



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

FRANCISCO EVANDRO DE SOUSA SANTOS

**A ELASTICIDADE DAS FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS E NÃO
RENOVÁVEIS NO PIB BRASILEIRO NO PERÍODO DE 1970 A 2005**

**FORTALEZA
2008**

FRANCISCO EVANDRO DE SOUSA SANTOS

**A ELASTICIDADE DAS FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS E NÃO
RENOVÁVEIS NO PIB BRASILEIRO NO PERÍODO DE 1970 A 2005**

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. Roberto Tatiwa Ferreira

**FORTALEZA
2008**

FRANCISCO EVANDRO DE SOUSA SANTOS

**A ELASTICIDADE DAS FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS E NÃO
RENOVÁVEIS NO PIB BRASILEIRO NO PERÍODO DE 1970 A 2005**

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 _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Roberto Tatiwa Ferreira
Orientador

Prof. Dr. Ronaldo de Albuquerque e Arraes
Membro

Prof. Dr. Paulo de Melo Jorge Neto
Membro

AGRADECIMENTOS

Muitos foram os que contribuíram direta ou indiretamente com esse trabalho, a eles devo minha gratidão.

Agradeço primeiramente a Deus, que sempre iluminou meus caminhos.

Aos meus pais Donato e Elisabete que além de terem me dado todo apoio moral necessário durante essa jornada, incentivaram-me nos momentos de dúvida, mostrando caminhos que não conseguia enxergar.

A minha esposa Camilla e filha Zaina que souberam pacientemente abdicar de vários momentos para que pudesse me dedicar a esse trabalho. A vocês um carinho especial.

Aos meus irmãos Evanildo e Everton, e à minha família, que me apoiaram e incentivaram, mesmo de longe, nessa jornada acadêmica.

Ao meu orientador Prof. Roberto Tatiwa e co-orientador Prof. Ronaldo Arraes que demonstraram empenho e interesse nesse trabalho. Agradeço-lhes pela presteza com que me orientaram nessa dissertação.

Aos demais professores do curso de mestrado pelos conhecimentos e comentários transmitidos, bem como o incentivo e encorajamento ao desenvolvimento desta dissertação.

Aos colegas mestrandos pelo companheirismo e incentivo.

Ao Prof. Dr. Ronaldo Arraes pela boa condução da turma do MPE-2006, Parnaíba-Piauí.

Ao IPEPLAN pelo suporte de funcionamento da nossa turma.

“Existem valiosas atividades humanas que para darem todos os seus frutos, reclamam o estímulo do lucro e a atmosfera da propriedade privada de riqueza.”

(John M. Keynes)

RESUMO

Este estudo tem o objetivo de mensurar a elasticidade das fontes de energia renováveis e não-renováveis no PIB brasileiro e calcular a taxa marginal de substituição técnica entre estes insumos. Para isso, utilizou-se uma função de produção do tipo Cobb-Douglas com as seguintes variáveis: o PIB anual em reais de 2006; a formação bruta de capital fixo em reais de 2006, o número de contribuintes, as fontes energéticas renováveis e não-renováveis, ambas em tep. Conclui-se que a reduzida taxa de substituição de energia não-renovável por energia renovável mostra a vocação do uso de fontes de energia limpas e renováveis da matriz energética brasileira em relação à matriz energética mundial.

Palavras-Chave: Elasticidade. Energia. Função de Produção Cobb-Douglas. Energia Renovável. Energia Não-Renovável. Taxa Marginal de Substituição Técnica.

ABSTRACT

This study aims to measure the elasticity of renewable energy and non-renewable in the Brazilian GDP. Using a Cobb-Douglas production function with the following variables: the real annual GDP, the real gross fixed capital formation, the number of taxpayers, renewable energy sources and non-renewable, both measured in tep. The main result of this work shows that a small technical rate of substitution of non-renewable energy by renewable ones corroborate the vocation of Brazil in favor of a clean and renewable energetic matrix.

Key-Words: Energy. Elasticity. Production Function Cobb-Douglas. Renewable Energy. Non-Renewable Energy. Economic Growth. Technical Rate of Substitution

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 –	Comparativo (%) da Oferta Interna de Energia no Brasil e no Mundo.....	17
FIGURA 2 –	Participação dos Principais Energéticos na Matriz Brasileira ao Longo do Tempo.....	25
FIGURA 3 -	Evolução da Participação das Fontes Renováveis e Não-Renováveis no Período de 1970 a 2005.....	26
FIGURA 4 –	Comparativo (%) da Matriz Elétrica de 2006 em relação a 2015.	31
FIGURA 5 –	Comparativo (%) da Matriz Energética de 2005 em relação a 2030.....	32
FIGURA 6 –	Representação Gráfica de Isoquanta.....	36

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 –	Composição da Matriz Energética Mundial e Brasileira.....	15
TABELA 2 -	Evolução Percentual da Matriz Energética Brasileira de 2000 a 2005.....	16
TABELA 3 –	Comparativo (%) da Oferta Interna de Energia no Mundo e no Brasil.....	17
TABELA 4 –	Matriz Elétrica Brasileira.....	22
TABELA 5 –	Resultados da Estimação da Equação (1).....	42
TABELA 6 –	Teste de Restrição de Parâmetros.....	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. ASPECTOS TEÓRICOS	12
2.1 Definições sobre Energia.....	12
2.1.1 Estágios e Fontes de Energia.....	13
2.1.2 Cadeias e Matriz Energética.....	14
2.1.3 O Comportamento da Matriz Energética Brasileira no período de 1970 a 2005.....	25
2.1.4 Atuação dos Planos Governamentais na Matriz Energética Brasileira..	29
2.2 A Função de Produção.....	33
2.2.1 Retornos de Escala.....	33
2.2.2 Produto Médio e Produto Marginal.....	34
2.2.3 Isoquanta e Taxa Marginal de Substituição Técnica.....	35
2.3 Função de Produção Cobb-Douglas e Abordagem Econométrica.....	37
3. RESULTADOS	40
CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
APÊNDICE A	50
APÊNDICE B	55
APÊNDICE C	56
APÊNDICE D	59

1. INTRODUÇÃO

As necessidades energéticas de um país são diretamente proporcionais ao seu grau de industrialização. Assim, as economias altamente industrializadas são grandes consumidoras de energia e precisam importar recursos energéticos freqüentemente para suprir suas necessidades. Em geral, esse alto consumo exige também a utilização de diversas fontes.

A expansão da matriz energética nacional vem sendo fruto de discussões acaloradas por diversos setores da sociedade brasileira. Embora a opção por um sistema energético misto seja quase consensual, sua implantação depende de planejamento e análise da relação custo-benefício. Por isso uma forma do Brasil se proteger de possíveis reduções nos níveis dos reservatórios de água é optar no curto prazo por formas mistas de obtenção de energia (hidrelétrica e termelétrica), que tem a finalidade de tentar conter possíveis apagões.

Há os que defendem as fontes alternativas de energia como solução complementar ao problema energético brasileiro. As maiores cidades, consumidoras da maior parte da energia produzida no país, precisam de grandes e inúmeras centrais energéticas. Mas o fato é que cerca de 90% dos municípios brasileiros são pequenos ou médios. Para eles, pequenas centrais baseadas em fontes alternativas de energia, como a eólica e a solar, poderiam solucionar em parte o problema.

Conjugar grandes centrais de energia, baseadas em hidrelétricas e em termoelétricas (co-geração), com pequenas centrais baseadas em fontes alternativas de energia, seria a concretização de um novo modelo energético para o país. Isso evitaria a dependência completa das fontes tradicionais, dispendiosas e distantes dos grandes centros urbanos.

Observa-se um período de transição e de incorporação de novas fontes energéticas na vida das pessoas e das nações, esta é uma tendência internacional,

pode-se encontrar na diversidade das fontes renováveis, as múltiplas saídas para os problemas energéticos dos países.

O Brasil foi pioneiro na busca de fontes renováveis e limpas de energia. Sem dúvida, a produção e o uso de combustíveis renováveis são de fundamental importância na contribuição para reduzir o efeito estufa e os níveis de CO₂ despejados na atmosfera. O uso do álcool combustível proporcionou inegáveis melhorias para a saúde da população. Dentre elas, acelerou a eliminação do chumbo que era adicionado à gasolina, reduziu os agentes poluentes da frota de veículos e, por ser renovável e derivado da biomassa, seu ciclo de produção é ofensivo na redução das emissões de CO₂. A utilização do bagaço da cana-de-açúcar na geração de eletricidade se constitui em outro fator importante de energia alternativa. (ALVES, 2005).

Dado o nível tecnológico de uma economia, pode existir uma substituição entre os fatores de produção, a qual pode ser incentivada ou por mudanças nos preços relativos ou por consequência de políticas realizadas para se atingir um determinado resultado, almejado em um programa ou plano. No planejamento futuro de sua matriz energética um país pode desejar alterar ou fazer com que o perfil dessa matriz permaneça a mesma independente de choques exógenos, no que se refere à utilização de fontes renováveis e não renováveis. Nestes casos, é importante mensurar qual a taxa de substituição técnica entre os fatores energéticos, bem como suas elasticidades, no que se refere à produção.

Este é o objetivo principal deste trabalho, o qual utilizará uma função de produção do tipo Cobb-Douglas, com quatro fatores de produção: capital, trabalho, energias renováveis e energias não renováveis, para quantificar qual a taxa de substituição técnica entre os fatores energias renováveis e energias não renováveis, bem como suas elasticidades na produção brasileira (PIB).

Além desta introdução, este trabalho será dividido em três partes. No segundo capítulo serão discutidos os aspectos teóricos, como os conceitos de energia, estágios e fontes energéticas, cadeias e matriz energética, seguido de uma contextualização comparativa da matriz energética mundial e brasileira, o

comportamento da matriz energética brasileira no período de 1970 a 2005, a atuação dos planos governamentais na matriz energética brasileira, a função de produção e o modelo econométrico a ser estimado. No terceiro capítulo os principais resultados serão apresentados. No último, apresentam-se as principais conclusões deste estudo.

2. ASPECTOS TEÓRICOS

A energia é essencial para a organização econômica e social de todos os países. As formas de produção e o consumo de energia têm uma série de impactos sobre o desenvolvimento econômico e social e o meio ambiente. Por essas razões a energia ocupa um papel de destaque no processo de definição das estratégias empresariais e na agenda de políticas governamentais. De fato, não há desenvolvimento econômico e social sem suprimento de energia. (JUNIOR, et al., 2007).

2.1 Definições sobre Energia

No momento em que o homem aprendeu a controlar o fogo realizou sua primeira conquista energética, passando a utilizar a natureza de forma inteligente, para se aquecer, cozinhar e se proteger. (ELETROBRAS, 2007).

Ao longo dos séculos, outros recursos naturais – como a água, o carvão, o gás e petróleo – foram utilizados como fontes energéticas e aproveitados pela humanidade para gerar luz, calor e movimento.

Atualmente define-se energia como a capacidade de realizar um trabalho ou mudanças de estado. Para chegar a este conceito, a sociedade teve de usá-la, entendê-la e reconhecer seus diversos estágios, formas e fontes.

2.1.1 Estágios e Fontes de Energia

O potencial dos recursos que brotam e são extraídos pelo homem da natureza é chamado de energia primária. As fontes de energia primárias não renováveis são aquelas que correm o risco de se esgotar por serem utilizadas em velocidade maior do que o tempo necessário para a sua formação. É o caso dos combustíveis fósseis e dos radioativos. (ELETROBRAS, 2007).

As fontes primárias renováveis, ao contrário, são as que se pode considerar permanentemente disponíveis ou aquelas que os seres humanos podem manejar de acordo com a necessidade, como a biomassa, obtida da cana-de-açúcar, da casca do arroz e de resíduos animais, humanos e industriais.

O resultado da conversão da energia primária, ou seja, da transformação de fontes primárias, renováveis ou não, em calor, força, movimento etc., é chamada de energia secundária ou derivada.

Já a energia utilizada pelos consumidores residenciais ou industriais, na cidade ou no campo, é denominada energia final e alguns de seus melhores exemplos são a eletricidade e a gasolina.

Quando uma força é aplicada sobre um corpo, fazendo com que ele se desloque por um determinado espaço, dizemos que esta força realizou trabalho mecânico. Esta é uma forma comum de manifestação da energia, denominada de energia mecânica.

A queima ou combustão de um recurso natural – como a lenha ou o carvão – gera calor que é também outra forma comum de manifestação da energia, chamada de energia térmica.

A energia que flui do interior da terra sob a forma de calor é a energia geotérmica. Há ainda a energia radiante ou energia de radiações eletromagnéticas, como a luz e o calor do sol, as ondas de rádio e televisão, os raios X e as microondas.

Já a energia nuclear é obtida por alterações no núcleo de um átomo pela fissão ou quebra de núcleos pesados, seja pela fusão ou junção de núcleos leves.

Energia química é a energia liberada ou formada em uma reação química, como acontece nas pilhas e baterias.

Uma das mais importantes características da energia é a sua capacidade de transformação de uma forma para outra. E estas transformações podem ser controladas. Por exemplo: quando liga o motor de um carro, a energia química da bateria se transforma em energia elétrica, que produzirá trabalho fazendo girar o motor. Em seguida, a energia potencial da gasolina transformará em energia cinética e moverá os pistões que fazem as rodas girar. (JUNIOR, et al., 2007).

2.1.2 Cadeias e Matriz Energética

Cadeia energética é o conjunto de atividades necessárias para que alguns tipos de energia cheguem onde queremos usá-las. Essas atividades estão relacionadas à obtenção de energia primária, sua transformação em secundária nos centros de transformação e seu transporte de um ponto a outro até o seu consumo final. (JUNIOR, et al., 2007).

Atualmente geramos energia secundária em usinas, destilarias e refinarias, a partir de diversos recursos naturais como a água, o petróleo, a cana-de-açúcar, a lenha, o carvão e o gás natural. Depois, nós a transportamos para as grandes e pequenas cidades, já como energia final, na forma de eletricidade, álcool, gasolina, óleo e gás.

A matriz energética é uma representação quantitativa da oferta de energia, ou seja, da quantidade de recursos energéticos oferecidos por um país ou por uma região. (ELETROBRAS, 2007).

A análise da matriz energética de um país, ao longo do tempo, é fundamental para a orientação do planejamento do setor energético, que tem de

garantir a produção e uso adequados da energia produzida, permitindo, inclusive, as projeções futuras.

Uma informação importante obtida a partir da análise de uma matriz energética é a quantidade de recursos naturais que está sendo utilizada. Dispor desta informação nos permite avaliar se a utilização desses recursos está sendo feita de forma racional.

A evolução do consumo mundial de energia, baseada em combustíveis fósseis, conduziu a humanidade para uma matriz energética insegura e, sobretudo, bastante negativa ao meio ambiente. Isso tem levado muitos países a considerarem a necessidade de profundas mudanças, incluindo a intensificação do aproveitamento de outras fontes energéticas, sobretudo as renováveis. (GELLER, 2003).

A maior parte da energia gerada para movimentar a indústria, o transporte, o comércio e demais setores econômicos advém de fontes não-renováveis (86,8%) que liberam no meio ambiente inúmeros elementos poluentes, inclusive os gases do efeito estufa. Em termos mundiais, somente (13,2%) da produção de energia é de origem renovável. (BEN, 2006)

A composição da matriz energética mundial por tipo de fonte é a seguinte: Petróleo e Derivados 35,0%; Carvão Mineral e Derivados 25,0%; Gás Natural 21%; Biomassa 11%; Urânio e Derivados 6,0%; Energia Hidráulica e Eletricidade 2,0%. Conforme tabela 1, abaixo:

TABELA – 1 – Composição da Matriz Energética Mundial e Brasileira

FONTES DE ENERGIA	Mundo	Brasil
	2004	2006
Petróleo e Derivados	35,0	39,0
Gás Natural	21,0	9,0
Carvão Mineral e Derivados	25,0	6,0
Urânio (U ₃ O ₈) e Derivados	6,0	1,0
Energia Hidráulica e Eletricidade	2,0	15,0
Biomassa*	11,0	30,0

Fonte: Balanço Energético Anual (BEN), 2006.

Nota: * Inclui lenha e carvão vegetal, produtos da cana-de-açúcar e outras renováveis.

A composição da matriz energética brasileira, por tipo de fonte é a seguinte: Petróleo e Derivados 39%; Carvão Mineral e Derivados 6%; Gás Natural 9%; Biomassa 30%; Urânio e Derivados 1%; Energia Hidráulica e Eletricidade 15%. Conforme tabela 01 acima.

TABELA – 2 – Evolução Percentual da Matriz Energética Brasileira de 2000 a 2005
EVOLUÇÃO DA MATRIZ ENERGETICA NO BRASIL NO PERÍODO DE 2000 A 2005 (%)

IDENTIFICAÇÃO	2000	2001	2002	2003	2004	2005
ENERGIA NÃO RENOVÁVEL	59,0	60,7	58,8	56,3	56,2	55,5
PETRÓLEO E DERIVADOS	45,5	45,4	43,0	40,1	39,1	38,7
GÁS NATURAL	5,4	6,5	7,4	7,7	8,9	9,4
CARVÃO MINERAL E DERIVADOS	7,1	6,9	6,5	6,7	6,7	6,3
URÂNIO (U3O8) E DERIVADOS	0,9	2,0	1,9	1,8	1,5	1,2
ENERGIA RENOVÁVEL	41,0	39,3	41,2	43,7	43,8	44,5
HIDRÁULICA E ELETRICIDADE (*)	15,7	13,6	14,0	14,6	14,4	14,8
LENHA E CARVÃO VEGETAL	12,1	11,6	11,9	12,9	13,2	13,0
DERIVADOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	10,9	11,8	12,8	13,4	13,5	13,8
OUTRAS RENOVÁVEIS	2,3	2,4	2,5	2,8	2,7	2,9
TOTAL	100	100	100	100	100	100

Fonte: Balanço Energético Anual (BEN), 2006.

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

Conforme tabela 02 acima, observa-se uma pequena tendência de aumento (3,5%) na participação das fontes de energia renovável, e uma pequena tendência de queda (3,5%) na participação das fontes de energia não renováveis na composição da matriz energética brasileira no período de 2000 a 2005, confirmando o perfil brasileiro de matriz energética limpa.

A principal característica da matriz energética brasileira reside na elevada porcentagem (para os padrões mundiais) de energia renovável. A figura acima ilustra esta afirmação 44,5 % da oferta interna no Brasil são compostas por fontes de energia renováveis. Enquanto isto, na oferta mundial de energia, a energia renovável representa 13,0% (BEN, 2006).

A oferta interna de energia total no Brasil, em 2006, atingiu 229,7 milhões de tep¹, sendo que, deste total 101,9 milhões de tep ou 44,4% correspondem à oferta interna de energia renovável. Essa proporção é das mais altas do mundo,

¹ A conversão em tep (toneladas equivalentes de petróleo) é mostrado no apêndice A

contrastando significativamente com a média mundial de 13,2%, conforme tabela 3 e figura 1, abaixo:

TABELA – 3 –Comparativo (%) da Oferta Interna de Energia no Mundo e no Brasil

FONTES	Estrutura da Oferta Interna de Energia	
	Mundo (2004)	Brasil (2006)
Renovável	13,2	44,4
Não Renovável	86,8	55,6

Fonte: Balanço Energético Anual (BEN), 2006.

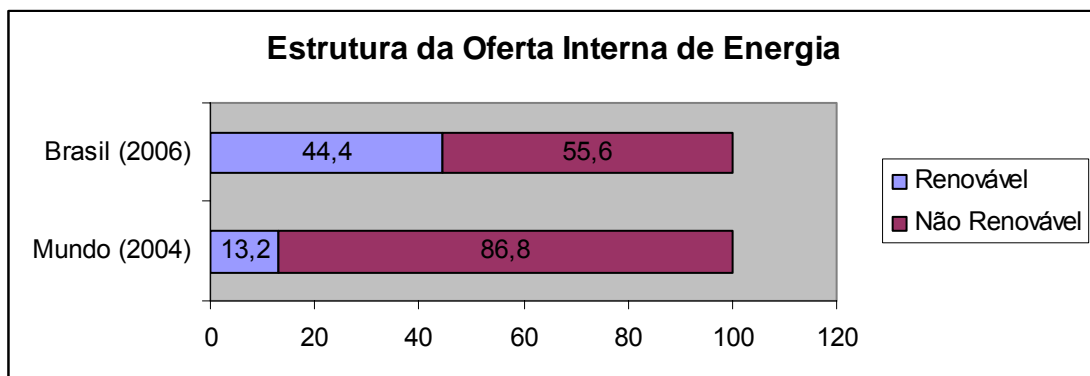


Figura – 1 – Comparativo (%) da Oferta Interna de Energia no Brasil e no Mundo

Fonte: Balanço Energético Anual (BEN) 2006.

A composição da matriz energética brasileira, segundo o percentual de importância na geração de energia, conforme tabela 01, é a seguinte:

1. Petróleo e Derivados
2. Biomassa (Produtos da Cana-de-Açúcar, Lenha e Carvão Vegetal e Outras Renováveis)
3. Energia Hidráulica e Elétrica
4. Gás Natural
5. Carvão Mineral e Derivados
6. Urânio

Petróleo e Derivados:

Embora conhecido desde os primórdios da civilização humana, somente em meados do século XIX tiveram início a exploração de campos e a perfuração de poços de petróleo. A partir de então, a indústria petrolífera teve grande expansão, principalmente nos Estados Unidos e na Europa. Apesar da forte concorrência do

carvão e de outros combustíveis considerados nobres naquela época, o petróleo passou a ser utilizado em larga escala, especialmente após a inovação dos motores a gasolina e a óleo diesel. (ERBER, 2005)

Durante muitas décadas o petróleo foi o grande propulsor da economia internacional, chegando a representar, no início dos anos 70, quase 50% do consumo mundial de energia primária. Embora declinante ao longo do tempo, sua participação neste consumo ainda representa cerca de 43%, segundo a Agência Internacional de Energia (OECD/AIE, 2003), e deverá manter-se expressiva por várias décadas.

Além de predominante no setor de transportes, o petróleo ainda é o responsável pela geração de energia elétrica em diversos países do mundo. Apesar da expansão recente da hidroeletricidade e da diversificação das fontes de geração de energia elétrica, verificadas nas últimas décadas, mas o petróleo ainda é responsável por aproximadamente 7,9% de toda a eletricidade gerada no mundo (PAFFENBARGER, 1997; AIE, 2003).

Produtos da Cana-de-Açúcar:

O sistema agroindustrial da cana de açúcar é um dos mais antigos e importantes do país, estando ligado diretamente aos principais eventos históricos do Brasil. São amplamente conhecidos a importância e o impacto que o Programa Brasileiro de Álcool Combustível – PROALCOOL teve no Brasil idealizado após o primeiro choque do petróleo, 1972. O programa apresentava vantagens econômicas e sociais importantes para o país naquele momento.

O PROALCOOL é considerado o maior programa mundial de energia renovável. O sucesso do programa pode ser confirmado por alguns fatos: o Brasil disputa com Estados Unidos o lugar de maior produtor de etanol no mundo – 16 milhões de m³ em 2005 (ANP: 2006), produzido a partir da cana-de-açúcar, ocupando cerca de 2% da área agriculturável do País (considerando apenas a fração de cana plantada, destinada à produção de álcool); as significativas e consistentes reduções observadas no custo de produção do etanol (curva de

aprendizado) durante os 25 anos de existência do Programa, hoje inferior a US\$ 0,20 por litro; os avanços tecnológicos na utilização do etanol como combustível em motores convencionais que utilizam um só tipo de combustível, quanto nos modernos motores dos veículos bicombustíveis.

Lenha e Carvão Vegetal:

A utilização da lenha no Brasil é ainda significativa 51.998 10³t, representando (12,4%) da matriz energética nacional. Sendo utilizado, principalmente, nas carvoarias para produzir carvão vegetal (42,8%), na cocção de alimentos nas residências (29%), uso industrial (19,8%), agropecuário (7,7%) e outros usos (0,7%).

Outras Renováveis:

O consumo crescente e o impacto ambiental e social causados pelas fontes de energias tradicionais levam governo e sociedade a pensar em novas fontes alternativas de energia, tais como: eólica, solar (fotovoltaica), maremotriz e outras.

Energia Eólica:

Os moinhos de vento são velhos conhecidos nossos, e usam a energia dos ventos, isto é, energia eólica, não para gerar eletricidade, mas para realizar trabalho, como bombear água e moer grãos. Na Pérsia, no século V, já eram utilizados moinhos de vento para bombear água para irrigação.

A energia eólica é produzida pela transformação da energia cinética dos ventos em energia elétrica. A conversão de energia é realizada através de um aerogerador que consiste num gerador elétrico acoplado a um eixo que gira através da incidência do vento nas pás da turbina.

A turbina eólica horizontal (a vertical não é mais usada) é formada essencialmente por um conjunto de duas ou três pás, com perfis aerodinâmicos

eficientes, impulsionadas por forças predominantemente de sustentação, acionando geradores que operam a velocidade variável, para garantir uma alta eficiência de conversão.

A instalação de turbinas eólicas tem interesse em locais em que a velocidade média anual dos ventos seja superior a 3,6 m/s.

Existem atualmente mais de 20 000 turbinas eólicas de grande porte em operação no mundo (principalmente nos Estados Unidos). Na Europa, espera-se gerar 10 % da energia elétrica a partir da eólica até o ano de 2030. (ANEEL, 2002)

O Brasil produz e exporta equipamentos para usinas eólicas, mas elas ainda são pouco usadas. Aqui se destacam as Usinas do Camelinho (1MW, em MG), de Mucuripe (1,2MW) e da Prainha (10MW) no Ceará, e a de Fernando de Noronha em Pernambuco. (ANEEL, 2002).

Solar (Fotovoltaica):

A energia fotovoltaica é fornecida de painéis contendo células fotovoltaicas ou solares que sob a incidência do sol geram energia elétrica. A energia gerada pelos painéis é armazenada em bancos de bateria, para que seja usada em período de baixa radiação e durante a noite. (TOLMASQUIM, 2004)

A conversão direta de energia solar em energia elétrica é realizada nas células solares através do efeito fotovoltaico, que consiste na geração de uma diferença de potencial elétrico através da radiação. O efeito fotovoltaico ocorre quando fótons (energia que o sol carrega) incidem sobre átomos (no caso átomos de silício), provocando a emissão de elétrons, gerando corrente elétrica. Este processo não depende da quantidade de calor, pelo contrário, o rendimento da célula solar cai quando sua temperatura aumenta.

O uso de painéis fotovoltaicos para conversão de energia solar em elétrica é viável para pequenas instalações, em regiões remotas ou de difícil acesso.

É muito utilizada para a alimentação de dispositivos eletrônicos existentes em foguetes, satélites e aeronaves.

O sistema de co-geração fotovoltaica também é uma solução; uma fonte de energia fotovoltaica é conectada em paralelo com uma fonte local de eletricidade. Este sistema de co-geração fotovoltaica está sendo implantado na Holanda em um complexo residencial de 5000 casas, sendo de 1 MW a capacidade de geração de energia fotovoltaica. Os Estados Unidos, Japão e Alemanha têm indicativos em promover a utilização de energia fotovoltaica em centros urbanos. Na Cidade Universitária - USP - São Paulo, há um prédio que utiliza este tipo de fonte de energia elétrica. (COSTA, 2005)

No Brasil já é usado, em uma escala significativa, o coletor solar que utiliza a energia solar para aquecer a água e não para gerar energia elétrica.

Maremotriz:

A energia das marés é obtida de modo semelhante ao da energia hidrelétrica. Constrói-se uma barragem, formando-se um reservatório junto ao mar. Quando a maré é alta, a água enche o reservatório, passando através da turbina e produzindo energia elétrica, e na maré baixa o reservatório é esvaziado e a água que sai do reservatório passa novamente através da turbina, em sentido contrário, produzindo energia elétrica. Este tipo de fonte é também usado no Japão e Inglaterra.

No Brasil temos grande amplitude de marés, por exemplo, em São Luís, na Baía de São Marcos (6,8m). Porém a topografia do litoral inviabiliza economicamente a construção de reservatórios.

Energia Hidráulica e Elétrica:

No Brasil, água e energia têm uma histórica de interdependência. A contribuição da energia hidráulica ao desenvolvimento econômico do país tem sido expressiva, seja no atendimento das diversas demandas da economia – atividades

industriais, agrícolas, comerciais e de serviços – ou da própria sociedade, seja na melhoria do conforto das habitações e da qualidade de vida das pessoas.

Além disso, a referida energia também desempenha papel importante na integração e no desenvolvimento das regiões distantes dos grandes centros urbanos e industriais.

A contribuição da energia hidráulica na matriz energética nacional, segundo o Balanço Energético Nacional (2006), é da ordem de 14,6%, participando com 75,9% de toda a energia elétrica gerada no país. Apesar da tendência de aumento de outras fontes, devido a restrições socioeconômicas e ambientais de projetos hidrelétricos e aos avanços tecnológicos no aproveitamento de fontes não-convencionais, tudo indica que a energia hidráulica continuará sendo, por muitos anos, a principal fonte geradora de energia elétrica do Brasil. Embora os maiores potenciais remanescentes estejam localizados em regiões com fortes restrições ambientais e distantes dos principais centros consumidores, estima-se que nos próximos anos pelo menos 50% das necessidades de expansão da capacidade de geração seja de origem hídrica.

TABELA – 4 – Matriz Elétrica Brasileira

FONTES	2006
Hidráulica	75,9
Nuclear	3,0
Gás Natural	4,0
Carvão	1,6
Derivados do Petróleo	2,5
Biomassa	4,2
Eólica	0,1
Importação	8,8

Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN),2006

Gás Natural:

Além de insumo básico da indústria gasoquímica, o gás natural tem-se mostrado cada vez mais competitivo em relação a vários outros combustíveis, tanto no setor industrial como no de transporte e na geração de energia elétrica. Neste

ultimo caso, a inclusão do gás natural na matriz energética nacional, conjugada com necessidade de expansão do parque gerador de energia elétrica e como esgotamento dos melhores potenciais hidráulicos do país, tem despertado o interesse de analistas e empreendedores em ampliar o seu uso na geração termelétrica.

Carvão Mineral e Derivado:

O carvão mineral é o mais abundante dos combustíveis fósseis, com reservas da ordem de 1 trilhão de toneladas, o suficiente para atender a demanda atual por mais de duzentos anos, continuando por muitas décadas o principal insumo para a geração de energia elétrica, especialmente nos países em desenvolvimento (AIE, 2003). Para isso, no entanto, são necessários avanços na área de P&D. visando a atender aos seguintes registros: i) melhorar a eficiência de conversão; ii) reduzir impactos ambientais (principalmente na emissão de gases poluentes); iii) aumentar sua competitividade comercial.

No entanto, segundo o Balanço Energético Nacional (2003), o uso energético de carvão mineral é ainda bastante restrito, representando apenas 6,6% da matriz energética brasileira. Entre outras restrições, os altos teores de cinza e enxofre (da ordem de 50% e 25%, respectivamente) são os principais responsáveis pelo baixo índice de aproveitamento do carvão no Brasil. Espera-se, porém, que o desenvolvimento de tecnologia de remoção de impurezas e de combustão eficiente, como descrito no próximo item, proporcione maiores índices de aproveitamento desse recurso.

Urânio:

Este tipo de energia é obtido a partir da fissão do núcleo do átomo de urânio enriquecido, liberando uma grande quantidade de energia.

No Brasil, está funcionando a Usina Nuclear Angra 2, sendo que a produção de energia elétrica é em pequena quantidade que não dá para abastecer

toda a cidade do Rio de Janeiro. No âmbito governamental está em discussão a construção da Usina Nuclear Angra 3 por causa do déficit de energia no país.

Os Estados Unidos da América lideram a produção de energia nuclear e nos países França, Suécia, Finlândia e Bélgica 50 % da energia elétrica consumida provém de usinas nucleares.

Os choques internacionais do petróleo , nos anos 70, e a crise energética subsequente levaram à busca de fontes alternativas de geração de eletricidade. Nesse contexto, a energia nuclear passou a ser vista como a alternativa mais promissora, recebendo a atenção de muitos analistas e empreendedores, assim como vultosos investimentos. Em pouco mais de duas décadas, passou de uma participação desprezível (0,1%) para 17% da produção mundial de energia elétrica, ocupando assim o terceiro lugar entre as fontes de geração (ELETRONUCLEAR, 2001).

No final dos anos 1960, o Governo Brasileiro decidiu ingressar na geração termonuclear, visando a conhecer melhor essa tecnologia e a adquirir experiência para um futuro supostamente promissor da opção nuclear, a exemplo do que ocorria em vários outros países. Na época, cogitava-se a necessidade de complementação térmica para o suprimento de eletricidade no Rio de Janeiro. Decidiu-se, então, que essa complementação ocorresse por meio da construção de uma usina nuclear (Angra I), com capacidade nominal da ordem de 600MW, na cidade de Angra dos Reis – RJ. (SAUER, 2003).

Observa-se na figura 01 que a principal característica da matriz energética brasileira está na elevada porcentagem da produção de energia limpa (renovável) em relação ao resto do mundo, e por isso agredimos menos o meio ambiente. Essas fontes de energia são consideradas fontes de energia verde por apresentarem baixa emissão de poluentes no ar.

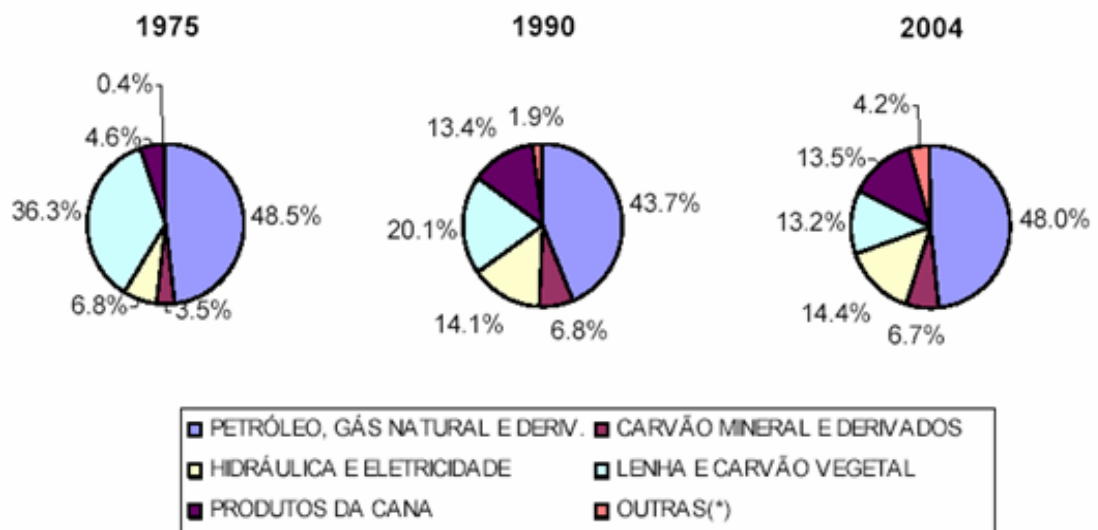
A questão ambiental, em particular o aquecimento global causado pela a emissão de CO² na atmosfera, é preocupação internacional e por isso ocupa um papel fundamental nas futuras estratégias para produção e uso de energia. Sendo

incentivado, através de mecanismos de crédito que são instrumentos financeiros estabelecidos no Protocolo de Kyoto, e que tem o objetivo de financiar projetos de fontes renováveis e lançar certificados de seqüestro de carbono da atmosfera. De posse desse título que revela a quantidade de toneladas de poluentes que deixaram de ser lançados no ar, os investidores negociam esses papéis no mercado financeiro de energia – bolsas de Chicago e Londres. (Freitas, 2005).

Com o que foi exposto percebe-se que o diferencial no perfil da matriz energética brasileira, quando comparada à mundial, foi proporcionado pela grande disponibilidade de recursos hídricos, de terras para uso agrícola e pela criação do PROÁLCOOL.

2.1.3 O Comportamento da Matriz Energética Brasileira no período de 1970 a 2005

Como vimos anteriormente, o Brasil apresenta uma matriz energética limpa, com grande participação de fontes renováveis, apresenta baixos índices de emissões de partículas em comparação à média mundial.



Fonte: MME – BEN 2005

Figura 2: Participação dos principais energéticos na matriz brasileira ao longo do tempo

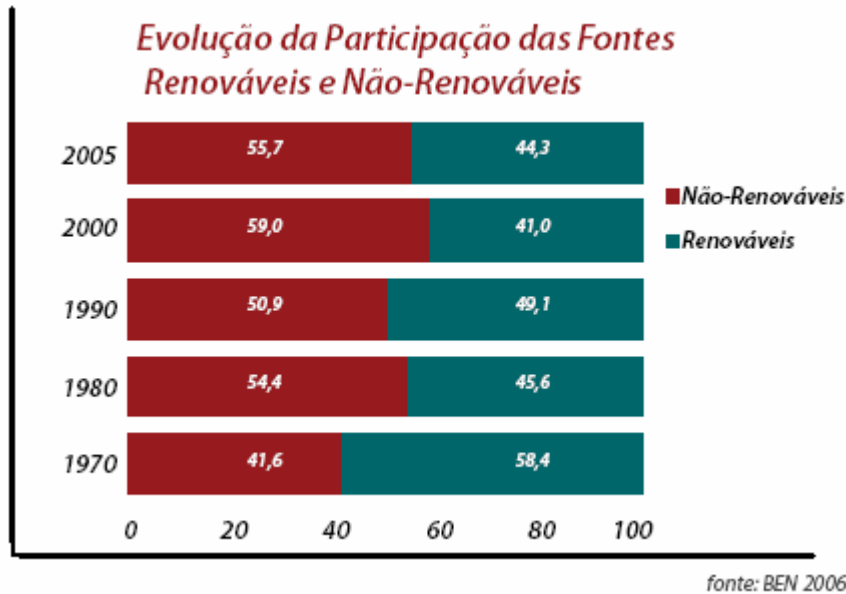


Figura 03: Evolução da Participação das Fontes Renováveis e Não-Renováveis no Período de 1970 a 2005

Pode ser visto na figura 02, a mudança na utilização das fontes primárias de geração de energia no período considerado mostrou que houve uma importante modernização na matriz energética. Este fato deveu-se à substituição da lenha e do carvão vegetal por petróleo e seus derivados, ao longo dos últimos 35 anos. Por isso, as fontes renováveis tiveram um decréscimo de participação na matriz energética brasileira, enquanto as fontes não-renováveis tiveram um forte aumento de participação até o início da década de 80.

Em termos gerais, o consumo de energia cresceu a taxa de 5,6% ao ano no período de 1979 a 2000, sendo que o destaque ocorreu na geração hidroelétrica com crescimento de 9,2% ao ano, no mesmo período, aumentando sua participação. O crescimento do consumo de gás natural aumentou a uma taxa de 27,3% ao ano, porém quando agrupado em petróleo e seus derivados, verifica-se que praticamente a participação do grupo não se alterou.

Para entendermos a evolução da matriz energética brasileira, principalmente após a década de 70 é interessante utilizarmos algumas considerações feitas por GOLDEMBERG (2002), uma vez que durante as décadas

de 50 e 60, mais de 60% da matriz era composta por energia gerada pela lenha e carvão vegetal.

A partir de 1974, a dependência externa brasileira pelo petróleo teve conseqüências desastrosas na balança de pagamentos do país. A importação de petróleo, em 1972, representava 9,4% do valor de todas as exportações, enquanto que em 1980 passou a ser 51%, apesar do esforço governamental em aumentar as exportações. Esta foi uma das razões, senão a principal para a introdução do programa de utilização do álcool (Pro-Álcool) como combustível, no período de 1975 a 1980. O Pró-Álcool objetivou a conversão do motor dos automóveis à gasolina para álcool, primeiramente para uma mistura álcool-gasolina e, posteriormente a fabricação de motores que utilizavam 100% álcool. A partir de década de 80 o desenvolvimento do Pró-Álcool aliado ao aumento das reservas petrolíferas brasileiras e à diminuição do preço internacional do petróleo diminuíram o percentual das importações de petróleo para 13,7% em 1990, 6,9% em 1998 e 11,8% em 2000.

Após os grandes déficits no biênio 1974-75 e com o preço do açúcar no mercado internacional baixo, as medidas e os subsídios dados pelo governo fizeram do Pró-Álcool um sucesso.

Atualmente, como fonte renovável, a biomassa ganhou força e o Brasil é o maior produtor de cana de açúcar do mundo, além de ser importante exportador de álcool anidro, sendo que sua adição à gasolina vem crescendo consideravelmente, principalmente nos EUA, Europa e Japão. Os fatores mundiais que levaram o Brasil a esta posição são: a dependência externa a combustíveis fósseis não-renováveis; problemas políticos com companhias produtoras de petróleo; restrições ambientais para diminuir a poluição ambiental; questões de mudança climática do planeta; e o aumento da consciência pública sobre o desenvolvimento sustentável.

O programa brasileiro de desenvolvimento do álcool, com participação significativa na matriz energética, é atualmente um paradigma a ser seguido. Os subsídios utilizados pelo o governo foram importantes para a maturação do álcool como importante fonte energética, no início do programa, e com a queda dos custos

de produção e o aumento da escala de produção, deixaram de atuar, fazendo com que o mercado atuasse livremente. Este padrão brasileiro é aplicado mundialmente numa enorme gama de novas tecnologias.

Com base nesta experiência, o Brasil propôs no World Summit on Sustainable Development (WSSD) de 2002, a iniciativa para que os países buscassem estabelecer metas globais concretas, de forma a considerar uma participação mínima das fontes renováveis em suas matrizes energéticas. Em termos de crescimento mundial, enquanto os combustíveis fósseis crescem a uma taxa de 2% ao ano, a energia eólica e solar fotovoltaica crescem a taxa de 30% ao ano, aquecimento solar a 8% ao ano e biomassa a 3% ao ano, ou seja, todas as fontes renováveis crescem acima da taxa de crescimento dos combustíveis fósseis. A energia renovável, quase sempre, está disponível próximo ao local de consumo, possuindo um grande potencial para ser aproveitada, em tese, de forma ilimitada.

O Brasil na condição de exportador de aço, alumínio, ferro ligas, celulose, açúcar e outros produtos de baixo valor agregado, apresenta estrutura produtiva intensiva em energia e capital. Dados do IBGE indicam que em 2004, a OIE, influenciada pelo o crescimento de produtos de exportação intensivos em energia e pelo o crescimento interno de alguns setores (materiais de transporte, química, dentre outros), apresentou crescimento 5,7%, taxa superior à do PIB (crescimento de 4,9%).

O gás natural continuou, em 2004, a aumentar sua participação na matriz energética passando de 7,7% (em 2003) para 8,9%, resultado da sua crescente utilização na geração elétrica, na indústria e no transporte. A hidráulica manteve a participação próxima de 14,4%. O fraco desempenho da produção de petróleo e o alto desempenho da demanda interna de energia elevaram a dependência externa de petróleo em 12,5%, em 2003 para 15,9% em 2004.

Ainda em 2004, 43,9% da OIE foi gerada por fontes de energia renovável, enquanto que a média mundial foi de 13,6% em 2002. Desta forma, o Brasil continuou a manter as vantagens comparativas em relação ao resto do mundo em termos de utilização de fontes renováveis de energia.

2.1.4 Atuação dos Planos Governamentais na Matriz Energética Brasileira

O pressuposto básico para análise da atuação governamental na matriz energética é que os serviços energéticos são essenciais para a sociedade e de competência do Estado. O Estado é o principal ator no mercado de energia, taxando, regulando, subsidiando e, em determinadas situações, produzindo, distribuindo e comercializando energia. O fato de o Estado produtor ser substituído pelo o Estado regulador não implica a ausência do Estado, mas na mudança da natureza da sua intervenção. Uma intervenção estratégica do Estado, envolve um conjunto de fontes, de cadeias energéticas, de instrumentos e instituições visando garantir o suprimento energético, presente e futuro, necessário ao desenvolvimento econômico e ao bem-estar da sociedade. (JUNIOR, et al., 2007).

O traço marcante das políticas de energéticas implementadas no Brasil está relacionado com a busca de redução da dependência e da vulnerabilidade energéticas. Sob esta ótica, a situação energética brasileira sempre foi privilegiada pelo leque de recursos fósseis e renováveis disponíveis. Comparada com a situação de outros países, é possível constatar que o Brasil nunca teve problemas relacionados com a indisponibilidade física de fontes de energia. A questão energética se manifesta na necessidade de capital para expansão, bem como nas formas de escolha e gerenciamento das opções disponíveis para a composição da oferta interna de energia. (JUNIOR, et al., 2007).

A partir da década de 1960, o Ministério das Minas e Energia iniciou a elaboração da Matriz Energética Brasileira, visando estabelecer as relações entre os diversos insumos energéticos, as formas tecnologicamente aptas para disponibilizar ao mercado e as características demandadas pelos consumidores, criando, assim, um instrumento fundamental para embasar o planejamento brasileiro no setor de energia.

Desde então, as atividades de planejamento energético incluíram a elaboração sistemática e anual de Balanços Energéticos, registrando os resultados pretéritos verificados a cada ano. Para examinar os assuntos que transcendem ao espectro isolado de cada forma de energia e sobre eles decidir, foi criado

inicialmente o Conselho Nacional de Energia, posteriormente convertido no Conselho Nacional de Política Energética CNPE, com a mesma função.

Durante muito tempo, continuaram isolados, contudo, os trabalhos de planejamentos de cada segmento energético, com importante massa de trabalho e indubitável competência, porém sem a devida integração, o que gerou impasses no processo de tomada de decisões.

A criação da EPE - Empresa de Pesquisa Energética, em 2004, teve como um de seus objetivos a superação destes óbices, permitindo o exame conjunto e simultâneo das diversas alternativas, incluindo novos atores como o gás natural, a biomassa de cana, o biodiesel, a geração eólica e solar nas diversas hipóteses consideradas. Assim cabe à EPE realizar estudos e pesquisas que subsidiam a formulação, o planejamento e a implementação de ações do Ministério de Minas e Energia, no âmbito da política energética nacional.

Como mecanismo do planejamento da política energética brasileira, será dado ênfase aos seguintes planos: Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica (PDEE 2006-2015), Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e Plano Nacional de Energia (PNE 2030).

O Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica (PDEE) 2006-2015. O planejamento decenal é um instrumento que tem o papel de orientar futuras ações governamentais e de fornecer uma correta sinalização a todos os agentes do setor energético brasileiro. Este plano tem como base para a expansão da oferta de energia elétrica para o Brasil, a continuidade da construção de grandes hidrelétricas na região norte do país, a conclusão de Angra III e a construção de outras novas nucleoeletricas. Desta forma, neste plano o governo não dá a devida importância à adoção de novas formas de energia renovável.

Plano Decenal 2006-2015

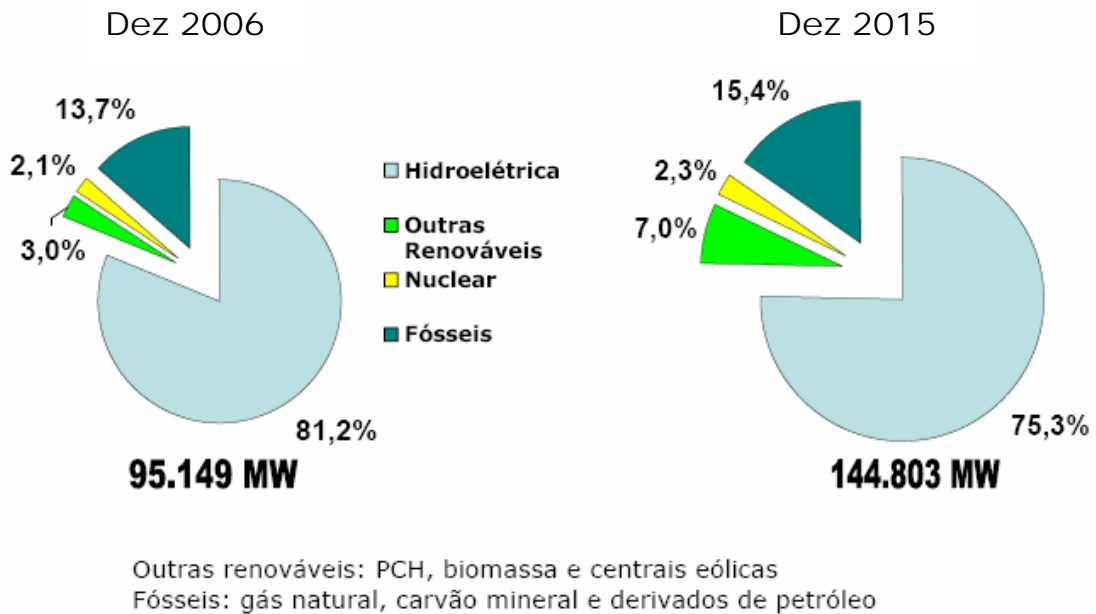


Figura – 4 – Comparativo (%) da Matriz Elétrica de 2006 em relação a 2015
Fonte: EPE, MME.

Com a elaboração do Plano Decenal 2006-2015, realizado pela EPE e encomendado pelo o MME, a matriz elétrica brasileira atinge o montante de 144.803 MW em 2015, apresentando um crescimento considerável em torno de 52,5% em relação a 2005. Comparando com a matriz preliminar de 2005, a grande diferença fica na queda da participação da geração hidroelétrica e das outras fontes renováveis composta por PCH, biomassa e centrais eólicas. E aumento na participação das fontes de combustíveis fósseis formados por gás natural, carvão mineral e derivados de petróleo, como também expansão na fonte nuclear. Desta forma, fica confirmado o que foi mencionado anteriormente.

O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) para o setor energético, corresponde a 54,5% do total dos recursos do programa. Estão incluídos 183 projetos que tem como objetivos assegurar o suprimento de energia elétrica e a sua universalização, como também assegurar o abastecimento de petróleo, gás natural e combustíveis renováveis da biomassa (Biodiesel e Etanol).

O Plano Nacional de Energia (PNE 2030) é o primeiro estudo de planejamento integrado dos recursos energéticos realizados no âmbito do Governo Federal brasileiro. Os estudos do PNE 2030 foram conduzidos pela EPE para o MME. O plano fornece os subsídios para a formulação de uma estratégia de expansão da oferta de energia econômica e sustentável com vistas ao atendimento da evolução da demanda, segundo uma perspectiva de longo prazo.

No tocante à definição das fontes de oferta de energia, é otimista tanto em relação à autonomia energética quanto em relação à participação das fontes renováveis no conjunto da oferta de energia do país. Seja no que diz respeito à produção de petróleo e gás natural, para a qual conta com reservas ainda incertas frente à produção prevista, seja na expansão do aproveitamento hidrelétrico, o que implica em que também venham a ser implementados projetos que envolverão notáveis dificuldades, principalmente ambientais.

PNE 2030

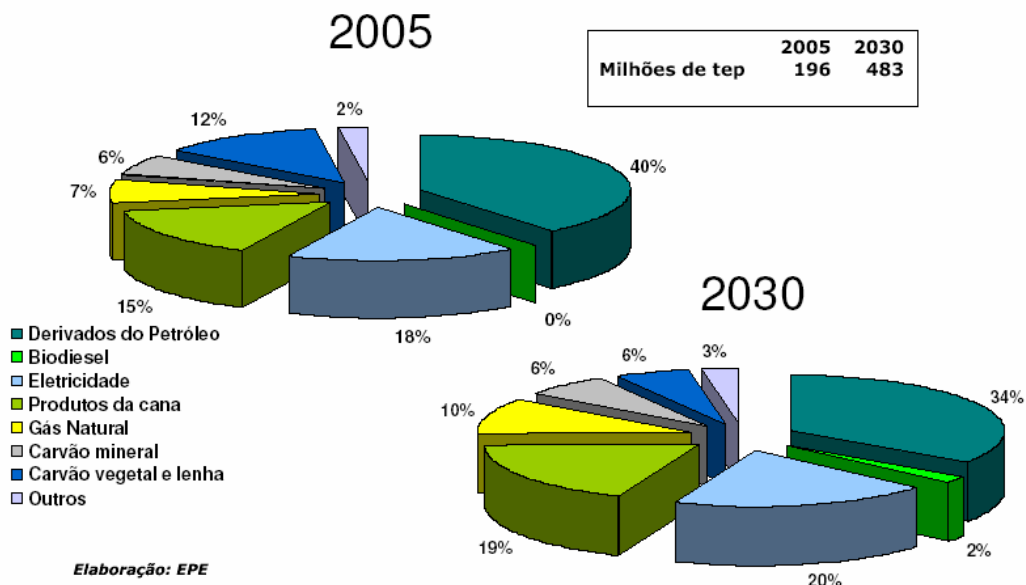


Figura – 5 – Comparativo (%) da Matriz Energética de 2005 em relação a 2030
Fonte: EPE, MME.

A elaboração do Plano Nacional de Energia - PNE 2030, realizado pela EPE e encomendado pelo o MME, a matriz energética brasileira atinge o montante de 483 milhões de tep em 2030, apresentando um crescimento na ordem de 150% em relação aos 196 milhões de tep de 2005. Comparando com a matriz preliminar de 2005, a grande diferença fica na queda da participação dos derivados de petróleo, carvão vegetal e lenha. O aumento na participação das fontes de combustíveis fósseis é por conta do gás natural, o aumento da participação das fontes renováveis pelas hidrelétricas, biomassa da cana de açúcar e biodiesel. Nota-se que a matriz energética brasileira de 2030 continua com forte presença das fontes renováveis em comparação com as projeções para o mundo.

2.2 A Função de Produção

A função de produção indica o máximo de produto que se pode obter a partir de uma dada quantidade de insumo utilizado. Desta forma, a função de produção pode ser convenientemente visualizada como a fronteira entre as regiões tecnologicamente viáveis e não viáveis no espaço insumo-produto. (VARIAN, 2006)

De uma forma geral, a função de produção é o lugar geométrico de todas as possíveis combinações eficientes dos diversos insumos e das diversas variáveis tecnológicas e operacionais de um determinado sistema produtivo.

Tradicionalmente, a função de produção pode ser representada por:

$$Y = f(x_1, x_2)$$

Onde:

y representa o produto;

x_1 e x_2 são os insumos.

2.2.1 Retornos de Escala

De acordo com a função de produção, haverá uma variação no produto, quando os insumos variam. O conceito de retorno de escala refere-se ao incremento obtido na produção quando todos os insumos são igualmente incrementados e,

dependendo da variação proporcionada no produto, o retorno de escala pode ser crescente, constante ou decrescente.

Os retornos crescentes de escala ocorrem quando a variação na quantidade do produto final é proporcionalmente maior que a variação da quantidade utilizada dos inputs. Os retornos constantes de escala ocorrem quando a variação total do produto é igual à variação da quantidade utilizada dos insumos. Os retornos decrescentes de escala ocorrem quando a variação da produção é menor que a variação proporcional dos fatores. (PINDYCK & RUBINFELD, 2006)

2.2.2 Produto Médio e Produto Marginal

Quando um agente econômico tem de decidir quanto vai adquirir de determinado insumo, ele tem de comparar o benefício que obterá com o custo. Desta forma, é interessante fazer comparações na média, considerando o resultado de um aumento substancial do insumo.

O produto médio é calculado a partir da divisão do produto total pela quantidade total do insumo variável empregado para se atingir esse nível de produção.

$$Pme = \frac{q}{X_1}$$

Onde:

Pme = Produto Médio;

q = Produto Total;

x_1 = Insumo Variável.

O produto médio mede a produtividade, em termos de quanto produto cada unidade do insumo variável produz em média.

Outro elemento importante da função de produção é o produto marginal (Pmg). Ele mede a variação do produto quando o valor de um dos insumos é alterado. O produto marginal é a relação entre as variações do produto total e as

variações da quantidade utilizada do insumo variável, ou seja, é o acréscimo de produto total advindo do uso de uma unidade adicional do insumo variável.

$$Pmg = \frac{\Delta q}{\Delta x_1}$$

Onde:

Pmg = Produto Marginal;

Δq = Variação do Produto;

Δx_1 = Variação do Insumo.

O produto marginal está ligado ao comportamento da variação da produção quando varia um dos inputs de cada vez, mantendo constante os demais, ou seja, aumentando-se a quantidade de um insumo e permanecendo a quantidade dos demais insumos fixos.

2.2.3 Isoquanta e Taxa Marginal de Substituição Técnica

Isoquanta é uma curva que representa todas as possíveis combinações de insumos, que resultam no mesmo volume de produção, ou seja, expressa os vários métodos ou processos alternativos de produção que proporcionam a mesma quantidade produzida. É uma representação gráfica bidimensional também conhecida por linha de igual produção, linha de isoproducto e curva de indiferença de produção.

Uma isoquanta representa o mesmo nível de produção resultante da utilização diferenciada de dois insumos. O que determina o perfil é o grau de substituição entre os fatores. Num grau de substituição perfeito é representado por uma linha reta. Quando a substituição existe, mas não é perfeita, tem-se uma curva convexa em relação à origem. Não havendo substituição entre os fatores de produção, a representação é por linhas em ângulo reto.

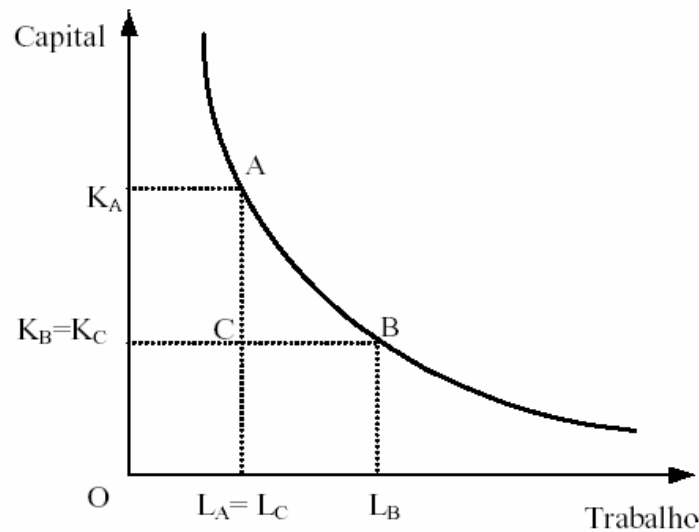


Figura – 6 – Representação Gráfica de Isoquanta
Fonte: Elaboração Própria.

Quando há dois insumos que podem ser alterados, deve-se considerar a possibilidade de substituir um pelo outro. A taxa marginal de substituição técnica apura a quantidade de um insumo que será compensado por uma unidade adicional de outro insumo, tal que o nível de produção não se altere.

A inclinação de uma isoquanta em qualquer ponto mede a taxa de substituição técnica, que é a habilidade substituir um insumo por outro mantendo o mesmo nível de produção. Em outras palavras, a taxa de substituição técnica do fator 1 pelo fator 2, TST_{12} fornece o número de unidades que o insumo x_2 deve ser diminuído para que a utilização do fator x_1 seja aumentado em uma unidade sem que haja alteração no nível de produção. Esta taxa é expressa como:

$$(1) TST_{12} = -\frac{\partial x_2}{\partial x_1} = -\frac{\frac{\partial y}{\partial x_1}}{\frac{\partial y}{\partial x_2}} = -\frac{Pmg_1}{Pmg_2}$$

O produto marginal de um insumo tende a diminuir, à medida que se utilize mais e mais desse insumo, por isso ele aumenta a uma taxa decrescente. Essa característica é comum à maioria dos processos de produção, esse pressuposto só se aplica quando todos os outros insumos são mantidos fixos. (VARIAN, 2006)

O pressuposto da taxa marginal de substituição técnica decrescente diz que, à medida que aumentamos a quantidade do insumo 1 e ajustamos o insumo 2 para permanecermos na mesma isoquanta, a taxa marginal de substituição técnica diminui, e tem de aumentar à medida que nos movemos na direção do aumento de x_2 . O significado é que as isoquantas terão o mesmo formato convexo das curvas de indiferença bem-comportadas. (VARIAN, 2006)

2.3 Função de Produção Cobb-Douglas e Abordagem Econométrica

Este trabalho utilizará uma função de produção do tipo Cobb-Douglas. Em 1928, Charles W. Cobb e Paul H. Douglas, utilizando dados do setor manufatureiro da economia norte-americana para o período de 1899 a 1922, estimaram as elasticidades de oferta de capital e trabalho, e observaram como suas variações afetavam a distribuição de renda. Desenvolveram então a teoria da produção, onde foi estimada a conhecida função de produção Cobb-Douglas. (MURATA & LOPES, 2006)

As funções de produção Cobb-Douglas têm sido amplamente e aplicadas em trabalhos teóricos e empíricos, mas elas são simplesmente um caso especial de uma função geral, que é mais versátil por acomodar uma variedade maior nas possibilidades de troca de um insumo por outro. (MANSFIELD & YONE, 2006)

A função de produção do tipo Cobb-Douglas utilizada neste trabalho é apresentada em seguida.

$$(2) Y_t = AK_t^\alpha L_t^\beta ER_t^\delta ENR_t^\theta e^{\varepsilon_t}$$

Onde: Y= PIB anual deflacionado (R\$ 2006)

A= Constante

K= Formação Bruta de Capital (R\$ 2006)

L= Número de Contribuintes (proxy para o trabalho)

ER= Energia Renovável

ERN= Energia Não Renovável

e= exponencial

ε_t =erro que por suposição se comporta como um “ruído branco”

Não é difícil demonstrar que a função de produção apresentada na eq(1) apresentará retornos de escala crescentes se $\alpha + \beta + \delta + \theta > 1$. Caso $\alpha + \beta + \delta + \theta = 1$, a função apresenta retornos de escala constantes e; por fim, retornos de escala decrescentes se $\alpha + \beta + \delta + \theta < 1$.

A produtividade marginal de um fator de produção pode ser obtida pela derivada parcial do produto em relação ao insumo analisado. Por exemplo, a produtividade marginal do capital é dada por,

$$(3) \frac{\partial y}{\partial k} = \alpha \frac{y}{k}$$

Calculando o logaritmo da equação (1), temos uma equação linear que pode ser estimada pelo método dos mínimos quadrados ordinários.

$$(4) \text{Log}(Y_t) = a + \alpha \text{log}(K_t) + \beta \text{log}(L_t) + \delta \text{log}(ER_t) + \theta \text{log}(ERN_t) + \varepsilon_t$$

Os dados utilizados nas estimativas compreendem dados anuais, relativos ao período de 1970 a 2005. As variáveis utilizadas são:

- a) PIB anual deflacionado em reais 2006: os dados foram obtidos junto ao IPEA, representa o produto na função de produção, a variável dependente do modelo.
- b) Formação Bruta de Capital deflacionado para 2006: estes dados foram também obtidos junto ao IPEA, representa a primeira variável explicativa do modelo.

- c) Números de Contribuintes: os dados utilizados foram também obtidos junto ao IPEA, representa a segunda variável explicativa do modelo, sendo utilizada como proxy para o fator de produção trabalho.
- d) Energia: o fator de produção energia foi subdividido em dois fatores de produção, as fontes de energia renováveis e não-renováveis em tep, os dados foram obtidos junto a publicações anuais do Balanço Energético Nacional (BEN/2006), ano base 2005, elaborado e publicado pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), vinculada ao Ministério de Minas e Energia. Representam a terceira e a quarta variável explicativa do modelo.

Estes dados são do tipo série temporal. Uma série temporal Y_t pode ser definida como uma função y da variável independente t , e é gerada a partir de um processo estocástico. Por isso, a análise formal de uma série temporal é feita através da teoria dos processos estocásticos.

O processo estocástico, ou aleatório é um mecanismo gerador de dados, cujo comportamento só pode ser descrito por uma função probabilística, onde $Y = \{Y_t, t \in T\}$ é uma coleção de variáveis aleatórias definidas por leis de probabilidades. T é um conjunto de índices representando instantes de tempo. Para cada índice t no conjunto T , Y_t é uma variável aleatória.

Uma classe de processos estocásticos importante é a classe dos processos estacionários, cuja noção está associada a equilíbrio estatístico. A grosso modo, diz-se que um processo estocástico é estacionário se suas média e covariância forem constantes ao longo do tempo e o valor da covariância entre dois períodos de tempo depender apenas da distância ou defasagem entre os dois períodos, e não do período de tempo efetivo em que a covariância é calculada. (GUJARATI, 2005).

Para verificar se estas séries são estacionárias, este estudo utiliza testes de Dickey-Fuller aumentado (ADF) para testar a hipótese nula de raiz unitária. O teste de Dickey-Fuller aumentado, testa a hipótese nula de raiz unitária baseado na seguinte regressão auxiliar,

$$(5) \Delta y_t = \rho y_{t-1} + x_t' \theta + \sum_{i=1}^p \beta_i \Delta y_{t-i} + \varepsilon_t$$

Onde x_t é um vetor que pode conter intercepto e/ou uma tendência determinística. A $H_0: \rho = 0$, pode ser testada baseada em uma estatística t do parâmetro ρ , utilizando-se os valores críticos sugeridos por Dickey-Fuller.

Entretanto, o gráfico das séries, Evolução da Energia Renovável e Não-Renovável, no apêndice B, apresentam possíveis quebras estruturais, as quais podem viesar o resultado do teste ADF em favor da hipótese nula de raiz unitária. Portanto, nestas séries utiliza-se também o teste proposto por LANE ET AL (2002), o qual considera a possibilidade de uma quebra, através da introdução de uma função com mudança de nível denotada por $f_t(\theta)' \gamma$ ao termo determinístico do processo gerador de dados, como na próxima equação:

$$(6) y_t = \mu_0 + \mu_1 t + f_t(\theta)' \gamma + \varepsilon_t,$$

O teste de LANE ET AL (2002), primeiro realiza uma transformação nas variáveis, retirando delas os termos determinísticos e possíveis autocorrelações, para depois testar a hipótese nula de raiz unitária. Vale ressaltar, que em ambos os testes de raiz unitária, este trabalho realiza a escolha da defasagem dos termos baseado no critério de informação Baysiano.

3. RESULTADOS

Os Testes ADF foram realizados nas séries, os quais rejeitaram a hipótese nula de raiz unitária ao nível de 5% para as variáveis Y_t , K_t e L_t . No caso das séries ER e ENR, os resultados do teste ADF foram em favor de uma raiz unitária. Entretanto, ao se utilizar o teste de raiz unitária proposto por LANE ET AL (2002), o qual considera a possibilidade de uma quebra estrutural nas variáveis, o resultado é outro. Neste caso, a hipótese nula de raiz unitária foi rejeitada ao nível de 5%. Este

trabalho se apoiará neste último conjunto de resultados²; isto é, as variáveis ER e ENR não são processos com raiz unitária e sim processos com uma tendência determinística.

Após estimado o modelo proposto na eq (3), realizou-se testes adicionais para o resíduo. O teste ADF, rejeitou a hipótese nula de raiz unitária nos resíduos, significando que os resíduos são estacionários (sem nenhuma tendência). O teste de Durbin-Watson apontou para alguma possível autocorrelação nos resíduos, a qual foi confirmada pelo correlograma dos resíduos. Então, utilizou-se uma modelagem dos erros com um termo autoregressivo de primeira ordem. Após re-estimar o modelo, o correlograma dos resíduos mostra que estes, após a correção, comportam-se como um ruído branco³.

A tabela 4, abaixo, apresenta os principais resultados do processo de estimação. Todos os parâmetros estimados foram significantes ao nível de 5%. Percebe-se que a elasticidade da energia renovável na produção é muito maior do que as fontes não renováveis. Enquanto a elasticidade da energia renovável no produto interno brasileiro é de 0,26, esta é de apenas 0,08 no caso das fontes energéticas não renováveis.

A elasticidade do capital foi estimada em 0,15 e a do trabalho em 0,41. Este último resultado foi bem próximo do encontrado por Fernades, Gremaud e Narita (2004), os quais estimaram este valor em 0,45. Entretanto, ao se permitir que o insumo energia seja considerado como um componente do capital (vale ressaltar que vários trabalhos utilizam a energia elétrica como variável proxy para o capital), a elasticidade deste insumo no produto interno brasileiro passa para 0,49 diminuindo a intensidade do trabalho em relação ao capital.

² Um ponto que deve-se chamar atenção é o número de observações a qual não é a desejável para se realizar estes tipos de testes.

³ Maiores detalhes sobre a metodologia econométrica utilizada neste estudo pode ser encontrada, entre outros textos, no GREENE (1992).

TABELA – 5 – Resultados da Estimação da Equação (1)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	2.304082	0.954268	2.414503	0.0223
LOG(K)	0.152000	0.035420	4.291346	0.0002
LOG(L1)	0.414118	0.055402	7.474763	0.0000
LOG(ER)	0.261646	0.102744	2.546577	0.0164
LOG(ENR)	0.079856	0.037124	2.151067	0.0399
AR(1)	0.564021	0.147299	3.829089	0.0006
R-squared	0.996466	Mean dependent var		14.16316
Adjusted R-squared	0.995857	S.D. dependent var		0.320431
S.E. of regression	0.020625	Akaike info criterion		-4.769808
Sum squared resid	0.012336	Schwarz criterion		-4.503177
Log likelihood	89.47164	F-statistic		1635.482
Durbin-Watson stat	1.884505	Prob(F-statistic)		0.000000
Inverted AR Roots	.56			

Foi realizado um teste de Wald para verificar se $\alpha + \beta + \delta + \theta = 1$, a qual não é rejeitada ao nível de 5%. Em outras palavras, não se rejeita a hipótese de que a função de produção apresente retornos constantes de escala.

TABELA – 6 - Teste de restrição de Parâmetros

Test Statistic	Value	df	Probability
F-statistic	1.574779	(1, 29)	0.2195
Chi-square	1.574779	1	0.2095
Null Hypothesis Summary:			
Normalized Restriction (= 0)	Value	Std. Err.	
-1 + C(2) + C(3) + C(4) + C(5)	-0.092381	0.073616	
Restrictions are linear in coefficients.			

Em conformidade com o gráfico do apêndice B, verifica-se que existe três momentos diferentes do nível de utilização de recursos renováveis e não renováveis. No período de 1970 a 1999, o uso de energia renovável > energia não-renovável. De 2000 a 2005, essa situação se inverte e energia não-renovável > energia renovável.

Portanto, três períodos serão analisados: global 1970-2005, a sub-amostra que engloba os anos de 1970 a 1999 e a outra amostra parcial de 2000 a 2005.

Utilizando os dados globais a partir de 1970 até 2005, com 36 observações, verificou-se que para substituir uma unidade de energia não-renovável é necessário 0,47 unidade de energia renovável. Neste período o produto marginal da energia renovável é 6,03 enquanto o da energia não-renovável é 2,83.

No segundo período que compreendem os dados de 1970 a 1999, verificou-se que para substituir uma unidade de energia não-renovável é necessário 0,59 unidade de energia renovável. Neste período o produto marginal da energia renovável é 5,89 enquanto o da energia não-renovável é 3,49.

No terceiro e último período que compreendem os dados de 2000 a 2005, verificou-se que para substituir uma unidade de energia não-renovável é necessário 0,27 unidade de energia renovável. Neste período o produto marginal da energia renovável é 6,55 resultado e o da energia não-renovável é 1,77.

CONCLUSÃO

A energia é uma propriedade da matéria que se manifesta de diversas formas: energia elétrica, química, mecânica, térmica, nuclear, eletromagnética, etc. Ela pode ser utilizada para satisfazer uma série de necessidades: iluminação transporte de pessoas e mercadorias, transformar matérias-primas em produtos; enfim inúmeras necessidades que vão desde aquelas ligadas à produção até aquelas ligadas ao lazer. Contudo, a energia não satisfaz essas necessidades diretamente, é necessário que esteja na forma que satisfaça nossas necessidades. Não consumimos diretamente a energia, a utilizamos em equipamentos que têm a função de converter a energia que é colocada à nossa disposição pelo mercado na forma que necessitamos.

O setor energético é um conjunto heterogêneo que reúne várias cadeias distintas: produção, transformação, transporte, distribuição e comercialização. Variando de cadeia para cadeia, tanto no que diz respeito à base técnica quanto à organização industrial e ambiente institucional.

A história nos mostra que há sempre uma energia de referência ou dominante que orienta as trajetórias do setor energético, podendo ter reflexos significativos na economia como um todo. Qualquer perturbação no mercado da energia dominante impacta os mercados de outros energéticos, o que poderia ser traduzido à primeira vista, como um elevado grau de substituição entre energéticos. No entanto, se o peso relativo da energia dominante é muito grande, uma pequena perturbação pode afetar consideravelmente outros mercados energéticos. Portanto, há necessidade de se encontrar um substituto ou alguns substitutos para a energia dominante atual (petróleo).

Em termos mundiais e principalmente nos países industrializados, o processo de substituição do petróleo baseou-se no desenvolvimento de fontes não-renováveis, em particular a energia nuclear. O Brasil contrariamente ao que ocorreu no mundo adotou o caminho da promoção de fontes renováveis, uma vez que há abundância desses recursos em território nacional, notadamente hidroeletricidade e

biomassa. Possui potencial para produzir energia eólica, principalmente no Nordeste, e solar em particular, em regiões isoladas. Mas essas tecnologias apresentam custos de geração ainda muito elevados.

É cada vez mais importante não só para o Brasil, mas para o mundo, a análise da matriz energética ao longo do tempo, é fundamental para a orientação do planejamento do setor energético permitindo projeções futuras. Essas projeções disponibilizarão dados e informações técnicas, econômicas, ambientais, das variadas fontes e caminhos tecnológicos disponíveis para definir as opções mais vantajosas e, a partir daí, aplicar políticas de estímulo ou inibição do emprego de fontes específicas.

Este trabalho estimou uma função Cobb-Douglas para mensurar a elasticidade das fontes energéticas renováveis e não-renováveis no PIB brasileiro. Para isso foram utilizadas como base de dados as seguintes variáveis: o PIB anual em reais deflacionado para 2006; a formação bruta de capital fixo em reais deflacionado para 2006, o número de contribuintes, as fontes energéticas renováveis e não-renováveis em tep (toneladas equivalentes de petróleo) nos anos de 1970 a 2005.

Todos os parâmetros estimados foram significantes ao nível de 5%. A elasticidade da energia renovável (0,26) na produção brasileira é superior a das fontes não renováveis (0,8). A elasticidade do capital foi estimada em 0,15 e a do trabalho em 0,41.

Ao se permitir que o insumo energia seja considerado como um componente do capital, a elasticidade deste insumo no produto interno bruto passa para 0,49. Foi realizado um teste de Wald, para se testar a hipótese nula de rendimentos constantes de escala na produção agregada brasileira, a qual não foi rejeitada ao nível de 5%. Isto significa que para aumentar a sua produção agregada, o Brasil tem que aumentar seus insumos na mesma proporção.

Através da análise da taxa marginal de substituição técnica que determina a redução na quantidade de um insumo suficiente para compensar o incremento de uma unidade de outro, mantendo constante o nível de produção.

Na figura 4, a qual mostra a evolução desejada e estabelecida pelo Plano Nacional de Energia - PNE 2030 da matriz energética brasileira, há uma clara diretriz de uma substituição de energia não renovável, que passa de 53% em 2005 para 50% em 2030, pela energia renovável. Considerando a amostra total, a taxa de substituição técnica de energia não-renovável por energia renovável é de 0,47. Em outras palavras, para se aumentar o uso de uma unidade de energia renovável, a energia não-renovável teria que ser reduzida em 0,47 tal que a produção (PIB) se mantém inalterada.

Esta reduzida taxa de substituição de energia não-renovável por energia renovável mostra a vocação do uso de fontes de energia limpas e renováveis da matriz energética brasileira em relação à matriz energética mundial e, reflete a possibilidade de que no longo prazo essa característica pode ser mantida ou até mesmo ampliada de acordo com o planejamento energético de longo prazo vigente no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2ªed. São Paulo. 2002

Agência Nacional do Petróleo - ANP. **Resolução nº 42**. Disponível em: < <http://www.anp.org.br> >. Acesso em 06 de setembro de 2007.

ALVES, Rex Nazaré. **A Evolução da Matriz Energética Brasileira – Alternativas para 2022 - GEPE – 2005– Artigo**.

CALABI, André Sandro (Coord.). **A Energia e a Economia Brasileira: Interações Econômicas e Institucionais no Desenvolvimento do Setor Energético no Brasil**. Estudos Econômicos – FINE/Pioneira. São Paulo. 1983.

COSTA, Ricardo Cunha da; PRATES, Cláudia Pimentel T. **O Papel das Fontes Renováveis de Energia no Desenvolvimento do Setor Energético e Barreiras à sua Penetração no Mercado**. Setor Energético, BNDES, Fevereiro, 2005 (Texto).

COTTRELL, W. F. **Energy and Society: The relation between energy, social change and economic development**. Ed. McGraw, 1960.

ELETOBRAS. **Na Trilha da Energia**. Disponível em: <http://www.eletobras.gov.br>. Acesso em 28 de setembro de 2007.

ELETRONUCLEAR. **A Energia Nuclear: A Energia do Brasil**. Disponível em:<<http://eletronuclear.gov.br>> Acesso em 02 de outubro de 2007.

ERBER, Pietro. **A Matriz Energética Brasileira: Perspectiva de Evolução**. Ciclo de Palestras sobre o Setor Elétrico. IE/UFRJ. Rio de Janeiro. 18 de agosto de 2005 (Artigo).

FERNANDES, R.; GREMAUD, A. P.; NARITA, R. T. **Estrutura Tributária e Formalização da Economia: Simulando diferentes alternativas para o Brasil**. Anais do XXIX Encontro da Sociedade Brasileira de Econometria, 2004.

FERREIRA, Omar Campos. **Entropy and Social Development**. Disponível em:<<http://ecen.com/content/eee2/entropy.htm>> Acesso em 30 de setembro de 2007.

FREITAS, Silene Maria de ; FREDO, Carlos Eduardo. **Fontes Energéticas e Protocolo de Kyoto: A posição do Brasil**. Informações Econômicas, São Paulo, v.35, n.5, Maio, 2005 (Texto).

GELLER, Howard Steven. **Revolução Energética: Políticas para um Futuro Sustentável**. Relume Dumará. Rio de Janeiro. 2003.

GOLDEMBERG, J. , COELHO, S.T., REI, F. **Brazilian Energy Matrix and Sustainable Development, Energy for Sustainable Development**, Volume VI, Nº 41, pg. 55-59. 2002.

GOLDEMBERG, J. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento**. EDUSP – Editora da Universidade de São Paulo. 2003

GREENE, William H. **Econometric Analysis**. Third Edition, Prentice Hall, New Jersey, 1997.

GUJARATI, Damodar N. **Econometria Básica**. Ed. Pearson Makron Books. São Paulo. 2005.

IPEA - Data. **Dados Estatísticos**. Disponível em: <<http://ipeadata.com.br>> Acesso em 08 de fevereiro de 2008.

JUNIOR, H.Q.P. (Org). **Economia da Energia: Fundamentos Econômicos, Evolução Histórica e Organização Industrial**. Campus/Elsevier. Rio de Janeiro. 2007.

LANNE, M., LÜTKEPOHL, H. E SAIKKONEN, P. **Comparison of unit root tests for time series with level shifts**, Journal of Time Series Analysis, 2002.

LANDES, D. S. **Prometeu Desacorrentado: Transformações Tecnológicas e Desenvolvimento Industrial na Europa Ocidental, desde 1750 até a Nossa Época**. Tradução de Vera Ribeiro da edição (1969), Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1994.

MANSFIELD, Edwin. ; YONE, Gary. **Microeconomia: Teoria e Aplicações**. Ed. Saraiva. São Paulo. 2006.

MURATA, M. H. ; LOPES, R. L. **Elasticidade de Substituição entre os Fatores de Produção Capital e Trabalho na Economia Brasileira: Uma Análise de Dados em Painel para o Período 1990 a 2003**. Artigo. Universidade Estadual de Maringá. 2006.

Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional**, 2003: Ano Base 2002.

Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional**, 2006: Ano Base 2005.

OECD/IEA (1997). **Possible Incentives for International Compliance with Legally-Binding QELROS, Note by the Secretariat, Standing Group on Long-Term Co-Operation**, Paris 18 July.

PASDERMADJIAN, H. **La Segunda Revolución Industrial**. Ed. Tecnos, 1960.

PAFFENBARGER, J. **Oil in Power Generation**. Paris: International Energy Agency/OECD, 1997.

PINDYCK, Robert S. ; RUBINFELD, Daniel L. **Microeconomia**. 6ª ed. Ed. Pearson Prentice Hall. São Paulo. 2006.

SAUER, Ildo Luís (org.). **A Reconstrução do Setor Elétrico Brasileiro**. Ed. UFMS / Paz e Terra. São Paulo. 2003.

TOLMASQUIM, Maurício Tiomno (Coord). **Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil**. CENERGIA/COPPE/UFRJ. Relume Dumará. Rio de Janeiro. 2004.

WOOLDRIDGE, Jeffrey M. **Introdução à Econometria: Uma Abordagem Moderna**. Ed. Thomson Learning. São Paulo. 2006.

APÊNDICES

APÊNDICE A – FATORES DE CONVERSÃO

O balanço energético é um quadro contábil que não se refere, de modo algum, a uma justaposição de balanços específicos por fonte de energia, expresso em suas unidades originais (m³, tonelada, kWh, etc.). A necessidade de agregar as energias contidas nas diferentes fontes e etapas dos fluxos é atendida recorrendo-se às equivalências energéticas.

A diferença de rendimentos entre fontes e tecnologias coloca a questão da equivalência entre as fontes energéticas. Estabelecer equivalências entre as formas de energia não é uma tarefa simples. Para isso, é necessário usar critérios físicos, técnicos ou econômicos.

As equivalências físicas são aquelas baseadas em propriedades físicas da energia. Basicamente, a capacidade de produzir trabalho (energia mecânica potencial) e a capacidade de produzir calor (energia térmica potencial). As equivalências técnicas procuram levar em conta os rendimentos na transformação e na utilização de energia. As equivalências econômicas baseiam-se, em geral, nos mecanismos tradicionais de custos/preços.

Dado o peso da dimensão técnica na economia da energia, as equivalências tradicionalmente utilizadas nessa área são aquelas que empregam critérios físicos e técnicos.

A contabilização das diferentes formas de energia, com as suas diferentes unidades comerciais, e sua consolidação no balanço energético se viabiliza por meio da utilização de fatores de conversão. Esses fatores levam em consideração o conteúdo energético de cada fonte, tendo como referência a capacidade de liberação de calor em calorias, de cada combustível, quando da sua combustão completa (conceito de poder calorífico).

Quando se quer a contabilização da energia em toneladas equivalentes de petróleo (tep), calculam-se os fatores de conversão pela relação entre o poder calorífico do petróleo adotado como referência. Os quantitativos em unidades comerciais são convertidos em tep quando multiplicados por esses fatores.

A adoção de um petróleo de referência significam, na prática de elaboração do balanço energético, o valor para o poder calorífico inferior do petróleo e conseqüentemente, o valor da tep como referência para todas as fontes possibilitando a consolidação das fontes.

Para a fonte primária de energia petróleo, no BEN, essa referência impõe algumas limitações, uma vez que petróleo de diferentes qualidades (graus API⁴ diferentes) tem poderes caloríficos diversos. O método faz com que a contabilização de distintos petróleos seja feita pela mesma referência de poder calorífico.

O petróleo de referência adotado no BEN tem 10.000 kcal/kg e são assumidos os poderes caloríficos inferiores para as demais fontes de energia.

O critério utilizado para conversão da energia elétrica e da geração hidráulica para contabilização em tep é a base teórica do primeiro princípio da termodinâmica, pelo que $1 \text{ kwh} = 860 \text{ kcal}$.

Esses critérios são aderentes com os critérios internacionais, especialmente os da Energy International Agency (Agência Internacional de Energia), World Energy Council (Conselho Mundial de Energia), Organização Latino-Americano de Energia e do U.S. Department of Energy (DOE).

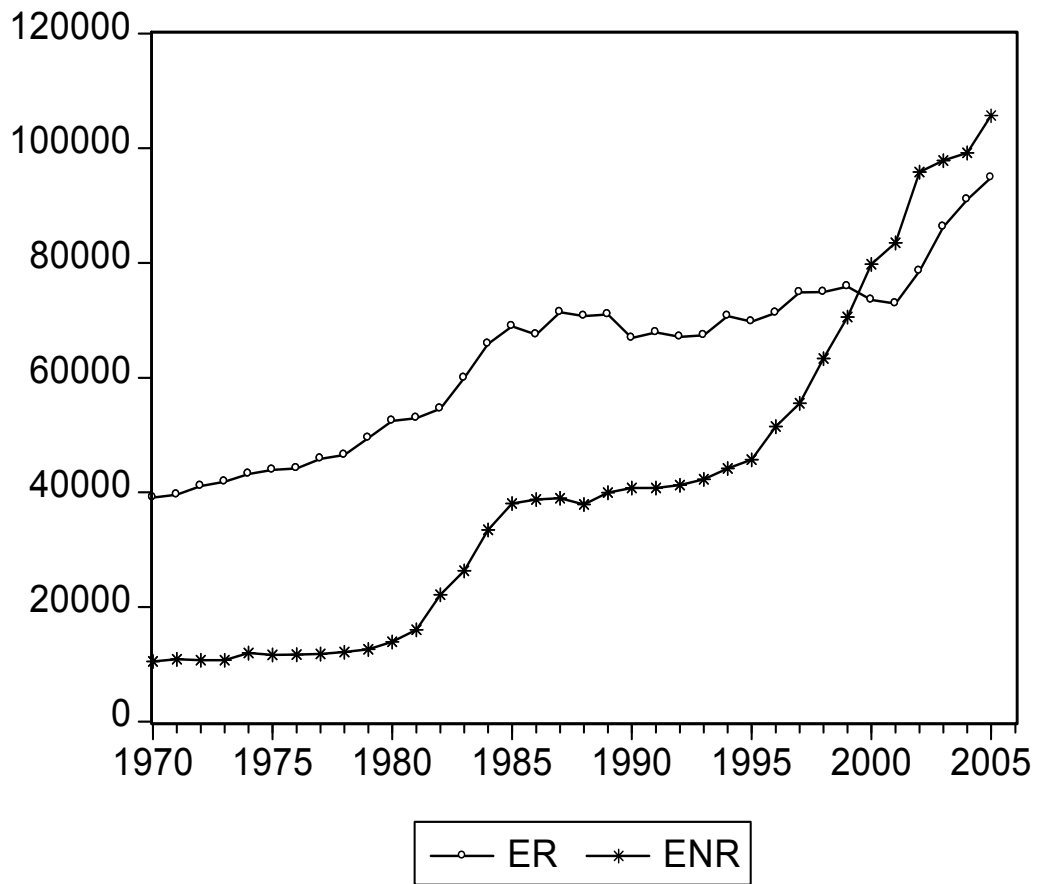
⁴ Grau API – é uma escala hidrométrica utilizada para medir a densidade relativa dos líquidos.

Coque de Petróleo	0,8726	0,8726	0,8726	0,8726	0,8731	0,8731	0,8731	0,8731	0,8726	0,8726
Outros Energéticos de Petróleo	0,8896	0,8886	0,8886	0,8886	0,8886	0,8896	0,8886	0,8926	0,8926	0,8857
Outras Secundárias - Alcatrão	0,8547	0,8547	0,8547	0,8547	0,8547	0,8547	0,8547	0,8547	0,8547	0,8547
Asfaltos	0,9791	0,9791	0,9791	0,9791	0,9791	0,9791	0,9791	0,9791	0,9888	0,9991
Lubrificantes	0,8903	0,8903	0,8903	0,8903	0,8903	0,8903	0,8903	0,8903	0,8941	0,8932
Solventes	0,7927	0,7927	0,7927	0,7927	0,7927	0,7927	0,7927	0,7927	0,7844	0,7807
Outros Não-Energ.de Petróleo	0,8896	0,8886	0,8886	0,8886	0,8886	0,8896	0,8886	0,8926	0,8926	0,8857

FATORES DE CONVERSÃO	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Petróleo	0,8887	0,8897	0,8897	0,891	0,887		0,887
Gás Natural Úmido	0,9926	0,9926	0,9926	0,993	0,993		0,993
Gás Natural Seco	0,8796	0,8796	0,8796	0,880	0,880		0,880
Carvão Vapor 3100 kcal/kg	0,2949	0,2949	0,2949	0,295	0,295		0,295
Carvão Vapor 3300 kcal/kg	0,3099	0,3099	0,3099	0,310	0,310		0,310
Carvão Vapor 3700 kcal/kg	0,3499	0,3499	0,3499	0,350	0,350		0,350
Carvão Vapor 4200 kcal/kg	0,3998	0,3998	0,3998	0,400	0,400		0,400
Carvão Vapor 4500 kcal/kg	0,4248	0,4248	0,4248	0,425	0,425		0,425
Carvão Vapor 4700 kcal/kg	0,4448	0,4448	0,4448	0,445	0,445		0,445
Carvão Vapor 5200 kcal/kg	0,4898	0,4898	0,4898	0,490	0,490		0,490
Carvão Vapor 5900 kcal/kg	0,5598	0,5598	0,5598	0,560	0,560		0,560
Carvão Vapor 6000 kcal/kg	0,5698	0,5698	0,5698	0,570	0,570		0,570
Carvão Vapor sem Especificação	0,2849	0,2849	0,2849	0,285	0,285		0,285
Carvão Metalúrgico Nacional	0,6417	0,6417	0,6417	0,642	0,642		0,642
Carvão metalúrgico Importado	0,7397	0,7397	0,7397	0,740	0,740		0,740
Urânio U3O8	10,1391	10,1391	10,1391	10,139	10,139	10,139	0,000
Outras Renováveis	1,0000	1,0000	1,0000	1,000	1,000	1,000	0,000
Hidráulica	0,0860	0,0860	0,0860	0,086	0,086		0,086
Lenha Comercial	0,3099	0,3099	0,3099	0,310	0,310		0,310
Caldo de Cana	0,0610	0,0620	0,0623	0,062	0,060		0,060
Melaço	0,1829	0,1845	0,1850	0,185	0,180		0,180
Bagaço de Cana	0,2129	0,2129	0,2129	0,213	0,213		0,213
Lixívia	0,2859	0,2859	0,2859	0,286	0,286		0,286
Outras Renováveis	1,0000	1,0000	1,0000	1,000	1,000	1,000	0,000
Óleo Diesel	0,8509	0,8484	0,8484	0,848	0,858		0,858
Óleo Combustível Médio	0,9590	0,9590	0,9590	0,959	0,969		0,969
Gasolina Automotiva	0,7733	0,7696	0,7696	0,770	0,770		0,770
Gasolina de Aviação	0,7632	0,7632	0,7632	0,763	0,763		0,763
Gás liquefeito de Petróleo	0,6116	0,6105	0,6105	0,611	0,611		0,611
Nafta	0,7654	0,7654	0,7654	0,765	0,765		0,765
Querosene Iluminante	0,8216	0,8216	0,8216	0,822	0,822		0,822
Querosene de Aviação	0,8216	0,8216	0,8216	0,822	0,822		0,822
Gás de Coqueria	0,4298	0,4298	0,4298	0,430	0,430		0,430
Gás Canalizado Rio de Janeiro	0,3798	0,3798	0,3798	0,380	0,380		0,380
Gás Canalizado São Paulo	0,4498	0,4498	0,4498	0,450	0,450		0,450
Coque de Carvão Mineral	0,6897	0,6897	0,6897	0,690	0,690		0,690
Urânio contido no UO2	73,9081	73,9081	73,9081	73,908	73,908	73,908	0,000
Eleticidade	0,0860	0,0860	0,0860	0,086	0,086		0,086
Carvão Vegetal	0,6457	0,6457	0,6457	0,646	0,646		0,646
Alcool Etilico Anidro	0,5339	0,5339	0,5339	0,534	0,534		0,534
Alcool Etilico Hidratado	0,5097	0,5097	0,5097	0,510	0,510		0,510
Gás de Refinaria	0,6552	0,6552	0,6552	0,655	0,655		0,655
Coque de Petróleo	0,8726	0,8726	0,8726	0,873	0,873		0,873
Outros Energéticos de Petróleo	0,8887	0,8897	0,8897	0,890	0,890		0,890
Outras Secundárias - Alcatrão	0,8547	0,8547	0,8547	0,855	0,855		0,855
Asfaltos	1,0091	1,0182	1,0182	1,018	1,018		1,018
Lubrificantes	0,8923	0,8906	0,8906	0,891	0,891		0,891
Solventes	0,7807	0,7807	0,7807	0,781	0,781		0,781
Outros Não-Energ.de Petróleo	0,8887	0,8897	0,8897	0,890	0,890		0,890

**APÊNDICE B – GRÁFICO DA EVOLUÇÃO DAS FONTES DE ENERGIA
RENOVÁVEIS E NÃO-RENOVÁVEIS DE 1970 A 2005**

Evolução da Energia Renovável e Não-Renovável



APÊNDICE C – TESTES DE RAIZ UNITÁRIA

1) Teste de Raiz Unitária ADF – log PIB

Null Hypothesis: LOG(PIB) has a unit root

Exogenous: Constant, Linear Trend

Lag Length: 2 (Automatic based on SIC, MAXLAG=9)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.721566	0.0344
Test critical values: 1% level	-4.252879	
5% level	-3.548490	
10% level	-3.207094	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Augmented Dickey-Fuller Test Equation

Dependent Variable: D(LOG(PIB))

Method: Least Squares

Date: 04/30/08 Time: 15:16

Sample (adjusted): 1973 2006

Included observations: 34 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOG(PIB(-1))	-0.269543	0.072427	-3.721566	0.0008
D(LOG(PIB(-1)))	0.112310	0.151753	0.740089	0.4652
D(LOG(PIB(-2)))	0.088997	0.148838	0.597947	0.5545
C	3.721222	0.991627	3.752645	0.0008
@TREND(1970)	0.006655	0.002050	3.246412	0.0029

R-squared	0.482697	Mean dependent var	0.034734
Adjusted R-squared	0.411345	S.D. dependent var	0.038148
S.E. of regression	0.029269	Akaike info criterion	-4.089542
Sum squared resid	0.024843	Schwarz criterion	-3.865077
Log likelihood	74.52221	F-statistic	6.764993
Durbin-Watson stat	1.929056	Prob(F-statistic)	0.000565

2) Teste de Raiz Unitária de LANE 2002 – log ER

UR TEST WITH STRUCTURAL BREAK FOR SERIES: LOGER			
sample range:	[1972, 2005], T = 34		
number of lags (1st diff):	1		
value of test statistic:	-3.3462		
used break date:	1987		
estimated theta:	0.7900		
shiftfunction:	rational shift		
time trend included critical values (Lanne et al. 2002):			
T	1%	5%	10%
1000	-3.55	-3.03	-2.76
regression results:			
Variable	coefficient	t-statistic	
d(trend)	1.0038	0.0323	
d(const)	10.5453	1964.8816	
d(shiftfkt1)	0.0305	3.4859	
d(shiftfkt2)	-0.0833	-9.5173	
dx(-1)	0.1938	1.1852	

OPTIMAL ENDOGENOUS LAGS FROM INFORMATION CRITERIA	
sample range:	[1981, 2005], T = 25
optimal number of lags (searched up to 10 lags of 1. differences):	
Akaike Info Criterion:	1
Final Prediction Error:	1
Hannan-Quinn Criterion:	1
Schwarz Criterion:	1

3) Teste de Raiz Unitária de LANNE 2002 – log ENR

UR TEST WITH STRUCTURAL BREAK FOR SERIES: LGENR			
sample range:	[1973, 2005], T = 33		
number of lags (1st diff):	2		
value of test statistic:	-3.4179		
used break date:	1987		
estimated theta:	0.0000		
shiftfunction:	rational shift		
time trend included			
critical values (Lanne et al. 2002):			
T	1%	5%	10%

T	1%	5%	10%

1000	-3.55	-3.03	-2.76

regression results:

variable	coefficient	t-statistic

d(trend)	0.0652	1.0318
d(const)	9.2286	875.7402
d(shiftfkt1)	-0.0525	-3.0526
d(shiftfkt2)	-0.0704	-4.0992
dx(-1)	0.3927	2.4277
dx(-2)	0.2408	1.4888

OPTIMAL ENDOGENOUS LAGS FROM INFORMATION CRITERIA

sample range: [1981, 2005], T = 25

optimal number of lags (searched up to 10 lags of 1. differences):

Akaike Info Criterion: 6

Final Prediction Error: 5

Hannan-Quinn Criterion: 2

Schwarz Criterion: 2

APÊNDICE D – RESULTADOS DO Pme, Pmg e TMST

Amostra Global 1970 a 2005

Série Temporal	PIB	K	L1	ER	ENR
1970	572121,8	400,476643	8745422	39098	10531
1971	637017,1	457,937514	9640695	39596	10877
1972	713079,2	522,438869	10307830	41099	10739
1973	812687,3	697,923637	14065820	41829	10753
1974	878953,3	870,709049	14676560	43213	12006
1975	924365,7	1013,72323	16202830	43911	11641
1976	1019179	1001,97726	18330410	44170	11697
1977	1069469	1025,39151	20327530	45867	11836
1978	1122620	1120,34863	21166090	46510	12168
1979	1198504	1205,00461	22436050	49473	12631
1980	1308767	1309,8262	23782220	52476	13929
1981	1253144	1221,25737	22696600	52946	16033
1982	1263545	1171,94644	22981400	54550	22171
1983	1226523	840,532431	23113800	59904	26312
1984	1292756	799,570705	23486500	65879	33470
1985	1394237	1067,89721	25378400	68950	38041
1986	1498665	1160,38684	27672900	67475	38787
1987	1551568	1309,33977	28373400	71366	39006
1988	1550637	1274,45195	29787400	70714	37917
1989	1599638	1436,09809	30649400	71027	39934
1990	1530053	1030,09465	32364567,34	66884	40749
1991	1545836	1023,95978	33266835,3	67854	40766
1992	1538618	955,445447	34173456,46	67098	41265
1993	1610397	1049,99902	35086542,18	67373	42291
1994	1696301	1102,2095	36007949,4	70736	44164
1995	1771224	1082,7022	36938991,07	69789	45707
1996	1809314	1101,77552	37879806,72	71301	51486
1997	1870384	1161,88938	38829793,08	74867	55511
1998	1871045	1139,57683	39786992,15	74921	63323
1999	1875799	1070,71008	40745114,63	75859	70551
2000	1956574	1161,4978	41699396,43	73556	79779
2001	1982266	1147,77902	42645108,51	72896	83490
2002	2034957	1031,02133	43577730	78582	95867
2003	2058290	940,441676	45382212,26	86268	97829
2004	2175865	1065,59423	46241325,92	91021	99215
2005	2239913	1052,93905	46241325,92	94855	105667
média global	1457064	1028,46871	29019122,34	63164,25	41059,42
pmger=	0,261646	23,0678625	6,035613947		
pmgenr=	0,079856	35,4867251	2,833827921		
tst(er,enr)=	-2,12984				
tst(enr,er)=	-0,46952				

Sub-Amostra 1970 a 1999

Série Temporal	PIB	K	L1	ER	ENR
1970	572121,8	400,4766	8745422	39098	10531
1971	637017,1	457,9375	9640695	39596	10877
1972	713079,2	522,4389	10307830	41099	10739
1973	812687,3	697,9236	14065820	41829	10753
1974	878953,3	870,709	14676560	43213	12006
1975	924365,7	1013,723	16202830	43911	11641
1976	1019179	1001,977	18330410	44170	11697
1977	1069469	1025,392	20327530	45867	11836
1978	1122620	1120,349	21166090	46510	12168
1979	1198504	1205,005	22436050	49473	12631
1980	1308767	1309,826	23782220	52476	13929
1981	1253144	1221,257	22696600	52946	16033
1982	1263545	1171,946	22981400	54550	22171
1983	1226523	840,5324	23113800	59904	26312
1984	1292756	799,5707	23486500	65879	33470
1985	1394237	1067,897	25378400	68950	38041
1986	1498665	1160,387	27672900	67475	38787
1987	1551568	1309,34	28373400	71366	39006
1988	1550637	1274,452	29787400	70714	37917
1989	1599638	1436,098	30649400	71027	39934
1990	1530053	1030,095	32364567	66884	40749
1991	1545836	1023,96	33266835	67854	40766
1992	1538618	955,4454	34173456	67098	41265
1993	1610397	1049,999	35086542	67373	42291
1994	1696301	1102,209	36007949	70736	44164
1995	1771224	1082,702	36938991	69789	45707
1996	1809314	1101,776	37879807	71301	51486
1997	1870384	1161,889	38829793	74867	55511
1998	1871045	1139,577	39786992	74921	63323
1999	1875799	1070,71	40745115	75859	70551
média do período	1333548	1020,853	25963377	59224,5	30543,07
pmger=	0,261646	22,51683	5,89144		
pmgenr=	0,079856	43,66124	3,486612		
tst(er,enr)=	-1,68973				
tst(enr,er)=	-0,59181				

Amostra Parcial de 2000 a 2005

Série					
Temporal	PIB	K	L1	ER	ENR
2000	1956574	1161,498	41699396	73556	79779
2001	1982266	1147,779	42645109	72896	83490
2002	2034957	1031,021	43577730	78582	95867
2003	2058290	940,4417	45382212	86268	97829
2004	2175865	1065,594	46241326	91021	99215
2005	2239913	1052,939	46241326	94855	105667
média	2074644	1066,546	44297850	82863	93641,17
pmger=	0,261646	25,03704	6,550841		
pmgenr=	0,079856	22,15526	1,76923		
tst(er,enr)=	-3,70265				
tst(enr,er)=	-0,27008				