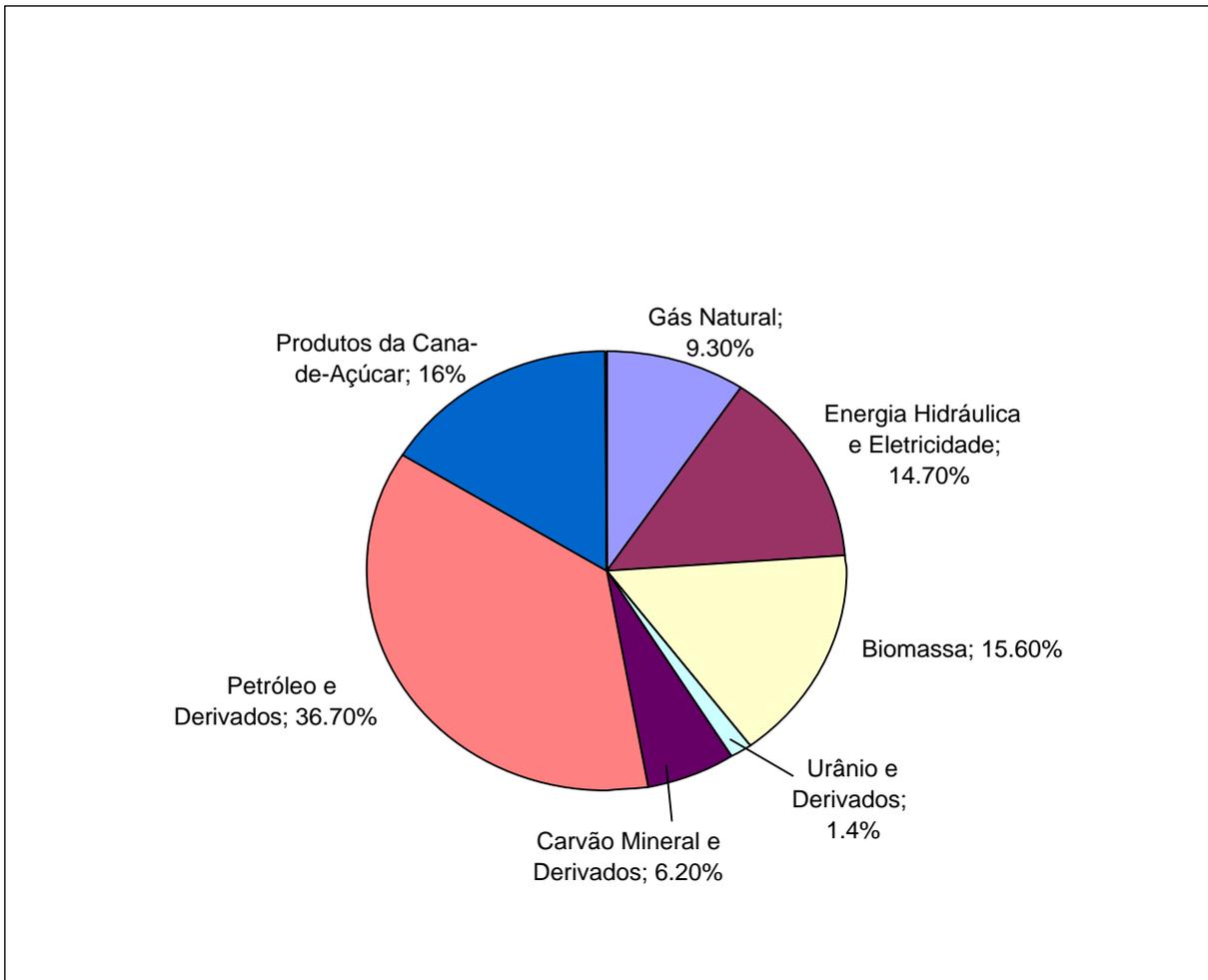


Gráfico 8 – Matriz Energética Brasileira (2007).  
 Fonte: MME, BEN 2008 (ano base 2007)

Segundo relatório preliminar do Balanço Energético Nacional (BEN-2008), ano-base 2007, para as três fontes que são base da matriz brasileira (ver gráfico 8), o País é auto-suficiente em produção – o petróleo com seus derivados teve o maior peso, com 36,7%; em seguida, a cana-de-açúcar, superando a energia elétrica, com 16% de participação e, por último, a energia hidráulica, com 14,7% (ver gráfico 8). Somadas todas as fontes energéticas no Brasil, o aumento da demanda por energia em 2007 foi da ordem de 5,9%, superando o crescimento do Produto Interno Bruto no período, que foi de 5,4% (IBGE).

A matriz energética brasileira ainda tem a predominância das energias não renováveis, que representam 55,2% – em decorrência do peso de petróleo e derivados, gás natural, carvão mineral e urânio. Houve crescimento de 7,2% na energia proveniente das fontes renováveis (hidráulica, biomassa e outras). Assim, a

energia renovável representou, em 2007, 45,8% da matriz.

A seguir, os gráficos 9 e 10 mostram a evolução da estrutura da oferta de energia e da participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira nas últimas três décadas.

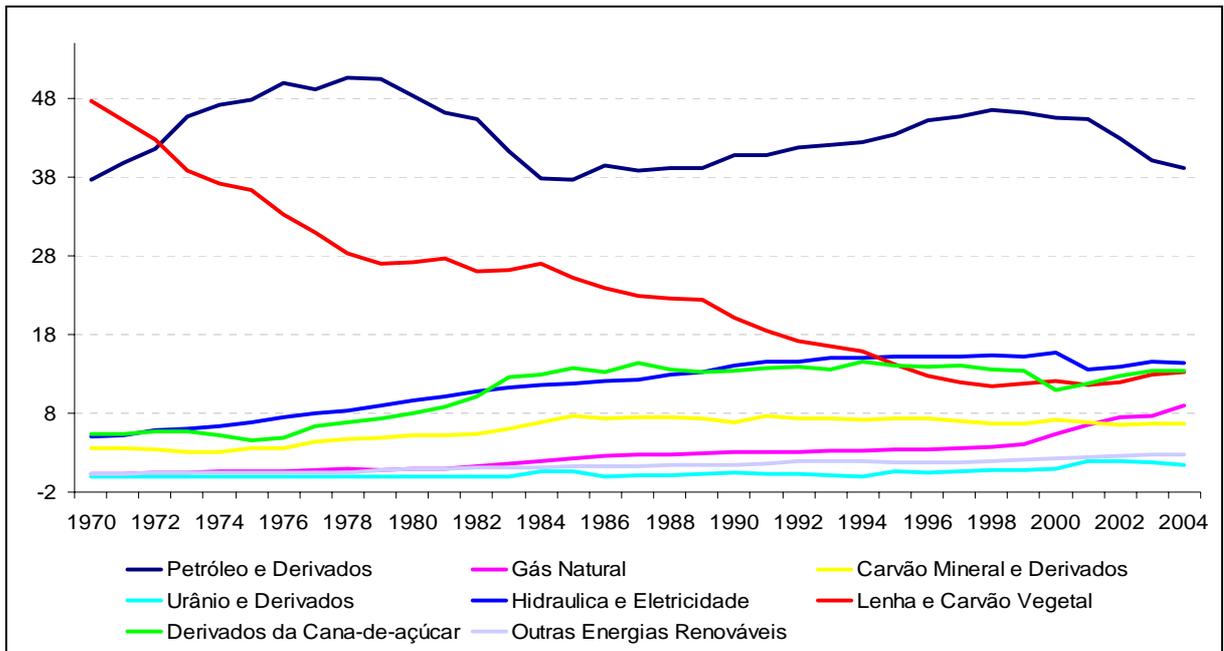


Gráfico 9 - Evolução da estrutura da oferta de energia, Brasil 1970-2004.  
Fonte: MME.

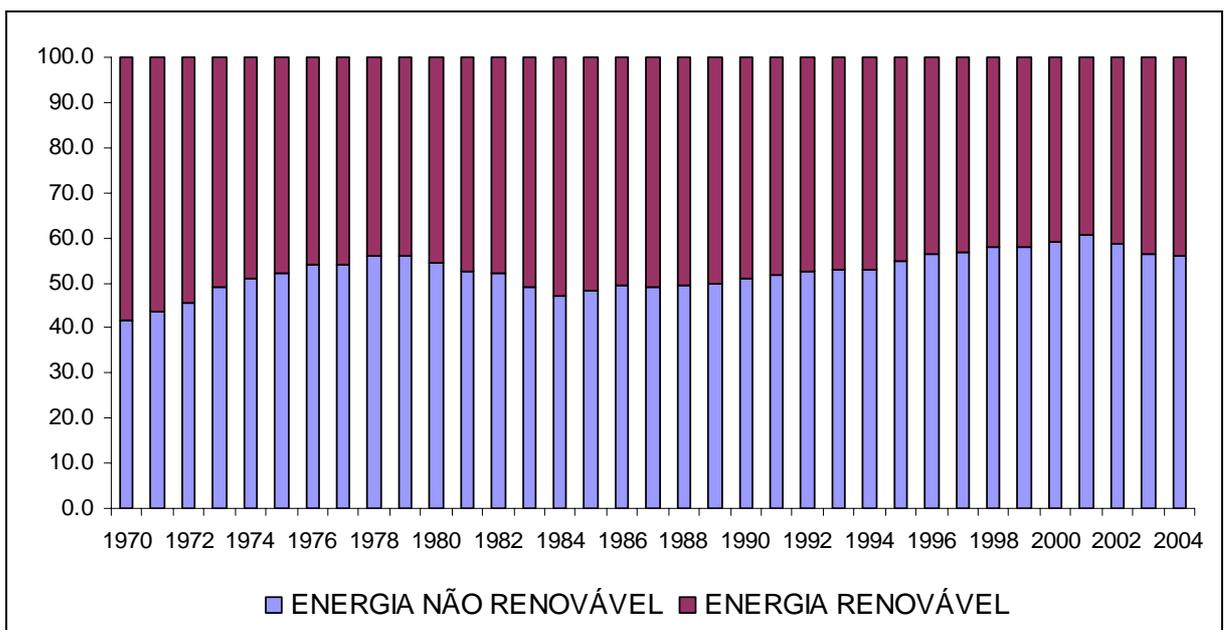


Gráfico 10 - Evolução da participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira, 1970-2004.  
Fonte: MME

A opção nuclear, depois de mais de 20 anos, volta a integrar os planos de expansão energética do País. A opção de geração térmica é necessária para garantir a estabilidade do fornecimento e expansão da energia elétrica em épocas de forte seca, pois ela não depende de fatores climáticos, como chuvas. Essa energia pode ser obtida do gás, do petróleo, do carvão e da fonte nuclear. Quanto ao gás, o Brasil também não é um grande produtor e depende de importação. Em relação à energia nuclear, o País é a sexta reserva mundial de urânio, combustível usado nesse tipo de usina, e domina toda a tecnologia do ciclo do combustível, desde a mina até a montagem da usina. É uma tecnologia limpa, que não polui a atmosfera. São vantagens da energia nuclear o fato de que ela não gera gás carbônico nem gases de efeito estufa (não é a queima de um combustível fóssil) e também, considerando os preços atuais de combustíveis sólidos<sup>12</sup>, a energia nuclear fica mais barata do que a energia produzida com petróleo ou gás natural.

## 2.5 Carro *Flex*

A tecnologia conhecida como *flex-fuel* nasceu de pesquisas realizadas nos Estados Unidos, Europa e Japão no final da década de 1980. Nos Estados Unidos, uma lei de 1988, denominada Ato dos Combustíveis Automotivos Alternativos, estimulou o desenvolvimento dessa tecnologia, que possibilitou o uso de misturas de álcool-gasolina até o limite de 85% de álcool, estabelecido com o propósito de facilitar a partida do motor em condições extremas de frio do País.

No Brasil, os estudos para a aplicação dessa tecnologia se iniciaram na Bosch, em 1994, com a finalidade de substituir os veículos exclusivamente a álcool,

---

<sup>12</sup> - Combustível sólido - os principais combustíveis sólidos naturais são a madeira e os produtos de sua decomposição natural, turfa e carvão. Para que um sólido possa ter valor como combustível, é necessário que tenha um poder calorífico tão elevado quanto possível e queime com facilidade, com ou sem chama.

- Combustível líquido - o combustível líquido tem certas vantagens em comparação com os sólidos, tais como poder calorífico elevado, maior facilidade e economia de armazenagem e fácil controle de consumo. Quase todos os combustíveis líquidos são obtidos do petróleo. Os combustíveis líquidos são: gasolina, querosene, óleo diesel e álcool.

- Combustível gasoso - apresentam certas vantagens em relação aos combustíveis sólidos, tais como: permitir a eliminação de fumaça e cinzas, melhor controle de temperatura e comprimento das chamas. Os combustíveis gasosos são: gás natural, gás de iluminação, gás de água, gás de gasogênio, acetileno, propano e butano.

em declínio nas vendas. A possibilidade de escolha do combustível, álcool ou gasolina, e de qualquer mistura destes combustíveis, por parte do consumidor, representa um fator de atratividade e diferenciação no mercado de consumo. Também as montadoras são beneficiadas com a economia de não mais precisarem desenvolver projetos em duplicata para veículos a álcool e a gasolina.

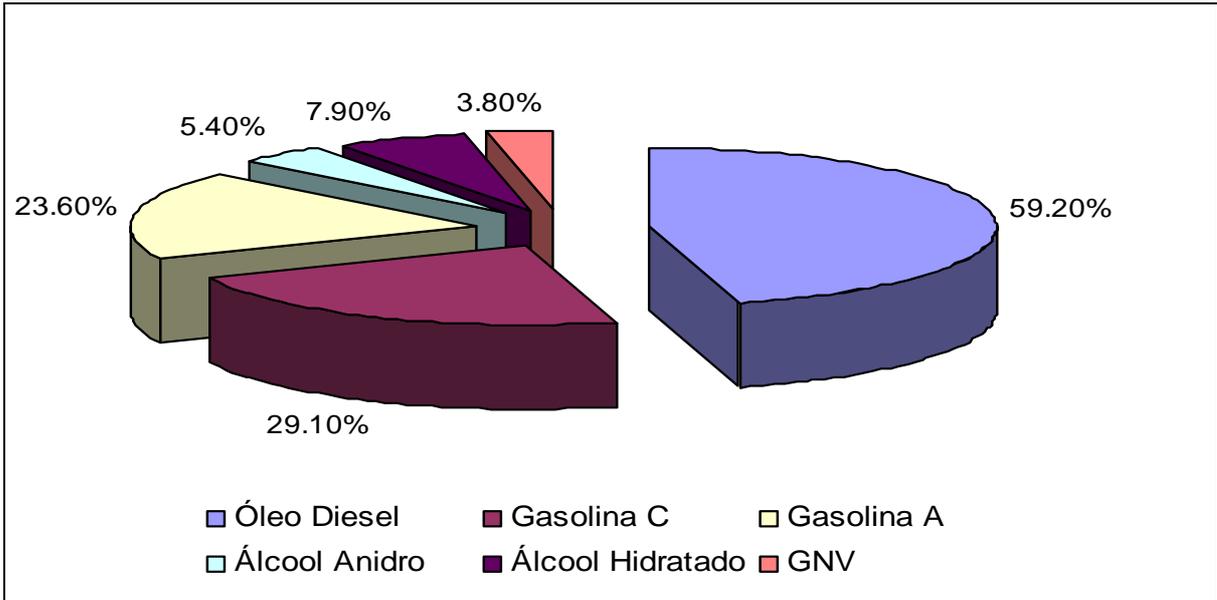
Em 1999, outra importante empresa de tecnologia automobilística, a Magneti Marelli (SP), usa um programa de computador (*SFS – Software Flexfuel Sensor*) inserido diretamente no módulo de comando da injeção eletrônica, que identifica e quantifica a mistura entre álcool e gasolina do tanque. Com essas informações, o programa determina a quantidade de combustível que será injetada no motor e também o instante da faísca que vai saltar da vela para efetuar a queima desta mistura. As características do álcool são diferentes da gasolina e o sistema ajusta o funcionamento do motor com qualquer proporção da mistura. Apesar de a potência do motor ser a mesma com qualquer que seja a mistura, quando o veículo é abastecido com gasolina, o carro tende a oferecer melhor desempenho (maior rendimento por quilômetro rodado).

O tetra-combustível é outro lançamento do mercado automobilístico brasileiro, com sistema tetra-combustível, que prioriza, principalmente, a economia de combustível. É o primeiro veículo do mundo a rodar com quatro combustíveis: álcool hidratado, gasolina C (gasolina brasileira, que no País atualmente possui 25% de álcool adicionado), gasolina A e gás natural veicular (GNV).

Tabela 4 – Matriz de Combustíveis Veiculares - 2006-2007

	Mil tep		Varição	Estrutura		Diferença
	2006	2007	07 / 06 %	2006	2007	07 – 06
Óleo Diesel	33079	35165	6,31	59,6	59,2	-0,3
Gasolina C	17287	17252	-0,2	31,1	29,1	-2,1
Gasolina A	14574	14016	-3,83	26,2	23,6	-2,6
Álcool Anidro	2713	3236	19,3	4,9	5,4	0,6
Álcool Hidratado	3155	4714	49,39	5,7	7,9	2,3
GNV	2027	2255	11,27	3,6	3,8	0,1
Total	55548	59386	66,77	100	100	0

Fonte: ANP / SAB



### 3. MODELO TEÓRICO

A idéia deste capítulo é testar empiricamente o quanto os mercados de combustíveis (leia-se: mercado de gasolina C e mercado de álcool hidratado) estão próximos de um possível equilíbrio.

As produtividades marginais dos motores movidos a álcool e gasolina seguem uma relação de 70%, como propõem Salvo *et alii* (2007). Isto sugere a primeira relação básica para nosso estudo:

$$\frac{PMG_a}{PMG_g} = \frac{70}{100} \quad (1),$$

ou seja, quando a alimentação dos motores é proveniente do álcool, o rendimento do litro de combustível por quilômetro rodado é 30% menor do que no caso da alimentação a gasolina.

Do lado da demanda, seria de se esperar que a utilidade marginal do litro de álcool, quando comparada à de gasolina, siga esta mesma relação, i.e. ,

$$\frac{UMG_a}{UMG_g} = \frac{70}{100} \quad (2)$$

No equilíbrio, as utilidades marginais dos combustíveis deveriam se igualar aos seus preços, logo:

$$\frac{UMG_a}{UMG_g} = \frac{p_a}{p_g} = \frac{70}{100} \quad (3).$$

A equação (3) representa a relação microeconômica primordial que sustentará nossa análise. A introdução dos carros do tipo *flex* e o respectivo poder de arbitragem advindo com esta introdução levam o mercado de combustíveis à

substituição perfeita entre litro de álcool e litro de gasolina, ou seja, a racionalidade do consumidor deveria garantir uma função de utilidade do tipo:

$$u(l_a, l_g) = 0.7 * l_a + l_g \quad (4),$$

onde  $l_a$  e  $l_g$  representam, respectivamente, o litro do álcool e o litro da gasolina.

Graficamente tem-se:

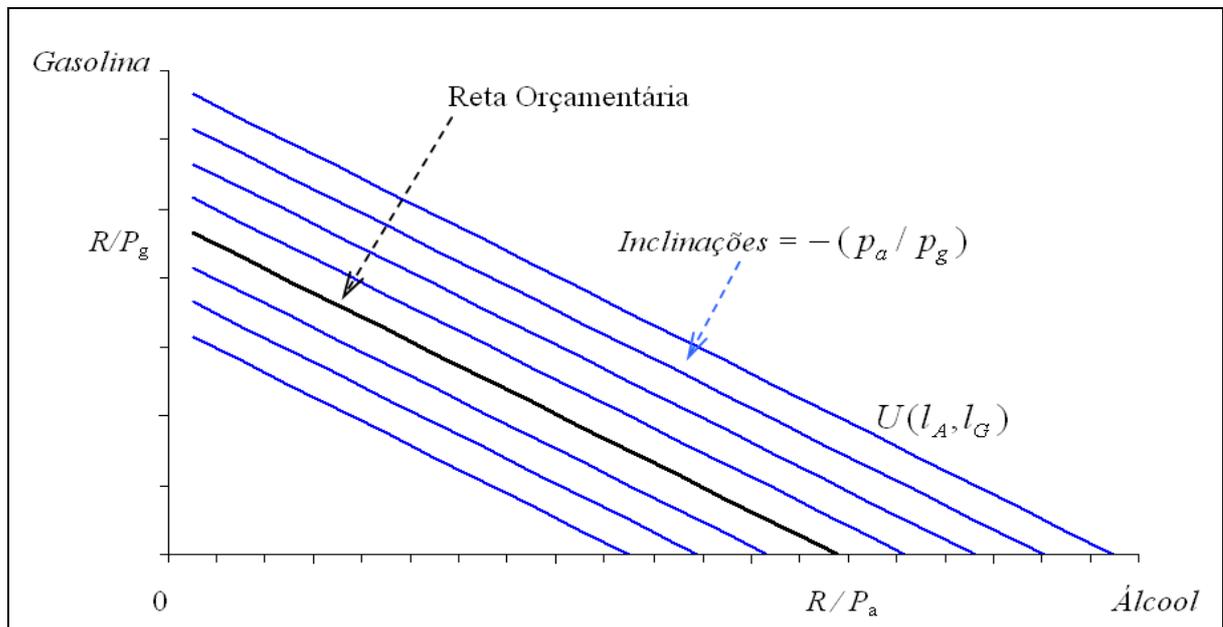


Gráfico 12 – Substituição entre Álcool e Gasolina.  
Fonte: Elaboração própria

O Gráfico 10 sugere que álcool e gasolina são substitutos perfeitos. Neste caso, as curvas de indiferença (de cor azul) possuem inclinação igual à relação entre os preços, ou seja,  $-(p_a / p_g) = -0,7$ . Desse modo, o consumidor sempre deve optar por consumir o combustível de acordo com a seguinte regra de decisão:

$$T_c = f(\min\{p_a, 0.7 * p_g\}) \quad (5),$$

ou seja, o tipo de combustível pelo qual o consumidor opta,  $T_c$ , deve ser uma função do menor dos preços (preço do álcool ou preço da gasolina), respeitado o coeficiente técnico de 70%.

#### 4. ESTRATÉGIA EMPÍRICA PARA ANÁLISE DO EQUILÍBRIO

Neste estudo, organizamos um painel mensal com 27 unidades brasileiras durante o período de julho de 2001 a fevereiro de 2008, contendo os preços relativos dos combustíveis, ou seja, tem-se a seguinte variável:

$$p_{it} = \left( \frac{p_a}{p_g} \right)_{it},$$

onde  $p_a$  e  $p_g$  são os respectivos preços médios ao consumidor, em R\$ / litro, do álcool e da gasolina, respectivamente, levantados pela ANP<sup>13</sup>. O comportamento da média desta variável para o painel com desvio-padrão de 1%, assim como o coeficiente técnico de 0.7, podem ser vistos no gráfico 13:

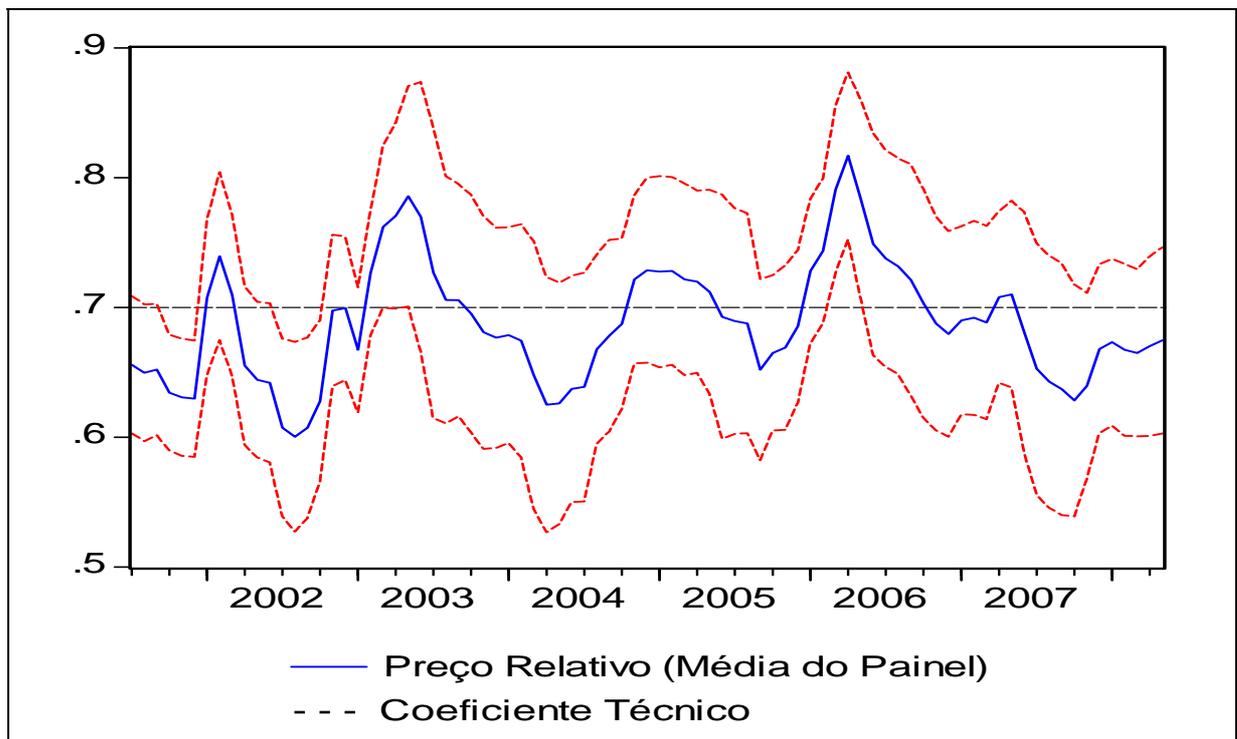


Gráfico13 – Comportamento do Preço Relativo dos Combustíveis (Média do Painel Com Desvio Padrão de 1% e Coeficiente Técnico de 0.7).  
Fonte: Saída do E-views.

<sup>13</sup> Os preços médios dos combustíveis podem ser facilmente encontrados no endereço [http://www.anp.gov.br/preço/prc/Resumo\\_Mensal\\_Index.aso](http://www.anp.gov.br/preço/prc/Resumo_Mensal_Index.aso).

Como de praxe, a primeira análise seria testar se tal série é estacionária, ou seja, se não existem raízes unitárias no processo gerador de dados desta variável. Como estamos trabalhando com dados em painel, utilizamos o teste de raízes unitárias individuais, proposto por Im, Pesaran e Shin (2003). Os resultados são os que se seguem no Quadro 1.

Null Hypothesis: Unit root (individual unit root process)							
Sample: 2001M07 2008M02							
Exogenous variables: Individual effects							
User specified lags at: 2							
Total (balanced) observations: 2079							
Cross-sections included: 27							
Method	Statistic						Prob.
Im, Pesaran and Shin W-stat	-8.40651						0.000
Intermediate ADF test results							
Cross-section	t-Stat	Prob.	E(t)	E(Var)	Lag	Max Lag	Obs
1	-2.7898	0.0644	-1.502	0.763	2	2	77
2	-2.7629	0.0684	-1.502	0.763	2	2	77
3	-2.9968	0.0396	-1.502	0.763	2	2	77
4	-3.1894	0.0244	-1.502	0.763	2	2	77
5	-2.143	0.2288	-1.502	0.763	2	2	77
6	-3.2381	0.0215	-1.502	0.763	2	2	77
7	-3.8914	0.0033	-1.502	0.763	2	2	77
8	-2.5586	0.1061	-1.502	0.763	2	2	77
9	-3.5961	0.0080	-1.502	0.763	2	2	77
10	-2.0697	0.2574	-1.502	0.763	2	2	77
11	-2.4742	0.1257	-1.502	0.763	2	2	77
12	-3.7026	0.0058	-1.502	0.763	2	2	77
13	-2.5454	0.1090	-1.502	0.763	2	2	77
14	-2.5299	0.1125	-1.502	0.763	2	2	77
15	-2.8203	0.0601	-1.502	0.763	2	2	77
16	-2.9597	0.0433	-1.502	0.763	2	2	77
17	-2.7773	0.0663	-1.502	0.763	2	2	77
18	-2.7305	0.0735	-1.502	0.763	2	2	77
19	-2.982	0.0411	-1.502	0.763	2	2	77
20	-2.8156	0.0608	-1.502	0.763	2	2	77
21	-2.9229	0.0473	-1.502	0.763	2	2	77
22	-2.8489	0.0563	-1.502	0.763	2	2	77
23	-2.9499	0.0444	-1.502	0.763	2	2	77
24	-3.4837	0.0110	-1.502	0.763	2	2	77
25	-3.3763	0.0148	-1.502	0.763	2	2	77
26	-2.3523	0.1587	-1.502	0.763	2	2	77
27	-3.2001	0.0237	-1.502	0.763	2	2	77
Average	-2.9151		-1.502	0.763			

Quadro 1 – Teste de Raiz Unitária (IPS).

Fonte: Saída do E-views.

O teste é uni-caudal e o baixo p-valor do teste sugere que a hipótese nula de raiz unitária deve ser rejeitada para um nível de significância de 5%, ou seja, tem-se evidência de que não existem raízes unitárias.

É bastante comum se analisar o comportamento temporal dos preços de combustíveis com base em modelos auto-regressivos univariados, pois assumem que fatores externos a esta exclusiva variável não se alteram ao longo do período em análise. Exemplos na literatura nacional relacionada aos combustíveis podem ser vistos nos trabalhos de Iooty *et alii* (2004) e Figueira e Burnquist (2006), dentre outros.

Embora o objetivo aqui não seja realizar nenhum tipo de previsão com base na metodologia Box-Jenkins, é ideal que primeiramente seja realizada uma análise das funções de autocorrelação (FAC) e das funções de autocorrelação parcial (FACP).

É sabido que, se a função de autocorrelação for decaindo suavemente ao longo do tempo a uma determinada taxa geométrica, e que se a função de correlação parcial resultar em zeros após única defasagem, então, um modelo auto-regressivo de primeira ordem, AR(1), é apropriado para a análise. Alternativamente, se as autocorrelações forem zero após uma defasagem e as autocorrelações parciais declinarem geometricamente, um processo com média móvel de primeira ordem parece ser mais adequado.

Como se pode observar no Gráfico 14, a função de autocorrelação apresenta queda suave, própria dos processos auto-regressivos.

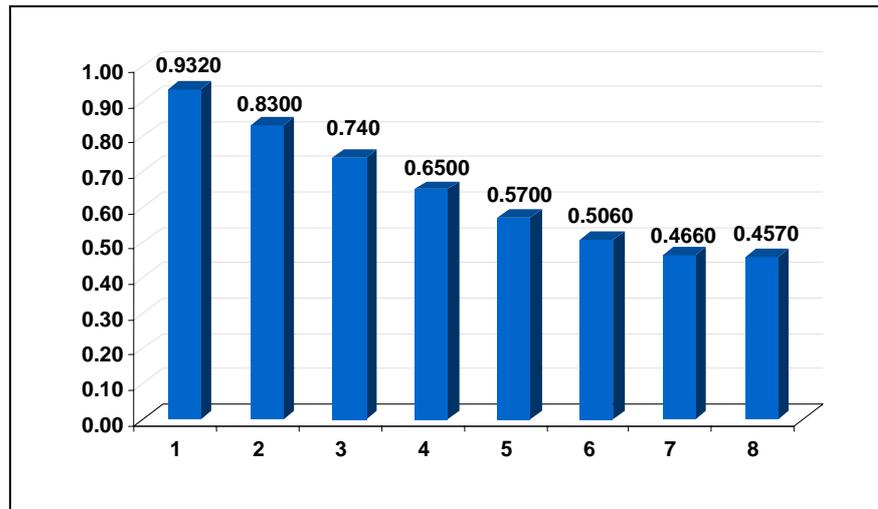


Gráfico 14 – Função de Autocorrelação (FAC).  
Fonte: Saída do E-views.

Também é sabido que a função de autocorrelação parcial (FACP) de um processo auto-regressivo puro de ordem  $p$ ,  $AR(p)$ , se encerra na  $p$ -ésima defasagem, enquanto que, num processo  $MA(q)$  puro, a FACP deve ir assintoticamente para zero.

Sendo assim, a função de autocorrelação parcial, apresentada no gráfico 15, juntamente com a função de autocorrelação (vista anteriormente), sugerem a possível existência de um processo  $AR(1)$  ou  $AR(2)$  para o preço relativo dos combustíveis.

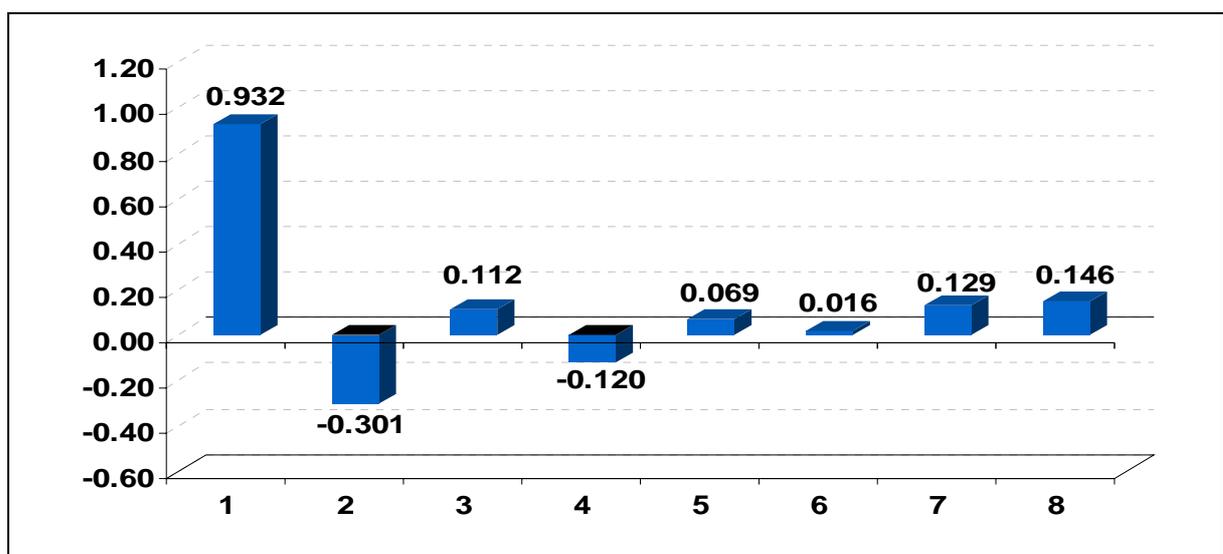


Gráfico 15 – Função de Autocorrelação Parcial (FACP).  
Fonte: Saída do E-views.

No intuito de se testar um processo auto-regressivo de primeira ordem AR(1) contra um processo auto-regressivo de segunda ordem AR(2), podemos selecionar o melhor modelo, utilizando o critério de minimização de informação de Akaike. Tal critério sugere que:

$$AIC = -2 \cdot \log_e(L(\hat{\theta} | data)) + 2K ,$$

onde K é o número de parâmetros estimados no modelo e,  $\log_e(L(\hat{\theta} | data))$  é o log da função de máxima verossimilhança que leva em conta os parâmetros desconhecidos ( $\theta$ ), o modelo proposto e os dados. Como é sabido, devemos optar pelo modelo que apresentar o menor critério de informação. A modelagem AR(1) sugere um valor de -26,7033 para este critério, enquanto que a modelagem AR(2) aponta para um valor de -24,7274. Desse modo, as evidências apontam para um modelo do tipo AR(1).

Com efeito, assumindo a idéia de que tal variável segue um processo auto-regressivo de primeira ordem AR(1), é necessário que seja satisfeita a seguinte equação em diferença:

$$p_{it} = c + \phi p_{it-1} + \varepsilon_{it} \quad (6),$$

onde  $\{\varepsilon_{it}\}$  satisfaz as três propriedades a seguir:

- i)  $E(\varepsilon_{it}) = 0$ ;
- ii)  $E(\varepsilon_{it}^2) = \sigma^2$  e;
- iii)  $E(\varepsilon_t \varepsilon_\tau) = 0, t \neq \tau$ .

É possível argumentar que Estados com maior renda, tais como Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, bem como o Distrito Federal, possam vir a interferir no painel. A elevada renda dessas unidades federadas, além da elevada frota de veículos, poderia interferir na demanda por combustíveis, causando um

possível desequilíbrio do preço relativo com relação as demais UFs, trazendo, assim, algum tipo de heterogeneidade. Para controlar tal problema, é introduzida uma variável *dummy* na equação (6), delimitando tais regiões. Também é seguida a estratégia proposta por Helder Queiroz Pinto Jr *et alii* (2006), sendo acrescentada uma tendência estocástica, ou seja, a equação de interesse é:

$$p_{it} = c + \delta t + \gamma State_i + \phi p_{it-1} + \varepsilon_{it} \quad (7),$$

onde  $State_i = \begin{cases} 1 & \text{se } MG, RJ, DF \text{ ou } SP \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$ .

Os resultados estimados por mínimos quadrados da equação (7) encontram-se na seqüência:

Dependent Variable: P				
Method: Panel Least Squares				
Sample (adjusted): 2001M08 2008M02				
Cross-sections included: 27				
Total panel (balanced) observations: 2133				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.044727	0.005394	8.291.808	0.0000
@TREND	-2.91E-05	2.87E-05	-1.011.676	0.3118
EST_DUMMY	-0.003183	0.001878	-1.694.479	0.0903
P(-1)	0.937645	0.007666	1.223.162	0.0000
R-squared	0.881781	Mean dependent var		0.688900
Adjusted R-squared	0.881614	S.D. dependent var		0.087549
S.E. of regression	0.030123	Akaike info criterion		-4.165.162
Sum squared resid	1.931.883	Schwarz criterion		-4.154.538
Log likelihood	4.446.145	F-statistic		5.293.308
Durbin-Watson stat	1.396.262	Prob(F-statistic)		0.000000

Quadro 2 – Estimativas da Equação 7 (com *Dummy* Estadual e Tendência).

Fonte: Saída do E-views

Como as estatísticas t da variável *State* (*dummy*) e da tendência estocástica revelam não-significância para um nível de 5%, deve-se retirá-las da análise, ou seja, as unidades federadas que dispõem de alta renda *per capita* e elevada frota de veículos parecem não gerar problemas de heterogeneidade nos

preços relativos e os preços relativos parecem não seguir uma tendência<sup>14</sup>. Retornando à equação (6), têm-se, então, as seguintes estimativas:

Dependent Variable: P				
Method: Panel Least Squares				
Sample (adjusted): 2001M08 2008M02				
Cross-sections included: 27				
Total panel (balanced) observations: 2133				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.041731	0.00518	8.056421	0.000000
P(-1)	0.93962	0.007461	125.9417	0.000000
R-squared	0.881560	Mean dependent var		0.688900
Adjusted R-squared	0.881505	S.D. dependent var		0.087549
S.E. of regression	0.030137	Akaike info criterion		-4.165175
Sum squared resid	1.935484	Schwarz criterion		-4.159863
Log likelihood	4444.159	F-statistic		15861.30
Durbin-Watson stat	1.396337	Prob(F-statistic)		0.000000

Quadro 3 - Estimativas da Equação 6.  
Fonte: Saída do E-views

Como pode ser visto no Quadro 3, os resultados obtidos da regressão (6) revelam que todos os parâmetros são estatisticamente significantes para um nível de significância de 1%. O  $R^2$  igual a 88% demonstra bom grau de ajuste aos dados e a estatística F também indica que devemos rejeitar a hipótese nula de que os coeficientes, como um todo, são iguais a zero. Esta análise (global e individual), juntamente com a análise das funções de autocorrelação e autocorrelação parcial, sugerem que a representação AR(1) pode ser considerada como boa escolha.

Como é sabido da análise de equações em diferença de primeira ordem, se  $|\phi| \geq 1$  os termos de erro se acumulam na nossa variável  $p$ , em vez de se dissiparem. Neste caso, o processo para  $p_{it}$  não seria covariância-estacionário, entretanto, se  $|\phi| < 1$ , têm-se uma solução estável, que pode ser caracterizada da maneira que se segue:

$$\begin{aligned}
 p_{it} &= (c + \varepsilon_{it}) + \phi.(c + \varepsilon_{it-1}) + \phi^2.(c + \varepsilon_{it-2}) + \phi^3.(c + \varepsilon_{it-3}) + \dots \\
 &= [c/(1 - \phi)] + \varepsilon_{it} + \phi.\varepsilon_{it-1} + \phi^2.\varepsilon_{it-2} + \phi^3.\varepsilon_{it-3} + \dots
 \end{aligned}
 \tag{8}.$$

<sup>14</sup> Contrariando os resultados de Helder Queiroz Pinto Jr *et alii* (2006).

Este pode ser visto como um processo de média móvel infinito [MA( $\infty$ )] e, tomando a expectativa deste, tem-se:

$$E(p_{it}) = [c/(1-\phi)] + 0 + 0 + 0 + \dots \quad (9),$$

ou seja, a média do processo estacionário AR(1) é dada por:

$$\mu = c/(1-\phi) \quad (10),$$

sendo necessário que o processo seja estacionário.

Prosseguindo em nossa análise, argumentamos aqui que, caso o mercado de combustíveis esteja em um possível equilíbrio, a taxa marginal de substituição entre o litro do etanol e o litro da gasolina seria equivalente à razão entre os preços destes insumos e, por sua vez, deveria ser equivalente à média do processo descrita em (10); isto é, reunindo as equações (3) e (10), uma condição para o equilíbrio seria:

$$\frac{UMG_a}{UMG_g} = \frac{p_a}{p_g} = \frac{70}{100} = \mu = \frac{c}{(1-\phi)} \quad (11).$$

Não seria sensato realizar um teste t convencional para analisarmos a hipótese de que  $\mu = 0.7$ . Isto porque o coeficiente da regressão,  $c$ , segue distribuição normal e  $(1-\phi)$  também obedece uma distribuição normal, mas a razão entre duas normais, *a priori*, não segue nenhuma distribuição-padrão, entretanto, é possível formular a seguinte hipótese, a ser testada:

$$H_0 : \mu(1-\phi) = c \quad \Leftrightarrow \quad 0.7(1-\phi) = c \quad (12).$$

A hipótese nula descrita na restrição acima é linear nos parâmetros e pode ser facilmente testada por meio de um teste Wald. Os resultados deste teste são os que se seguem no Quadro 4.

Test Statistic	Value	df	Probability
F-statistic	0.659857	(1, 2131)	0.4167
Chi-square	0.659857	1	0.4166
Null Hypothesis Summary:			
Normalized Restriction (= 0)		Value	Std. Err.
C(1) - 0.7*(1 - C(2))		-0.000534	0.000658

Quadro 4 – Teste de Wald.

Fonte: Saída do E-views

O alto p-valor do teste, tanto para a estatística F quanto para a estatística Qui-quadrado, sugere que a hipótese nula não deve ser rejeitada, ou seja, temos evidência de que a média do processo é de 70%.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Os resultados se mantêm para um nível de significância de 10% ao se restringir a amostra para o período de janeiro de 2005 a fevereiro de 2008.

## 5. CONCLUSÃO

Com este trabalho, pretendemos analisar o mercado de combustíveis líquidos, de etanol e de gasolina, testando a existência de um possível equilíbrio consistente com a substituição perfeita entre as duas opções e de que maneira, dada uma situação de desequilíbrio, os preços relativos entre os dois combustíveis ( $p_{it}$ ) podem de fato convergir para esse equilíbrio com a tomada de decisão sobre a escolha mais vantajosa pelo consumidor do carro do tipo *flex*. No País, esse carro com flexibilidade tecnológica representa mais de três milhões de veículos produzidos, segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea).

Pelos valores das estatísticas de teste e seus p-valores na análise dos preços relativos, verificou-se que tal variável segue um processo AR(1) com média equivalente à razão entre as utilidades marginais do litro do etanol e da gasolina, que, por sua vez, deveria se igualar ao coeficiente técnico de 70%. Constatou-se que o consumidor brasileiro, proprietário do carro bicombustível, exerce plenamente o seu poder de arbitragem. Este fato comprova a hipótese do trabalho, de que o etanol e a gasolina são substitutos perfeitos, não necessitando, portanto, da intervenção do Governo para regular esse mercado no longo prazo. Vale ressaltar que esse poder de arbitragem funciona como um regulador natural do mercado de etanol.

Como consideração final, destacamos o fato de que esse poder de escolha, além de beneficiar os consumidores de etanol, propicia o fortalecimento e expansão do mercado desse biocombustível. A produção de álcool hoje é maior do que a demanda, favorecendo preços competitivos, tanto no mercado interno quanto no externo. E o Brasil, no momento atual, tem a oportunidade de usufruir da posição de liderança na expansão desse mercado de combustível líquido alternativo em âmbito mundial. Detém experiência de mais de 30 anos – vantagem competitiva na produção de álcool por meio da cana-de-açúcar, que é mais barata e menos poluente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, C.; SOUZA, S. P. **Cana-de-açúcar: a melhor alternativa para conversão da Energia Solar e Fóssil em Etanol**: Disponível em: [HTTP://ecen.com/eee59/eee59p/cana\\_melhor\\_conversorl.htm](http://ecen.com/eee59/eee59p/cana_melhor_conversorl.htm) Acesso em: 5 maio 2008.

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira** edição 2008. disponível em: [HTTP://www.anfavea.com.br/anuario2008/capitulo4.pdf](http://www.anfavea.com.br/anuario2008/capitulo4.pdf) Acesso em: 15 jul. 2008.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo e do Gás Natural** edição 2008. Disponível em: [HTTP://www.anp.gov.br/conheca/anuario\\_2008.asp](http://www.anp.gov.br/conheca/anuario_2008.asp) Acesso em: 24 jul. 2008.

Balanço Energético Nacional – BEM 2008 (ano base 2007). **Resultados Preliminares**. EPE/MME. Disponível em: [HTTP://www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br) Acesso em: 30 jul. 2008.

BUENO, Rodrigo de Losso da Silveira. **Econometria de séries temporais**. São Paulo: Cengage Learning, 2008. 299p.

FIGUEIRA, Sérgio Rangel; BURNQUIST, Heloisa Lee. Programas para álcool combustível nos Estados Unidos e possibilidades de exportação do Brasil. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo: IEA, v. 53, n.2, p.5-18, jul/dez. 2006

GUJARATI, Domador N. **Econometria Básica**. 3. Ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2000. 846p.

HAMILTON, James D. **Time series Analysis**. New Jersey: Princeton University Press, 1994. 799p.

IOOTTY, M.; PINTO JÚNIOR, H.Q.; ROPPA, B. Volatilidade dos preços da gasoline e dos preços internacionais do petróleo: uma análise a partir do índice de instabilidade no período 2002-2004. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 10., 2004, **Anais....**, 2004.p.,1295-1302.

LANDELL, Marcos G. A. **Produção de cana-de-açúcar: Potencial e Perspectivas**. Disponível em: <http://www.iea.usp.br/iea/online/midiateca/landellalimentosxenergia.pdf> Acesso em: 2 jul. 2008.

PINTO JÚNIOR, Helder Q.; BICALHO, Ronaldo; IOOTTY, Mariana. **Flexibilidade, Política Energética e Posições Intertemporais: O Caso Recente da “Crise” do Álcool**. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 11. 2006. Disponível em: [www.gee.ie.ufrj.br/publicacaos/pdf/20\\_06\\_flex\\_politica.pdf](http://www.gee.ie.ufrj.br/publicacaos/pdf/20_06_flex_politica.pdf) Acesso em: 12 fev. 2008.

PISANI JÚNIOR, R. **Muitas vantagens e poucos inconvenientes. Ser uma fonte renovável de energia é o grande diferencial do álcool.** Disponível em: <[http://www.universia.com.br/html/materia\\_bachb.html](http://www.universia.com.br/html/materia_bachb.html)> Acesso em: 7 jan.. 2008.

SALVO, Alberto; HUSE, Cristian. **Is Arbitrage Tying the price of Ethanol to that of Gasoline? Evidence from the Uptake of Flexive-Fuel Technology.** Disponível em: <http://www.kellogg.northwestern.edu/images/buttons/link.gif> Acesso em: 3 mar. 2008.

Sindicato da Indústria de Fabricação do Álcool no Estado de Minas Gerais (Siamig). **Cartilha sobre os mitos e verdades da cana-de-açúcar.** Disponível em: [http://www.siamig1.com.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=17&Itemid=62](http://www.siamig1.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=17&Itemid=62) Acesso em: 20 maio 2008.

VARIAN, Hal R. **Microeconomia: Princípios Básicos.** Rio de Janeiro: campus, 2000. 756p.