

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

PAULO SÉRGIO GUIMARÃES MARCIAL

**ENERGIA NUCLEAR
COMO OPÇÃO ENERGÉTICA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Nuclear do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Nuclear.

Orientador: Prof. Rex Nazaré Alves, D.Sc.

Co-orientador: Maysa Joppert Coelho – Ph. D.

Rio de Janeiro

2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

c2006

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro – RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmар ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação do texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do autor e do orientador.

M319e Marcial, Paulo Sérgio Guimarães.
A Energia Nuclear como Opção Energética /
Paulo Sérgio Guimarães Marcial. — Rio de Janeiro:
Instituto Militar de Engenharia, 2006.
125p.:il., graf., tab.

Dissertação (mestrado) — Instituto Militar de
Engenharia — Rio de Janeiro, 2006.

1. Consumo de energia. 2. Fontes de energia.
3. Energia nuclear.

CDD 621.48

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

PAULO SÉRGIO GUIMARÃES MARCIAL

**A ENERGIA NUCLEAR
COMO OPÇÃO ENERGÉTICA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Nuclear do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Nuclear.

Orientador: Prof. Rex Nazaré Alves, D.Sc. - IME

Co-orientador: Maysa Joppert Coelho – Ph. D – IME

Aprovada em 18 de dezembro de 2006, pela seguinte Banca Examinadora:

Rex Nazaré Alves – D. Sc. - IME – Presidente

Maysa Joppert Coelho – Ph. D. - IME

Sérgio Gavazza – Ph. D. - IME

Ronaldo Glicério Cabral – Ph. D. – IME

Fernando Pinto Dias Perrone – MBA – Eletrobrás

Eduardo Cavalcanti – Dr. – SCTI - RJ

Rio de Janeiro
2006

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Militar de Engenharia, que permitiu a realização de um ideal acalentado desde o tempo de capitão do Exército Brasileiro, não concretizado na época por injunções da carreira.

À minha esposa Leni, às minhas filhas Danielle e Fernanda e minha querida neta Paulinha, que sempre apoiaram e estimularam meus estudos, apesar da privação de minha presença em muitos momentos.

Ao amigo e professor Ronaldo Glicério Cabral, Ph.D., contemporâneo do CMRJ, pela recepção entusiasmada ao meu interesse de ingressar no mestrado em Engenharia Nuclear, recomendações redigidas na minha Ficha de Conceito Universitário para ingresso no mestrado e pelos ensinamentos transmitidos nas aulas de Métodos de Matemática Avançada e Teoria do Reator I.

Ao amigo e professor Sérgio Gavazza, Ph.D., contemporâneo da turma de AMAN, pela amizade e consideração externados na redação de minha Ficha de Conceito Universitário ao ingresso no curso de mestrado e pelos ensinamentos transmitidos nas aulas de Proteção Radiológica I e Blindagem das Radiações.

Ao amigo e professor Cláudio Luiz de Oliveira, Ph.D., pela amizade desde os tempos de ginásio no CMRJ e pelos ensinamentos fornecidos na matéria de Física Atômica e Nuclear.

À professora Maysa Joppert Coelho, Ph.D., pela pronta orientação a todas as minhas dúvidas ao longo do curso e pelos ensinamentos transmitidos na matéria de Estatística Aplicada a Radioproteção.

Ao professor Rex Nazaré Alves, D.Sc. que, através de orientação clara e objetiva na redação de minha dissertação, aceitou os conceitos por mim externados, dando a necessária formatação de trabalho científico.

Ao professor Victor Carvalho dos Santos, D.C., pela atenção e estímulo nos conceitos fornecidos nas aulas de Radiação Não ionizante.

Ao professor Domingos D'Oliveira Cardoso, D.C., pela preocupação na transmissão dos conceitos de metrologia, fornecidos nas aulas de Detecção e Instrumentação Nuclear, e Laboratório Nuclear I.

Ao professor Ivan Pedro Salatti de Almeida, M.C., pela atenção dispensada e pelos ensinamentos transmitidos na cadeira de Higiene das Radiações.

Aos amigos da DE-7, Cristóvão, David, Kleber, Neriete e Dona Conceição.

A todos que, direta ou indiretamente, agora tornaram possível a realização desse ideal.

"Há homens que lutam um dia e são bons.
Há outros que lutam um ano e são melhores.
Há os que lutam muitos anos e são muito bons.
Porém, há os que lutam toda a vida.
Esses são os imprescindíveis."

BERTOLT BRECHT

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	09
LISTA DE TABELAS.....	10
LISTA DE SÍMBOLOS.....	12
LISTA DE SIGLAS.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Objetivo.....	20
1.2 Justificativa.....	20
2 EVOLUÇÃO NO USO DA ENERGIA.....	22
2.1 Energia na Idade Média.....	22
2.2 Transição para a Idade Moderna.....	22
2.3 Uso da energia durante as duas Grandes Guerras.....	26
2.4 Uso da energia no pós-guerra.....	27
2.5 Globalização e Revolução Tecnológica.....	29
2.5.1 Ciclo longo de Kondratieff – Teoria de Schumpeter.....	30
2.5.2 Dependência e Marginalidade.....	32
2.5.3 Mercado de energia.....	34
3 CONSUMO DE ENERGIA.....	36
3.1 Universo de estudo.....	36
3.1.1 Critérios do Banco Mundial.....	36
3.1.2 Critério do <i>International Energy Outlook</i>	37
3.2 Estabelecimento de cenários.....	40
3.3 Tendências de crescimento do consumo de energia e do PIB.....	42
3.3.1 Intensidade energética.....	45
4 DESENVOLVIMENTO E ENERGIA.....	47
4.1 Indicadores do sistema das Nações Unidas.....	47
4.1.1 IDH.....	47
4.1.2 TAI.....	48
4.2 Sistema IMD.....	49

4.3	Desenvolvimento X Energia.....	51
4.3.1	Países com alto IDH.....	51
4.3.2	Países com médio IDH.....	52
4.3.3	Países com baixo IDH.....	53
4.4	Brasil: IDH X Desenvolvimento.....	53
4.5	Brasil, China, Índia – Consumo de energia.....	55
5	FONTES DE ENERGIA.....	57
5.1	Petróleo.....	58
5.1.1	Petróleo no Brasil.....	60
5.2	Gás natural.....	65
5.2.1	Gás natural no Brasil.....	67
5.2.2	Geração termelétrica a gás natural.....	69
5.3	Carvão.....	70
5.3.1	Características do carvão.....	72
5.3.2	Carvão no Brasil.....	77
5.3.3	Usinas térmicas a carvão existentes.....	80
5.3.4	Usinas térmicas a carvão em construção.....	80
5.4	Energia renovável.....	81
5.4.1	Energia renovável no Brasil.....	84
5.4.2	Geração de energia elétrica no Brasil.....	85
6	ENERGIA NUCLEAR.....	89
6.1	Energia nuclear no mundo.....	90
6.2	Reservas de urânio.....	97
6.3	Energia nuclear no Brasil.....	99
6.4	Rejeitos nuclear.....	101
6.5	Tendências do consumo e das fontes de energia primária e elétrica.....	102
6.6	A opção pela geração nucleoeleétrica.....	108
6.7	Cultura nuclear.....	109
7	CONCLUSÃO.....	110

8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
9	ANEXOS.....	117
9.1	Descobertas e invenções ocorridas entre 1900 – 1950.....	118
9.2	Índices ALTO IDH, IMD e TAI versus Consumo de energia elétrica.....	120
9.3	Centrais termelétricas a gás natural.....	124

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIG. 2.1	Consumo mundial de energia primária.....	28
FIG. 2.2	Ciclo longo de Kondratieff.....	31
FIG. 3.1	Países segundo o produto nacional bruto, per capita.....	37
FIG. 3.2	Economias de Mercado.....	38
FIG. 3.3	Grupamento de países por estrutura político-econômica.....	40
FIG. 3.4	Mercado de economias maduras.....	42
FIG. 3.5	Mercado de economias em transição.....	43
FIG. 3.6	Mercado de economias emergentes.....	44
FIG. 3.7	Intensidade energética.....	46
FIG. 4.1	Consumo eletricidade X Posição países de alto IDH.....	52
FIG. 4.2	Consumo eletricidade X Posição países de médio IDH.....	52
FIG. 4.3	Consumo eletricidade X Posição países de baixo IDH.....	53
FIG. 4.4	Consumo eletricidade per capita, países sul-americanos.....	54
FIG 5.1	Mercado mundial de energia, por combustível.....	57
FIG. 5.2	Países produtores e consumidores de petróleo.....	58
FIG. 5.3	Relação entre consumo / produção, petróleo.....	59
FIG. 5.4	Reservas provadas de petróleo 2005, região (bilhões de barris)....	61
FIG. 5.5	Evolução profundidade de pesquisa exploratória petróleo no mar.	63
FIG. 5.6	Reservas provadas petróleo, Brasil, terra e mar, 2005.....	63
FIG. 5.7	Reservas provadas X Produção petróleo, Brasil.....	64
FIG. 5.8	Localização reservas provadas gás natural, Mundo 2004.....	66
FIG. 5.9	Produção gás natural, Mundo 2004 (bilhões m ³).....	67
FIG. 5.10	Termelétricas a gás natural existentes, Brasil, Set. 2003.....	70
FIG. 5.11	Incremento percentual de consumo de carvão.....	72
FIG. 5.12	Representação esquemática do uso final do carvão.....	73
FIG. 5.13	Participação do carvão na geração de energia elétrica.....	75
FIG. 5.14	Emissões de dióxido de carbono.....	76
FIG. 5.15	Uso de carvão vapor no Brasil.....	79
FIG. 5.16	Consumo mundial de energia primária, 1980 – 2030.....	82
FIG. 5.17	Matriz de oferta de eletricidade, 2005.....	87
FIG. 6.1	Participação geração nucleoeletrica geração eletricidade mundial.	93
FIG. 6.2	Fluxo de escassez de longo prazo.....	98

LISTA DE TABELAS

TAB. 1.1	Classificação segundo o endividamento.....	18
TAB. 2.1	Participação percentual das fontes de energia na matriz mundial.	29
TAB. 2.2	Preços do petróleo.....	34
TAB. 3.1	Classificação dos países segundo o Produto Nacional Bruto.....	36
TAB. 3.2	Classificação dos países segundo a Dívida Externa.....	37
TAB. 3.3	Critérios para o estabelecimento de cenários.....	41
TAB. 3.4	Cenário de referência.....	41
TAB. 3.5	Consumo de energia primária por mercado econômico.....	42
TAB. 4.1	Componentes e indicadores do TAI.....	49
TAB. 4.2	RDH 2004 e 2005.....	54
TAB. 4.3	Fontes de geração de energia elétrica - Brasil.....	55
TAB. 4.4	Indicadores Brasil, China, Índia – valores absolutos.....	56
TAB. 4.5	Indicadores Brasil, China, Índia – percentuais do mundo.....	56
TAB. 5.1	Balanço produção e consumo de petróleo, por região.....	59
TAB. 5.2	Reservas provadas de petróleo, no mundo.....	60
TAB. 5.3	Capacidade total de refino de petróleo, Mundo, 2004.....	65
TAB. 5.4	Reservas provadas de gás natural, Mundo, 2004.....	68
TAB. 5.5	Consumo de petróleo por uso final, Brasil.....	68
TAB. 5.6	Consumo de gás natural por uso final, Brasil.....	69
TAB. 5.7	Consumo de carvão por região.....	71
TAB. 5.8	Incremento percentual no consumo de carvão.....	71
TAB. 5.9	Reservas mundial de carvão por tipo, 2003.....	73
TAB. 5.10	Tempo de vida das reservas de carvão.....	74
TAB. 5.11	Comércio internacional de carvão.....	74
TAB. 5.12	Uso final do carvão – Mercado de economias maduras.....	75
TAB. 5.13	Uso final do carvão – Mercado de economias em transição.....	76
TAB. 5.14	Uso final do carvão – Mercado de economias emergentes.....	77
TAB. 5.15	Reservas de carvão mineral, Brasil.....	77
TAB. 5.16	Termelétricas a carvão em operação, 2006.....	80
TAB. 5.17	Termelétricas a carvão em construção, 2006.....	80
TAB. 5.18	Potencial elétrico, teórico, termelétricas a carvão.....	81
TAB. 5.19	Participação das energias renováveis no mundo.....	82

TAB. 5.20	Uso final da energia renovável.....	83
TAB. 5.21	Geração de energia elétrica por energia renovável.....	83
TAB. 5.22	Oferta Interna de energia primária – Brasil, 2005.....	85
TAB. 5.23	Estrutura da oferta interna de energia primária – Brasil, 2005.....	85
TAB. 5.24	Relação quinze maiores geradores energia elétrica–Mundo 2004	86
TAB. 5.25	Oferta interna de energia elétrica – Brasil, 2005.....	86
TAB. 5.26	Potencial hidrelétrico brasileiro.....	87
TAB. 5.27	Projetos de geração hidrelétrica.....	88
TAB. 6.1	Geração nucleoe elétrica – Mercado de economias maduras.....	90
TAB. 6.2	Geração nucleoe elétrica – Mercado de economias em transição...	90
TAB. 6.3	Geração nucleoe elétrica – Mercado de economias emergentes.....	91
TAB. 6.4	Geração nucleoe elétrica – Mercados consolidados.....	91
TAB. 6.5	Geração líquida de energia termonuclear.....	92
TAB. 6.6	Geração líquida mundial de eletricidade.....	92
TAB. 6.7	Custo da geração de energia elétrica por fonte, centavos dólar....	94
TAB. 6.8	Avaliação de custos na geração de energia elétrica.....	96
TAB. 6.9	Características do urânio.....	98
TAB. 6.10	Reservas conhecidas de urânio – Mundo, Set/2005.....	99
TAB. 6.11	Reatores da usina de Angra dos Reis.....	100
TAB. 6.12	Consumo de petróleo por uso final – Mundo.....	102
TAB. 6.13	Consumo de gás natural por uso final – Mundo.....	103
TAB. 6.14	Consumo de carvão por uso final – Mundo.....	103
TAB. 6.15	Consumo de renováveis por uso final – Mundo.....	103
TAB. 6.16	Consumo de petróleo por uso final – Brasil.....	103
TAB. 6.17	Consumo de gás natural por uso final – Brasil.....	104
TAB. 6.18	Consumo de carvão por uso final – Brasil.....	104
TAB. 6.19	Consumo de renováveis por uso final – Brasil.....	104
TAB. 6.20	Consumo de energia primária – Mundo.....	106
TAB. 6.21	Consumo de energia primária – Brasil.....	106
TAB. 6.22	Emissão de CO ₂ por fonte – Mundo.....	107
TAB. 6.23	Emissão de CO ₂ por fonte – Brasil.....	107
TAB. 6.24	Emissão de CO ₂ – Países Anexo I - Protocolo Quioto.....	107
TAB. 6.25	Potencial hidrelétrico brasileiro, 2005.....	108

LISTA DE SÍMBOLOS

CO ₂	—	Dióxido de carbono
GWh	—	Gigawatt - hora
kcal	—	Quilocaloria
kg	—	Quilograma
kWh	—	Quilowatt – hora
MW	—	Megawatt
MW _e	—	Megawatt de energia elétrica
MWh	—	Megawatt – hora
QBTU	—	Quadrilhão de BTU
°C	—	Graus Celsius
tep	—	Tonelada equivalente de petróleo
TWh	—	Terawatt – hora

LISTA DE SIGLAS

AMAN	Academia Militar das Agulhas Negras
CMRJ	Colégio Militar do Rio de Janeiro
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IMD	International Institute for Management Development
MEE	Mercado de Economias Emergentes
MEM	Mercado de Economias Maduras
MET	Mercado de Economias em Transição
OCDE	Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PWR	Pressurized Water Reactor
RDH	Relatório de Desenvolvimento Humano
TAI	Technology Achievement Index
WDI	World Development Indicators

RESUMO

Apesar do alerta da comunidade científica realizado nas décadas finais do século passado, somente nos dias atuais as agressões antrópicas ao meio ambiente têm obtido espaço na grande mídia. Reportagens mostrando causas e efeitos põem em contraponto fumaça de chaminés, veículos automotores, desmatamentos e queimadas com inundações, secas, tempestades, derretimento de geleiras etc.

A atual sociedade de consumo induz o aumento de produção para atendimento da demanda. Este atendimento impõe o uso cada vez mais intenso dos recursos energéticos.

Esta dissertação estuda o consumo das fontes de energia no mundo e no Brasil, suas características e o tempo de vida das reservas dos combustíveis fósseis, dentro de mercados de blocos econômicos.

Analisa o presente e as tendências futuras de utilização das fontes conhecidas, dando destaque à energia nuclear, como solução de curto prazo para a geração de eletricidade.

Avalia ainda as perspectivas brasileiras para a geração nucleoeletrica diante das necessidades energéticas para o país alcançar as metas de desenvolvimento propostas no programa Brasil em Três Tempos.

ABSTRACT

Besides the scientific community's made in the last decades of the past century, only in the current days the antropogenics aggressions to the environment have gotten space in the media. News articles showing causes and effects put in counterpoint smoke of chimneys, vehicles emissions, deforestation and forest fires with floodings, droughts, storms, melting of glaciers etc.

The current society of consumption induces the increase of production for attendance of demand. This attendance imposes a more intensive use of energy resources.

This dissertation studies the consumption of energy carriers by power plants in the world and specially in Brazil, their characteristics and the life time of fossil fuels reservoirs, accounting for markets of economic blocks.

It analyzes actual and future trends of the use of known sources, emphasizing nuclear energy as a solution for short term electricity generation.

This study still evaluates the Brazilian perspectives for the nucleoeletric generation facing the energetic necessities to reach the development goals proposed in the "Brazil Three Times", a brazilian government program.

1 INTRODUÇÃO

Homem e Energia formam um binômio de desenvolvimento que teve origem, cientificamente identificada, cerca de 3 milhões de anos, com a descoberta do fóssil denominado Lucy, ainda com *gen* de *australopithecus*, confirmado em diferentes momentos a partir do ano 2000, pela descoberta do esqueleto parcial de um fóssil de jovem com 3,3 milhões de anos (Nature, vol. 443/21).

Todas essas descobertas e a identificação de outros achados fósseis do período nômade claramente indicam que o deslocamento do Homem ocorreu em regiões com disponibilidade de água, provavelmente garantindo alimentos que floresciam naturalmente nessas regiões, além da atração da água para dessedentarização de animais.

Era ele um observador que sistematizava sua observação, o que possibilitou o uso de instrumentos de pedra (- 2 milhões de anos), o domínio do fogo (- 500 mil anos), o uso do arco e flecha (- 20 mil anos), a invenção da lâmpada a óleo (- 20 mil anos) e a domesticação dos primeiros animais (- 12 mil anos).

Toda essa sistematização possibilitou o atendimento de suas necessidades para sobrevivência até que, cerca de 10 mil anos, foi capaz de, em Jericó identificar processos agrícolas naturais que permitiram o desenvolvimento de sua fixação geográfica.

Como nômades, os grupos eram pequenos e, em consequência dos deslocamentos, não tinham condições de crescimento demográfico maior. Sua fixação possibilitou o desenvolvimento de uma agricultura e o uso de animais domésticos como alimentação.

Inicialmente a queima da madeira para aquecimento e cocção dos alimentos, e o uso da gordura animal como combustível para iluminação noturna, permitiram que as populações aumentassem, o que fez crescer a demanda por novas formas de energia disponível.

A necessidade de desbravar o desconhecido levou o homem às Grandes Navegações onde ele fez uso da energia eólica. A partir do surgimento da máquina a vapor, as atividades produtivas, estabelecidas primeiramente junto às fontes de energia hidráulica, foram deslocadas do campo para a cidade. A produção em massa e toda a tecnologia criada a partir da Revolução Industrial fizeram do ser

humano o único organismo vivo do planeta que não foi inserido nos ciclos naturais que modificaram a vida na Terra. Vale lembrar que somente em 1804 a população mundial atingiu 1 bilhão de habitantes e, em apenas 123 anos após, em 1927, completou o segundo bilhão.

Na Idade Contemporânea, o uso do combustível fóssil, primeiramente o carvão e posteriormente o petróleo, permitiu à Humanidade utilizar maciçamente a energia. Tal uso, no entanto, gerou compromissos com a Natureza, seja no sentido da perenidade das fontes, seja no sentido da agressão ao meio ambiente. Assim é que, do final da Segunda Grande Guerra até fins dos anos 70, o petróleo participou de maneira extremamente significativa como fonte de energia primária. A partir, no entanto, dos dois choques de 1973/74 e 1979/80, gerados por aumentos de preços, o mundo percebeu a fragilidade geopolítica no suprimento desse combustível.

O fim da União Soviética, em 1991, substituída por uma Federação Livre de Repúblicas, impediu que a Guerra Fria fosse obstáculo ao avanço da globalização. Como decorrências da globalização, ocorreram transformações em quatro setores de atividades:

- i. Setor tecnológico: Foram revolucionados o trabalho, a economia, as comunicações, a educação e o lazer.
- ii. Setor econômico: As modificações ocorridas no setor econômico favoreceram a expansão financeira e a globalização da economia.
- iii. Setor sociológico: Caracterizou-se pelas sociedades buscando modelos onde externar as suas expectativas, principalmente porque as transformações ocorreram quase que simultaneamente.
- iv. Setor militar: Teve o foco das lutas de supremacia transferido do eixo ideológico-militar para o eixo político-econômico.

Embora a globalização seja um fenômeno multidisciplinar, envolvendo além da globalização econômica, a ambiental, a sociocultural, a política, a militar e outras, o enfoque desse trabalho estará voltado para a globalização do uso das fontes de energia, salvo menção expressa de outra.

A integração dos mercados iniciou a tendência para a globalização da economia. Dentro da óptica econômica a globalização é um processo que se inicia no âmbito econômico-financeiro, produzido pela expansão global dos mercados, cujos principais agentes são as empresas transnacionais.

Nesse ambiente o objetivo passou a ser produzir com qualidade, em larga escala, com baixos custos, na quantidade necessária à demanda do mercado consumidor. A redução dos custos de produção impôs o deslocamento da atividade industrial até locais onde os custos de geração do produto – matéria-prima, mão-de-obra, energia – fossem menores.

Com a ausência de antagonismo entre os blocos ideológicos, que entravava a ampliação do processo de reestruturação do capitalismo, as grandes potências lançaram-se à consolidação de macros blocos econômicos, capazes de ocupar espaços em um mundo caracterizado pela disputa tecnológica, produtiva e comercial.

A década de 90 começou com uma clara inclinação para segmentar a economia mundial em blocos regionais. A integração dos mercados iniciou a tendência para a globalização da economia. As balanças comerciais dos países menos industrializados passaram a ser pressionadas por critérios de endividamento tanto de forma velada (através de negociações bilaterais), como ostensivamente (via organismos oficiais).

Exemplo dessa pressão é o ordenamento de países por seus níveis de endividamento, adotado por organismos financeiros internacionais, com a finalidade de estabelecer estratégias de gerenciamento desses débitos (Tabela 1.1).

TAB 1.1 – Classificação segundo o endividamento

ENDIVIDAMENTO	2003			
	EXPORTAÇÕES (milhões US\$)	% SOBRE MUNDO	IMPORTAÇÕES (milhões US\$)	% SOBRE MUNDO
SEVERAMENTE ENDIVIDADOS	384.049	4,35%	355.537	4,08%
MODERADAMENTE ENDIVIDADOS	692.607	7,84%	631.064	7,24%
POUCO ENDIVIDADOS	1.090.117	12,34%	1.097.858	12,59%
SEM CLASSIFICAÇÃO INDICADA	6.661.926	75,47%	6.630.614	76,09%
MUNDO	8.828.699	100,00%	8.715.073	100,00%

Fonte: Banco Mundial – Tabela 4: External debt management

Analisando as Exportações e Importações dos países listados sob a ótica do endividamento, consta-se que os países severamente endividados respondem por cerca de 4% do comércio internacional, os países moderadamente endividados têm a suas participações aumentadas para cerca de 7% do total, enquanto nos países pouco endividados esse percentual eleva-se para 12%. Constata-se ainda que os

países sem classificação indicada de endividamento participam com 76% das pautas de exportação e importação mundial.

Os grandes produtores de petróleo ou não tiveram indicados os seus níveis de endividamento ou eram de baixo endividamento. Esta classificação teve como uma de suas principais causas os preços alcançados pelo petróleo no mercado, uma vez que esses países não comercializam outros produtos.

A energia é um dos lastros para o comércio globalizado. A utilização da energia, no entanto, sempre esteve associada ao desenvolvimento e à melhoria da qualidade de vida do ser humano. Se nos primórdios da vida humana foi ela que permitiu ao homem sobreviver às inhóspitas condições de então, hoje possibilita o funcionamento da estrutura produtiva mundial de geração de bens e riqueza, agregando qualidade à vida da sociedade.

Mas o uso da energia gera passivos ambientais. Em meados do século passado, a comunidade internacional começou a preocupar-se com os limites do desenvolvimento do planeta, iniciando discussões sobre os riscos da degradação do meio ambiente.

A termodinâmica nos apresenta duas leis que regem toda a utilização da energia no bioma Terra.

1ª Lei – Princípio da Quantidade: A energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada.

2ª Lei – Princípio da Qualidade: Nas transformações energéticas a qualidade da energia permanece constante ou diminui, jamais aumenta.

Enquanto as transformações energéticas possibilitam ao mundo produzir bens que atendam a própria demanda consumista, o calor resultante da energia degradada agride a biota, constituindo-se em fator de grande preocupação para o futuro da vida humana na Terra.

Esse futuro virá condicionado ao aumento populacional que, embora esteja reduzindo as taxas de crescimento demográfico, em valores absolutos incorporaram, a partir da década de 1960, um bilhão de novos consumidores a cada intervalo de 12 a 15 anos. A preocupação se acentua quando observado que os dois Estados de maior população, Índia e China, têm consumos per capita inferiores a 1,5 tep/ano, e estão crescendo suas demandas nos últimos dez anos.

As Nações Unidas estimam que, em 2025, a população na face da Terra seja de 8 bilhões de habitantes, acarretando uma demanda crescente de disponibilização de bens e serviços indispensáveis às suas vidas.

1.1 OBJETIVO

A partir do estudo da evolução histórica do consumo e das fontes de energia, no mundo e no Brasil, a dissertação tem como objetivo identificar a contribuição estimada da energia nuclear na Matriz Energética mundial e nacional, num horizonte incluindo o ano de 2022, coerente com a base programática brasileira, apresentada no “Brasil em Três Tempos”, projeto do governo brasileiro que tem por finalidade oferecer soluções e criar condições para a institucionalização da gestão estratégica dos objetivos nacionais de longo prazo.

1.2 JUSTIFICATIVA

A dimensão geopolítica da questão petrolífera apresentou-se mais evidente na participação das energias fósseis, e entre elas o petróleo, que parecem destinadas a se manter em posição de força no cenário energético mundial nos próximos anos, conforme publicado no “L’Etat Du Monde 2007”.

Simultaneamente a energia nuclear surge como a fonte alternativa sobre a qual há indicações de ampliação de sua participação, inclusive pelas recentes considerações favoráveis ao seu emprego, uma vez que sua contribuição para o Efeito Estufa é praticamente desprezível em relação às demais fontes.

Existem atualmente 28 (vinte e oito) centrais em construção, segundo a Agência Internacional de Energia Atômica – IAEA, a maioria na Ásia, aonde o crescimento econômico vem se mantendo elevado e a disponibilidade de energia per capita é reduzida.

No capítulo 2 será estudada a evolução do uso da energia desde a Idade Média até os dias atuais.

No capítulo 3 serão delimitados os universos físico e temporal do estudo, estabelecendo os cenários e as relações que vinculam o consumo da energia e a atividade econômica.

O capítulo 4 estudará os índices de desenvolvimento mais adequados para estimar as necessidades energéticas de um país, focando a geração de energia elétrica brasileira, no curto e médio prazo.

No capítulo 5 serão estudados os fatores que afetam a oferta e o consumo da energia de cada fonte.

O capítulo 6 destacará a importância da energia nuclear como opção à geração termelétrica no mundo e, em particular, no Brasil.

Finalmente, na conclusão, será dado destaque ao uso da energia nuclear como base do desenvolvimento tecnológico brasileiro, disponibilizando, para o Brasil, a energia necessária para lastrear seu promissor caminho ao desenvolvimento.

2 EVOLUÇÃO NO USO DA ENERGIA

2.1 ENERGIA NA IDADE MÉDIA

A energia sempre esteve associada ao desenvolvimento da humanidade. A energia do Sol tornou possível ao homem primitivo, através de trocas metabólicas, defender-se, caçar e abrigar-se.

Por volta de 500 mil a.C. (ASIMOV, 1993) o domínio do fogo possibilitou ao homem o conforto térmico e a cocção dos alimentos. A invenção da roda, em cerca de 3.500 a.C. permitiu o transporte terrestre a maiores distâncias por meio da tração animal.

Os últimos 600 anos antes de Cristo viram surgir o início do entendimento científico dos fenômenos naturais com a valorização do conhecimento, perpetuado em publicações manuscritas. Surgia a importância do conhecimento e a criação da Universidade de Alexandria, pólo irradiador dessa tendência, destruída posteriormente de forma a neutralizar a divulgação dos conhecimentos ali disponíveis.

Na era cristã, à tração animal é acrescida a utilização da energia mecânica das águas em moinhos. Nessa época era intenso o uso do trabalho humano dentro das castas que ocorreram nas várias civilizações dominantes, desde homens livres até escravos.

2.2 TRANSIÇÃO PARA A IDADE MODERNA

Em meados do século XVII, inicia-se o primeiro dos quatro movimentos revolucionários – Revolução Inglesa (1640 – 1660), Revolução Industrial (1760), a Colonização Norte-americana e a Revolução Francesa (1789) – que iriam mudar a sociedade mundial, suas relações comerciais e, principalmente, o perfil de consumo de energia, dentro de um cenário das grandes alterações sociais ocorridas na França.

A Revolução Inglesa, ocorrida em meados de século XVII teve como atores a rica camada de proprietários rurais, de industriais e de comerciantes que, dedicados à agricultura comercial e à produção de lã, se opuseram ao absolutismo real defendido

pelo clero anglicano e por aristocratas que ainda se utilizavam de mão-de-obra servil. As diversas oscilações no poder entre um e outro segmento – 1640 a 1660 – culminaram com a Declaração de Direitos (*Bill of Rights*), pondo fim ao absolutismo e implantando o regime parlamentar na Inglaterra.

Depois de vencer a monarquia absolutista, os ingleses avançaram sobre os mercados. A hegemonia naval lhes dava o controle dos mares, fazendo com que o mercado comandasse o ritmo da produção. Iniciou o século XVIII, e com ele a era da industrialização. Quatro elementos principais possibilitaram o desenvolvimento industrial: capital, recursos naturais, mercado, transformação agrária.

Até a segunda metade do século XVIII a grande indústria inglesa era a tecelagem de lã, que gerou o capital, juntamente com aquele advindo do tráfico de escravos e do comércio com metrópoles colonialistas como Portugal, para a arrancada industrial da Inglaterra, que dispunha de jazidas de carvão. O mercado externo absorvia 90% de sua produção, correspondente a metade de toda a exportação.

A Revolução Inglesa criou movimentos internos, por vezes danosos à população mais pobre, que resultou em escassez de mão-de-obra para as indústrias, impondo soluções tecnológicas que resolvessem o déficit de trabalhadores.

Cita-se que “*as invenções não resultam de atos individuais ou do acaso, mas de soluções a problemas concretos. O invento atende à necessidade social de um momento; do contrário, nasce morto*” (www.culturabrasil.pro.br).

Assim é que após vários inventos, todos visando movimentar teares, James Watt aperfeiçoou a máquina a vapor com biela e manivela, que transformava o movimento linear do pistão em movimento circular, substituindo a inconstante energia motriz da água.

A Revolução Industrial (1760) perdurou até 1850 apenas na Inglaterra, com destaque para a produção de bens de consumo e a energia a vapor. Entre 1850 e 1900, espalhou-se pela Europa, América e Ásia – Bélgica, França, Alemanha, Estados Unidos, Itália, Japão, Rússia – fazendo crescer a concorrência, desenvolvendo a indústria de bens de produção, expandindo as ferrovias; impulsionando o surgimento de novas formas de energia, como a hidrelétrica e a derivada do carvão e do petróleo; revolucionando o transporte, com a invenção da locomotiva e do barco a vapor.

Consolida-se nesta época a preocupação com a segurança dos trabalhadores, iniciada dois séculos antes, e a proteção ao público perante os novos engenhos.

A segurança dos trabalhadores tem como exemplo mais marcante a publicação, em 1556, do livro “De Re Metallica”, escrita por Georg Bauer, mais conhecido pelo nome latino de Georgius Agricola, versando sobre diversos problemas relacionados à extração de minerais, principalmente no último capítulo, onde são discutidos os acidentes de trabalho, em particular a “asma dos mineiros” provocada por poeira.

A proteção do público é mais marcada ainda com a publicação, em 1865, na Grã-Bretanha, do “Red Flag Act”, legislação que perdurou até 1896, restringindo a velocidade das locomotivas à dos veículos a cavalo – quatro milhas por hora no campo e duas milhas por hora nas cidades. Com essa finalidade cada locomotiva deveria ter três condutores, dois no seu comando e um, a pé, a sua frente, conduzindo uma bandeira vermelha.

A Colonização Norte-americana criou o cenário que possibilitou o amadurecimento da Revolução Industrial, em decorrência de características que fizeram com que o capitalismo dos Estados Unidos ocorresse de maneira extremamente vigorosa possibilitando que, ao findar do século XIX, a produção industrial americana fosse maior do que a inglesa.

O desenvolvimento americano foi estimulado pelas dimensões continentais do país que, em lugar de se tornar obstáculo à expansão geográfica em direção ao Oeste, obrigou as empresas a inovar em matéria de organização industrial. A conquista do Oeste impôs novidades em termos de lógica de formação e operação do grande novo mercado, bem como da constituição de empresas e da forma de produzir e operar:

- a) A padronização, como imposição da demanda na construção de milhares de quilômetros de ferrovia unindo a Costa Leste ao Centro-Oeste americano, necessitava da repetição das especificações dos módulos, partes e elementos em geral, tais como trilhos, dormentes, rodas, janelas, bancos de vagões etc., que tinham que ser fabricados todos iguais.
- b) Pelo lado da oferta, a intercambialidade foi uma característica particular introduzida e difundida no desenvolvimento americano, aumentando a produtividade industrial em direção à produção em massa.

A evolução tecnológica, representada pela invenção e uso do aço, pelas técnicas de lubrificação mais eficientes, pelos instrumentos de medição mais precisos etc., acarretou o aperfeiçoamento das máquinas gerando precisão das partes e peças de produtos fabricados em relação às suas especificações originais.

A padronização da oferta e a intercambialidade das peças na produção se tornaram elementos fundamentais no processo industrial americano.

É nesse cenário de grandes conquistas sociais, com o estabelecimento de novos mercados consumidores, que a produção industrial buscou a base energética, então conhecida, para o seu desenvolvimento.

Revolução Francesa (1789)

A França era um país absolutista no final do século XVIII. O rei governava com poderes absolutos, controlando a economia, a justiça, a política e até mesmo a religião dos súditos.

No topo da pirâmide social, estava o clero que também tinha o privilégio de não pagar impostos. Abaixo do clero, estava a nobreza formada pelo rei, sua família, condes, duques, marqueses e outros nobres, geradores de despesas. A base da sociedade era formada pelo terceiro estado (trabalhadores, camponeses e burguesia) que sustentava toda a sociedade com seu trabalho e com o pagamento de altos impostos.

O aumento da população, no período de 1715 a 1789, crescendo entre 8 e 9 milhões de habitantes, gerou déficit na produção agrícola, vindo a se constituir em uma das causas econômicas da revolução.

No final do século XVIII o centro da civilização estava dividido pelo Canal da Mancha. De um lado a Inglaterra com seu nascente processo de industrialização que deu origem à Revolução Industrial. Do outro a França, com a prevalência das idéias sobre os dogmas, originando a Revolução Francesa que, com a derrubada do absolutismo, deu origem ao moderno estado nacional.

A Revolução Francesa foi iniciada em 1787 com uma reação dos clérigos e nobres contra o absolutismo real. Significou o fim do sistema absolutista e dos privilégios da nobreza. As bases de uma sociedade burguesa e capitalista foram estabelecidas durante a revolução. A Revolução Francesa influenciou com seus ideais iluministas, a Independência dos Estados Unidos, dos países da América Espanhola e o movimento de Inconfidência Mineira no Brasil.

As conquistas sociais e econômicas decorrentes da revolução estabeleceram um novo perfil de consumidor na Europa da época.

2.3 USO DA ENERGIA DURANTE AS DUAS GRANDES GUERRAS

Iniciou-se o século XX e ainda na primeira metade surgiram dois outros fatores que estimularam o uso intensivo da energia: as duas Grandes Guerras – a 1ª (1914 / 1918) e a 2ª (1939 / 1945).

A quantidade de material bélico produzida durante a II Guerra Mundial, com largo emprego de aço, ligas metálicas e combustível para seu emprego, exigiu um esforço concentrado de desenvolvimento, particularmente no setor energético.

A necessidade de absorver novos conhecimentos científicos geradores de descobertas que permitissem a supremacia dos antagonistas nos Teatros de Operações, e a total disponibilidade dos meios de produção advindos da indústria civil, fizeram com que a primeira metade do século XX se caracterizasse por grande desenvolvimento científico e tecnológico voltado, principalmente, para o mercado cativo da indústria bélica de cada país.

Nesse período, a ciência e a tecnologia avançaram internacionalmente com as principais descobertas concentradas em Europa e nos Estados Unidos.

Para demonstrar a fecundidade produtiva nesses tempos de guerra, no Anexo 9.1, são resumidas algumas descobertas e invenções ocorridas entre 1900 e 1950.

O século XX testemunhou a maior mudança nas fontes de energia que o mundo talvez tenha experimentado desde que o uso do fogo. Nos primeiros vinte e cinco anos do século, o carvão foi indiscutivelmente a principal fonte de energia no mundo industrializado. As necessidades energéticas dos grandes países podiam ser atendidas inteiramente por recursos internos ou suplementadas por fontes próximas (CONANT).

O carvão teria permanecido como única fonte de energia se a descoberta de grandes quantidades de petróleo no sul da Rússia e no Oriente Médio, não tivesse despertado rapidamente o interesse na facilidade comparativa de sua extração e transporte, e de sua conversão para atender a uma grande gama de necessidades (CONANT).

Verifica-se que para substituir a energia produzida por uma tonelada de carvão são necessárias entre 0,287 e 0,556 toneladas de óleo equivalente, cujo poder calorífico adotado é 10.800 kcal/kg, dependendo do poder calorífico do carvão utilizado, que varia entre 4.165 kcal/kg e 5.700 kcal/kg.

A II Guerra Mundial caracterizou a primeira grande busca por combustíveis alternativos, citando-se como exemplos, a Alemanha liquefazendo o carvão e o Brasil utilizando o gasogênio.

2.4 USO DA ENERGIA NO PÓS-GUERRA

A partir da década de 1950 o petróleo começou a ser a principal fonte de energia substitutiva do carvão. O desenvolvimento industrial continuou no pós-guerra estimulado pelas demandas produzidas pelos países vencedores, mascarado por empréstimos para reconstrução dos países arrasados pelas guerras.

Durante a guerra, a pesquisa científica e o desenvolvimento tecnológico foram ambos dirigidos para resolver problemas militares práticos. Após a guerra, esta cooperação entre a ciência pura e tecnologia aplicada continuou. A guerra tinha demonstrado a eficácia da pesquisa dirigida.

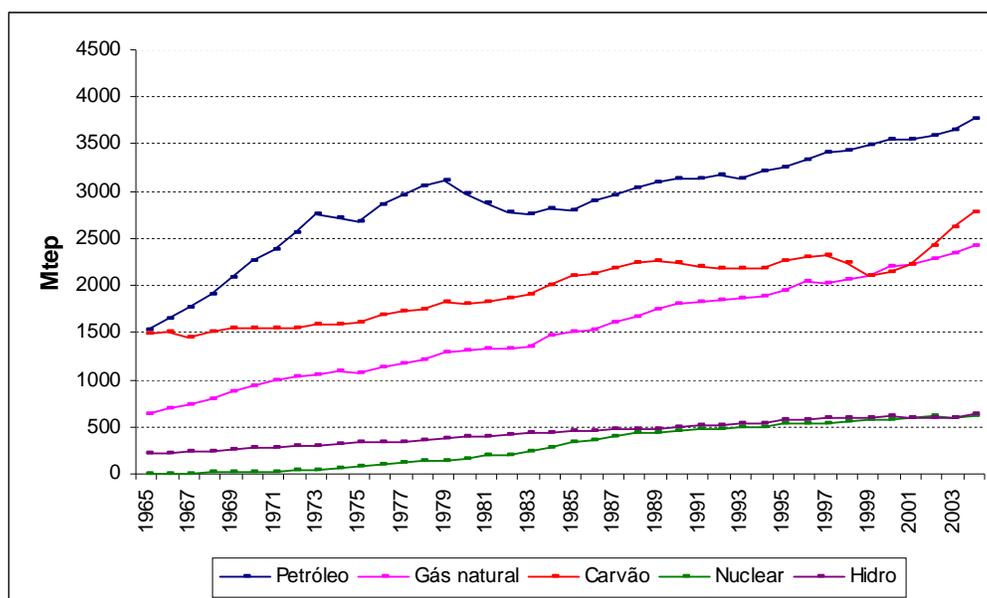
Grande parte da tecnologia desenvolvida para as guerras - os jatos, o radar, e os computadores eletrônicos - foram adaptados aos usos do pós-guerra. A tecnologia de microonda, por exemplo, foi aperfeiçoada para finalidades militares durante a guerra, mas gerou aplicações infinitas mais tarde na indústria das telecomunicações. A tecnologia nuclear, empregada pela primeira vez durante a II Guerra Mundial, deu origem ao uso de geração termonuclear, com o surgimento das primeiras usinas nucleoeletricas na década de 1950. Outro exemplo, a Internet, nasceu como uma rede de intercomunicação para tempos de guerra.

Isto continuou durante a Guerra Fria, porque o desenvolvimento tecnológico se tornou estratégico para os Estados Unidos e União Soviética, impondo desde o uso dos foguetes aos satélites comerciais.

Apesar da destruição, a Europa Ocidental experimentou prosperidade sem precedentes nos primeiros 15 anos do pós-guerra. A base deste crescimento teve origem no Plano Marshall que possibilitou o rápido aumento da disponibilidade de bens de consumo - carros, rádios, televisões etc.

Todas essas indústrias dependiam de energia para movimentar os seus parques fabris. A posse ou domínio das fontes de energia primária – carvão, petróleo, gás natural, água e nuclear – começava a ter importância geopolítica para todos os países.

A Figura 2.1, mostra que entre 1965 e 2004 o consumo de energia primária no mundo aumentou de 3.862 Mtep (milhões de toneladas equivalentes de petróleo) para 10.224 Mtep.



Fonte: British Petroleum - 2005
 Disponível: http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/publications/energy_reviews_2005/S_TAGING/local_assets/downloads/spreadsheets/statistical_review_full_report_workbook_2005.xls [capturado em 13 julho 2006]

FIG. 2.1 – Consumo mundial de energia primária

A Organização dos Países Exportadores de Petróleo – OPEP foi fundada em 1960. Apenas cinco anos depois o petróleo já tinha maior participação (39,6%) no consumo mundial do que o carvão (38,5%), comprovando a opção do mundo por esse energético.

TAB 2.1 – Participação percentual das fontes de energia na matriz mundial

ANO	% Petróleo	% Gás Natural	% Carvão	%Nuclear	% Hidro
1965	39,60	16,36	38,45	0,15	5,43
1970	44,94	18,42	30,94	0,35	5,36
1975	46,35	18,65	27,89	1,43	5,68
1980	44,80	19,69	27,27	2,42	5,83
1985	38,94	20,93	29,17	4,66	6,31
1990	38,67	22,10	27,56	5,58	6,09
1995	38,05	22,69	26,45	6,16	6,66
2000	38,97	24,17	23,66	6,44	6,76
2004	36,84	23,67	27,17	6,11	6,20

Fonte: British Petroleum

De 1965 até 2004, conforme Tabela 2.1, a participação do petróleo no consumo de energia primária mundial oscilou entre 36,84% e 46,35%, enquanto todas as outras fontes de energia tiveram suas participações aumentadas, exceção do carvão que reduziu sua contribuição de 38,45% em 1965 para 27,17% em 2004, embora nesse período tenha aumentado seu uso em valores absolutos, de 1.485 Mtep para 2.778 Mtep, respectivamente.

Essa redução pode ser atribuída à logística necessária durante todo o processo de utilização do carvão e, mais recentemente, à constatação de sua contribuição para o efeito estufa.

Destaque deve ser dado ao crescimento da participação da energia nuclear que, saindo de 0,15% em 1965, alcançou 6,11% em 2004, embora tenha sido afetado pelo acidente de Chernobyl. Recentemente ocorreu uma retomada na construção de usinas nucleoeletricas, descritas como de pequena contribuição no efeito estufa.

Em 2004, óleo, gás natural e carvão participaram com 87,7% do consumo total de energia primária no mundo, correspondente a 8.965 Mtep.

2.5 GLOBALIZAÇÃO E REVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

A globalização, ou como é chamada atualmente, multilateralismo, decorre da evolução do sistema capitalista, e tem por base material a Terceira Revolução Tecnológica.

O desenvolvimento da globalização no mundo está condicionado a três aspectos:

- i. Criação da cultura globalizante mundial.

ii. Superação das agressividades e das hostilidades manifestas ou latentes entre nacionalidades, etnias e raças.

iii. Abordagem das questões ecológicas.

Nas três primeiras décadas do pós-guerra conflitaram-se duas correntes político-econômicas antagônicas embora, ambas, tivessem o Estado como eixo da dinâmica social: a Doutrina Intervencionista de Keynes e a Doutrina Marxista.

Em 1973, ocorreu o 1º Choque do Petróleo, seguido do 2º Choque ao final da década, cujas conseqüências foram agravadas pelos gastos dos EUA com a guerra do Vietnã, pelos gastos fiscais dos estados nacionais e pela queda das taxas de crescimento de produção e produtividade, impondo que os países capitalistas entrassem numa recessão da qual somente conseguiram sair após dolorosa adaptação às novas condições referentes às suas matrizes energéticas.

A redução das taxas de desenvolvimento fez com que aflorasse na década de 90 o movimento conhecido como Neoliberalismo, baseado na Doutrina Monetarista-Liberal de Friedman.

2.5.1 CICLO LONGO DE KONDRATIEFF – TEORIA DE SCHUMPETER

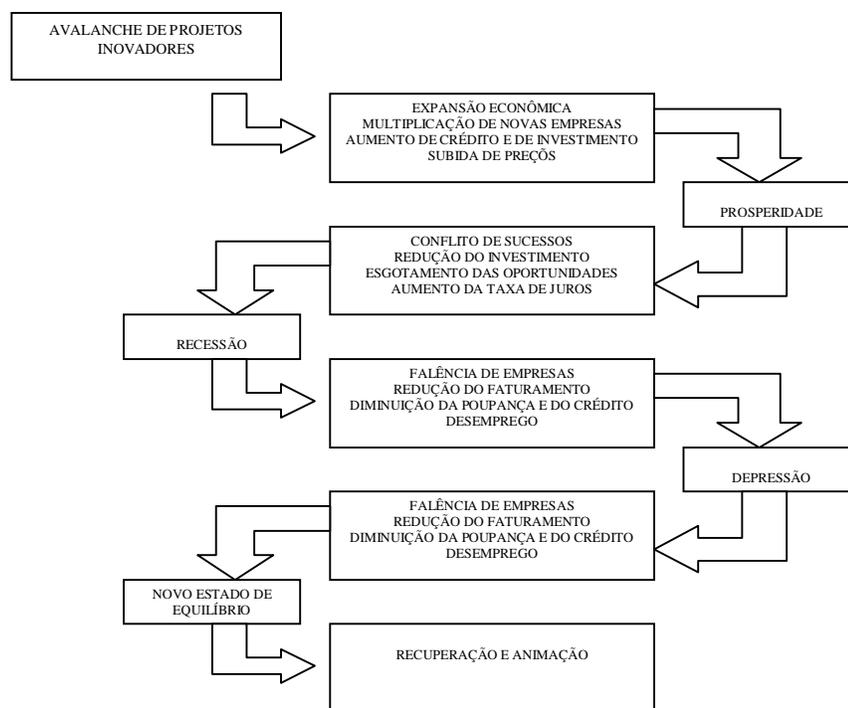
As conseqüências danosas da globalização e da revolução tecnológica nos países com baixo desenvolvimento, podem ser estudadas como fases de um movimento cíclico conhecido como Ciclo Longo de Kondratieff.

Segundo a teoria de Kondratieff, posteriormente desenvolvida por Schumpeter, os países capitalistas buscam reagir ao declínio de desenvolvimento através da inovação tecnológica, cuja materialização em produto ou ação necessita de um empreendedor para introduzir o novo produto no mercado. Pela teoria, a inovação não se restringe à invenção e patentes, mas também a outras formas como: (i) a descoberta de novas matérias-primas, (ii) ao desenvolvimento de novas metodologias nos serviços, (iii) à inovações organizacionais nas empresas e no comércio.

O Ciclo tem por característica inicial uma avalanche de projetos inovadores, criando um ambiente de prosperidade. O excesso de oferta acarreta a redução dos investimentos, gerando a recessão. A esta etapa segue-se a depressão, caracterizada pela redução de investimentos e receitas.

A depressão continua enquanto houver investimento mal sucedido e capacidade de produção em excesso, em face do nível de procura. Passada esta fase, o mercado novamente se equilibra.

Esquemáticamente, o Ciclo Longo de Kondratieff, que pode durar de 50 a 60 anos, tem a seguinte representação (Figura 2.2):



Disponível: http://www.janelanaweb.com/digitais/ru_i_rosa4.htm [capturado em 11 maio 2006]

FIG. 2.2 – Ciclo longo de Kondratieff

Na década de 90, o novo cenário político do mundo, acirrou a concorrência entre os países industrializados e suas empresas multinacionais induzindo a formação de blocos econômicos regionais, cujos principais são:

- ⇒ Tratado de Livre Comércio da América do Norte (NAFTA) – EUA.
- ⇒ União Européia (EU) – Alemanha.
- ⇒ Bloco Informal do Extremo Oriente – Japão.

A política de blocos encerra significação contraditória na óptica de comércio mundial. Por um lado, contribui para incentivar o comércio, na medida em que intensifica o intercâmbio entre os membros do bloco, e deste com parceiros

externos. Por outro lado, permite a prática protecionista do bloco em conjunto diante de outros blocos e, em geral, de países de fora. Finalmente, a atuação em blocos impõe que os Estados nacionais renunciem a alguns aspectos de suas soberanias.

2.5.2 DEPENDÊNCIA E MARGINALIDADE

Os países em desenvolvimento têm as economias enfraquecidas pelas empresas multinacionais e pelo capital financeiro atuante no mundo.

Enquanto os estados nacionais dos países desenvolvidos se valem da globalização para incrementar seu poder de influência interna e externa, os estados nacionais dos países do Terceiro Mundo chegam ao limiar da impotência diante das flutuações dos mercados globalizados de investimentos financeiros, de bens e de serviços. Em consequência, são compelidos a adotar os rumos impostos pelo poder objetivo dos fatores externos.

Situação mais fragilizada do que a de dependência é hoje a da marginalidade.

Na situação de dependência, ainda subsiste o vínculo que permite o relacionamento econômico com os países industrializados e a manutenção de atividades produtivas voltadas para o intercâmbio externo. Na situação de marginalidade, esse vínculo deixa de existir ou se torna mesquinho, forçando a retração de setores produtivos básicos.

A revolução tecnológica substituiu matérias-primas e insumos elaborados por novos materiais artificiais, muito mais eficazes, versáteis e baratos. A biotecnologia propiciou produtividade muito maior da agropecuária. Regiões antes importadoras de carne e cereais, como a Europa ocidental, converteram-se em exportadoras desses produtos.

Tais resultados afetaram fortemente os países em desenvolvimento, exportadores de *commodities*. Os preços decrescentes os obrigaram a vender maiores quantidades para obter receitas iguais, o que agravou suas dependências.

Mas esta ainda é uma situação tolerável se comparada com a daqueles países que simplesmente perderam qualquer mercado para seus produtos tradicionais. São os países pertencentes à categoria dos marginalizados.

A revolução tecnológica alargou consideravelmente a distância entre países desenvolvidos e países atrasados em matéria de ciência e tecnologia.

Na segunda revolução tecnológica, caracterizada pelo último ciclo já encerrado, ocorreram evidentes marcos científicos e tecnológicos como: (i) a descoberta do radar (1940), da energia nuclear (1942), do computador (1945 – 46), do transistor (1947) e da teoria da informação (Shannon, 1948). Nessa oportunidade a tecnologia se encontrava difundida e se tornara razoavelmente acessível aos países em desenvolvimento.

O atual ciclo, ou terceira revolução tecnológica, tem como característica a “revolução da informática”, tendo como marcos a criação da World Wide Web, em 1990 (a “Internet” global) e, em 1995, os “motores de busca” (browsers). Paralelamente, registram-se progressos qualitativos na genética e na indústria químico-farmacêutica. Esta revolução tecnológica se correlaciona com grandes investimentos em pesquisa científica, só possíveis a governos de países desenvolvidos e às empresas multinacionais.

Nestas condições, tornou-se incomparavelmente mais difícil eliminar o fosso que separa países desenvolvidos de países atrasados. A superioridade tecnológica conferiu aos primeiros uma vantagem apreciável.

Na base inferior do mercado, a ausência de tecnologia estabeleceu uma forte concorrência entre os países atrasados, pela atração de investimentos estrangeiros, que podem trazer embutidas as inovações pretendidas.

O processo da globalização e da revolução tecnológica tem agravado a desigualdade entre os países desenvolvidos e os países atrasados. Essa desigualdade cria condições para a transferência da base de produção dos países desenvolvidos para os países atrasados, devido ao baixo custo de mão-de-obra, disponibilidade de matérias-primas e energia. Nesse último aspecto, deixando para os países onde é realizada a produção a responsabilidade pelos danos ambientais causados.

Não seria exagero afirmar que é isto que ocorre com os países da América Latina, principalmente Argentina, Brasil, Chile e México. (GORENDER, 1995).

2.5.3 MERCADO DE ENERGIA

O acesso aos recursos energéticos envolve três interesses, que são compartilhados por todos os países dependentes de energia importada (CONANT et al., 1981):

- a) O suprimento de energia deve ser suficiente – Existe um nível de importações abaixo do qual a segurança nacional é colocada em risco.
- b) O suprimento de energia deve ser contínuo – Interrupções ou cortes no suprimento podem ter sérias repercussões políticas e econômicas nos países industrializados. Naturalmente, é esta vulnerabilidade às interrupções do suprimento que dá aos estados fornecedores uma poderosa arma contra os países que dependem de energia importada.
- c) A energia importada deve ser obtida a preços “razoáveis” – o mais difícil de definir dos três aspectos do acesso.

TAB 2.2 – Preços do petróleo

ANO	PREÇO (US\$ / BARRIL)	
	US\$ / ANO REFERÊNCIA	US\$ / ANO 2004
1970	1,80	8,79
1973	3,29	14,05
1974	11,58	44,50
1978	13,60	39,55
1979	30,03	78,45
1985	27,56	28,46
1986	14,43	24,79
1990	23,73	34,44
1995	17,02	21,30
2000	28,50	31,08
2004	38,27	38,27

Fonte: British Petroleum – Crude oil prices: 1861 – 2004

A Tabela 2.2 mostra a variação dos preços do petróleo entre os anos de 1970 e 2004. Logo após o aumento de 1973, a maioria dos países iniciou a procura de fontes alternativas, com maior ou menor sucesso. O Brasil, por exemplo, desenvolveu seu programa do álcool.

A redução de preço a partir de 1985 inviabilizou economicamente algumas dessas alternativas. Entretanto, a viabilidade foi, de novo, alterada pelos preços atuais.

Como a variação do preço do petróleo tem componentes políticos que prevalecem sobre os econômicos, é de se esperar que, para evitar transtornos, as economias centrais atuem para evitar novas reduções a patamares que inviabilizem ofertas oriundas de fontes de maior custo.

Os preços atuais do petróleo tornaram viável a produção em Alberta, com exploração em larga escala da areia oleaginoso, cujo custo de produção é de US\$ 20 a 25 por barril, e cujas reservas de petróleo contido totalizam 174 bilhões de barris, as quais permitem ao Canadá galgar da 13^a posição no mundo para 2^a posição, imediatamente atrás da Arábia Saudita.

É evidente que o preço pago deve guardar uma relação com o custo de formas alternativas de energia, tanto disponíveis como planejadas. O preço deve também refletir o fato de que as atuais fontes de energia não são renováveis e suas reservas estão diminuindo.

Esses três fatores – um suprimento suficiente e contínuo a um preço razoável – constituem um trio indissolúvel de interesses energéticos. A falta de qualquer um desses fatores pode ter conseqüências desastrosas para o bem-estar econômico, a estabilidade política e a segurança nacional do país consumidor.

Sendo as fontes de energia pilares da estrutura produtiva mundial e, esta estrutura, a base para os conseqüentes ganhos geopolíticos e econômicos dos países desenvolvidos e suas empresas multinacionais, a relação entre estados nacionais desenvolvidos, em desenvolvimento e marginalizados é acentuada pela escassez das fontes de energia primária.

3 CONSUMO DE ENERGIA

3.1 UNIVERSO DE ESTUDO

O consumo da energia está vinculado ao desenvolvimento econômico e social dos Estados. Nele influi a existência de mercado interno, a capacidade de participar do mercado externo, a credibilidade da manutenção de regras para a participação do setor privado e as dificuldades oriundas das pressões ambientais.

No Brasil, foram os investimentos diretos do Estado, complementados por empréstimos externos, que possibilitaram a construção de grandes usinas hidrelétricas, base de nossa matriz energética e o sucesso na auto-suficiência do petróleo.

O estudo da evolução do consumo energético no mundo globalizado impõe o estabelecimento de critérios balizadores para o universo estudado.

3.1.1 CRITÉRIOS DO BANCO MUNDIAL

Um dos critérios decorre dos diferentes níveis de desenvolvimento dos países, segmentados em mercados com economias distintas, permitindo estabelecer condições de dependência no tempo, entre o aumento no consumo de energia primária e a exigência prévia, ou a correspondente conseqüência, do desenvolvimento da economia na região.

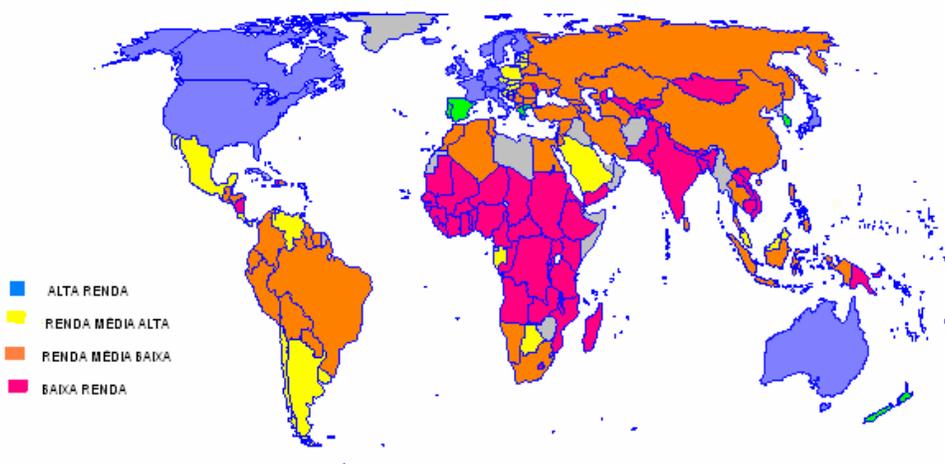
Sob a óptica do desenvolvimento econômico o Banco Mundial publica anualmente os indicadores de desenvolvimento no mundo (*World Development Indicators* – WDI), que em 2005 classifica os países por valores de Produto Nacional Bruto per capita, conforme a Tabela 3.1.

TAB. 3.1 – Classificação dos países segundo o Produto Nacional Bruto

CRITÉRIOS	LIMITES (L)
Baixa Renda	$L \leq \text{US\$ } 765$
Renda Média Baixa	$\text{US\$ } 766 < L \leq \text{US\$ } 3035$
Renda Média Alta	$\text{US\$ } 3036 < L \leq \text{US\$ } 9385$
Alta Renda	$> \text{US\$ } 9386$

Fonte: WDI 2005 – Table 1.1 Size of the economy

Esses países estão situados de acordo com a Figura 3.1, verificando-se que os países de alta renda, com exceção da Austrália e Nova Zelândia, localizam-se no Hemisfério Norte.



Fonte: WDI2005 – World by income.
Disponível em <http://devdata.worldbank.org/wdi2005/Home.htm> [capturado em 14 outubro 2006]

FIG. 3.1 – Países segundo o Produto Nacional Bruto, per capita.

Outro critério apresentado pelo Banco Mundial diz respeito à dívida externa do país. Nessa análise o banco também utiliza a Produto Nacional Bruto, classificando os países de acordo com a Tabela 3.2.

TAB. 3.2 – Classificação dos países segundo a Dívida Externa

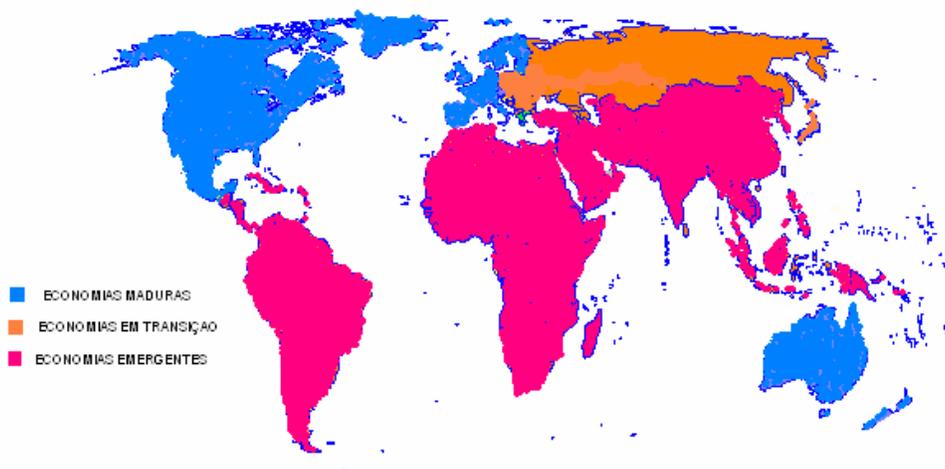
CLASSIFICAÇÃO 2003	CRITÉRIOS
Severamente Endividados	Países com valor atual do serviço de débito maior do que 220 por cento das exportações ou 80 por cento de Renda Nacional Bruta.
Moderadamente Endividados	Países não severamente endividados, mas cujo valor atual do serviço de débito excedeu 132 por cento das exportações ou 48 por cento de Renda Nacional Bruta.
Pouco Endividados	Países que não caíram em um ou outro grupo foram classificados como pouco endividados.

Fonte: WDI 2005 – Tabela 4.17 External debt management

3.1.2 CRITÉRIO DO *INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK*

O IEO 2005, por sua vez, reúne os países por nível de desenvolvimento econômico, utilizando como referência o Produto Interno Bruto – PIB, anual. Os três

grupos assim definidos, ou regiões, são os mercados de economias maduras, economias em transição e economias emergentes (Figura 3.2).



Fonte: IEO 2005

FIG. 3.2 – Economias de mercado

- a) Mercado de Economias Maduras comportando 15% da população mundial inclui América do Norte (Estados Unidos, Canadá e México), Europa Ocidental (totalizando 18 países com destaque para Alemanha, França, Itália e Reino Unido) e o Mercado Maduro da Ásia (Japão, Austrália e Nova Zelândia).
- b) Mercado de Economias em Transição, com 6% da população mundial, compreende o Leste Europeu e os Países da Antiga União Soviética.
- c) Mercado de Economias Emergentes, onde estão 78% da população do mundo, compreendem as regiões da Ásia Emergente (com 53% da população do mundo, incluindo China e Índia), Oriente Médio (4% da população mundial), África (totalizando 56 países e 14% da população do mundo) e América Central e do Sul (com 45 países, incluindo o Brasil).

Confrontando os países segundo o desenvolvimento de mercado, mostrados na Figura 3.2 e o endividamento, segundo Tabela 3.2, verifica-se que dos 24 (vinte e quatro) países com Mercados de Economias Maduras, 22 (vinte e dois) não estão classificados segundo o endividamento; os 2 (dois) restantes estão classificados como Pouco Endividados. Dentro do ordenamento econômico globalizado, esse

posicionamento reforça a conclusão de que os países credores estabelecem as regras de mercado, apenas para os que possuem débitos com o sistema.

Dos 27 (vinte e sete) países que fazem parte dos Mercados de Economias em Transição, 4 (quatro) estão classificados como Severamente Endividados, 8 (oito) como Moderadamente Endividados, 9 (nove) como Pouco Endividados, 1 (um) não está classificado segundo o endividamento, enquanto 5 (cinco) não constam da relação. Essa diversificação de enquadramentos demonstra a característica desse mercado onde os países atores ainda não canalizaram seus esforços no sentido de um único objetivo mercadológico.

O critério usando o Produto Nacional Bruto agrega os fluxos dos recursos nacionais em bens e serviços, gerados em determinado período. Inclui salários, rendimentos de profissionais liberais, lucros privados e os obtidos por empresas públicas, juros, aluguéis e receitas provenientes de arrendamentos. Considera como fontes os residentes e os não residentes no país.

A classificação segundo a *International Energy Outlook* - IEO2005, que utiliza o PIB, considera tão somente a soma de todos os bens e serviços produzidos no país durante o ano.

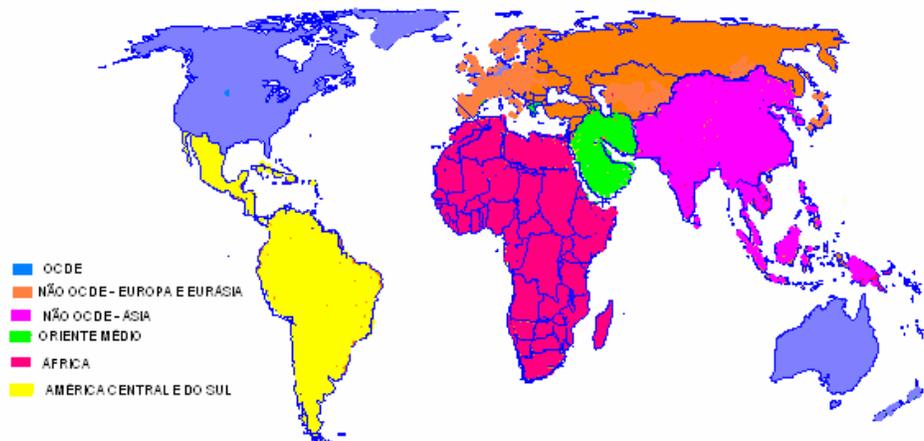
O recente *International Energy Outlook* – IEO2006, estabelece um novo arranjo de países, com base na Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE, diferindo muito pouco do critério adotado pelo IEO2005.

No IEO2006, conforme apresentado na Figura 3.3, são estabelecidos os seguintes agrupamentos:

- a) OCDE, comportando 18% da população mundial em 2006, incluindo a América do Norte, OCDE Europa e OCDE Ásia. Esse delineamento geográfico corresponde à configuração dos Mercados de Economias Maduras, com a inclusão de República Tcheca, Polônia, Eslováquia, Turquia e Coréia do Norte.
- b) Não – OCDE, com 82% da população mundial, compreende:
 - i) Não – OCDE Europa e Ex-URSS (5% da população do mundo), que corresponde à configuração dos Mercados de Economias em Transição, incluindo Malta e excluindo Polônia, Eslováquia e Geórgia.
 - ii) Não – OCDE Ásia (53% da população mundial), compreendendo, junto com os demais grupos abaixo os Mercados de Economias

Emergentes, com a exclusão da Coréia do Sul e inclusão de Tailândia e Síria.

- iii) Oriente Médio (3% da população do mundo)
- iv) África (14% da população do mundo)
- v) América Central e do Sul, (7% da população mundial).



Fonte: IEO 2006

FIG. 3.3 – Grupamento de países por estrutura político-econômica

Considerando a similaridade existente entre todos os critérios adotaremos para nosso estudo a nomenclatura dada aos mercados econômicos, proposta pelo IEO2005, com as adequações de dados fornecidos pelo IEO2006.

O estudo do consumo de energia de fontes primárias, inserido dentro dos mercados de economias maduras, em transição e emergentes, demonstra a inter-relação que existe entre energia e desenvolvimento econômico.

As regiões serão analisadas nos setores residencial, comercial, industrial e transporte, através dos cenários para os anos de 2003 a 2030.

3.2 ESTABELECIMENTO DE CENÁRIOS

A taxa Paridade do Poder de Compra – PPC é aquela que permite comparar o poder de compra de diferentes moedas, a partir de uma cesta de produtos.

De forma simplificada permite uma analogia com o preço do hambúrguer. Na Índia, por exemplo, o preço é de 60 rúpias e nos Estados Unidos é de 2,20 dólares, ou 2,73 rúpias por dólar.

Para IEO2005, as projeções do PIB foram preparadas, primeiramente, de forma individual para os países com base em suas próprias moedas correntes. As projeções foram então convertidas ao dólar americano dividindo projeções reais do PIB de cada país pelo PPC trocado entre os Estados Unidos e esse país no ano de 2000. Tendo a taxa de troca de mercado que existiu, na média, em 2000, entre cada país e o dólar usado, a taxa de crescimento da série resultante não difere da taxa de crescimento da série real do PIB derivada e taxa 2000 do PPP. O IEO2006 adotou o mesmo critério.

Assim fazendo obtém-se o “cenário de referência”, que considera o PIB das regiões/países normatizados em função de um PIB padrão em dólares americanos referido ao ano 2000. Considera cenários de taxa alta e de taxa baixa, tomando como base as variações do PIB (Tabela 3.3).

TAB. 3.3 – Critérios para o estabelecimento de cenários

MERCADOS DE ECONOMIAS		CENÁRIO DE TAXA ALTA	CENÁRIO DE TAXA BAIXA
MADURAS	TODOS	+ 0,5%	- 0,5%
EM TRANSIÇÃO	EX-URSS	+ 1,5%	- 1,5%
	DEMAIS	+ 1,0%	- 1,0%
EMERGENTES	TODOS	+ 1,0%	- 1,0%

Fonte: IEO2006

Será considerado, apenas, o cenário de referência (Tabela 3.4).

TAB. 3.4 – Cenário de referência

MERCADOS DE ECONOMIAS (PIB 2000 – bilhão US\$)	HISTÓRICO			PROJEÇÃO				
	1990	2002	2003	2010	2015	2020	2025	2030
MADURAS	20150	27243	27788	33832	38445	43550	48934	55051
TRANSIÇÃO	3387	2672	2878	4315	5345	6494	7759	9190
EMERGENTES	10224	18939	20120	30288	38754	48873	61061	76090
MUNDO	33761	48854	50786	68435	82544	98917	117754	140331
BRASIL	1022	1370	1378	1796	2127	2510	2951	3462

Fonte: IEO2006 – Tabelas A3, B3, C3

Consumo de energia: A Tabela 3.5 considera a variação do consumo para as variações do PIB dentro do cenário de referência.

TAB. 3.5 – Consumo de energia primária por mercado econômico

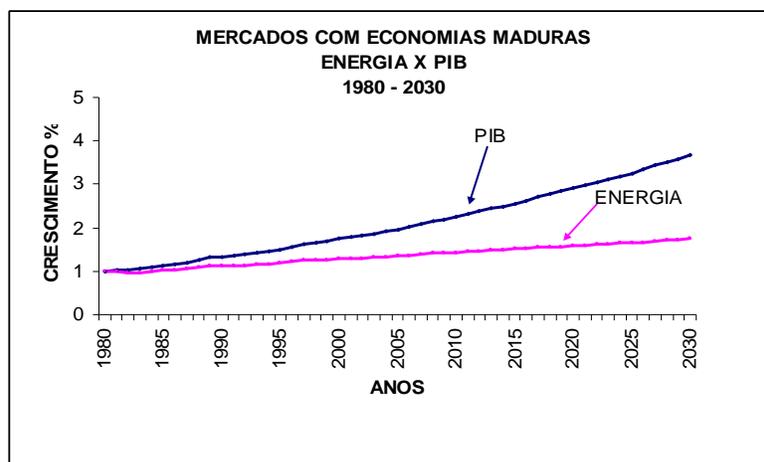
MERCADOS DE ECONOMIAS (bilhão de tep)	HISTÓRICO			PROJEÇÃO				
	1990	2002	2003	2010	2015	2020	2025	2030
MADURAS	4,98	5,84	5,90	6,45	6,80	7,10	7,42	7,78
TRANSIÇÃO	1,69	1,18	1,22	1,42	1,58	1,73	1,86	1,99
EMERGENTES	2,08	3,31	3,48	4,97	5,81	6,62	7,48	8,41
MUNDO	8,75	10,34	10,60	12,84	14,20	15,45	16,77	18,18
BRASIL	0,15	0,22	0,22	0,27	0,31	0,35	0,39	0,43

Fonte: IEO2006 – Tabelas A1, B1, C1

3.3 TENDÊNCIAS DE CRESCIMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA E DO PIB

Estabelecendo as relações de energia e do PIB, ambos em relação ao tempo, teremos as taxas de variação (velocidade) com que cada indicador oscilará, permitindo avaliar as tendências da relação Energia / PIB.

Todas as vezes que um país está em fase de desenvolvimento a oferta de energia deve anteceder o PIB, como forma de atrair o investimento de produção.



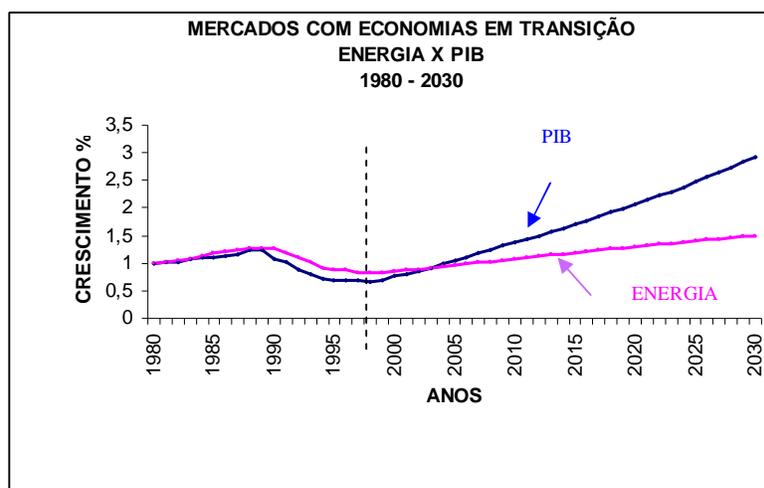
Fonte: IEO2005

FIG. 3.4 – Mercado de economias maduras

i. Embora os países com mercados de economias maduras, conforme Figura 3.5, utilizem em maior quantidade os equipamentos consumidores de energia elétrica, tais equipamentos, por agregarem tecnologias mais

avançadas, são mais eficientes do que os similares usados em países com economias não maduras.

Nos países com mercados de economias maduras a estabilidade política, econômica e social cria condições relativamente estáveis para o aumento das taxas econômicas e de consumo energético. Em função da conscientização popular no uso eficiente da energia e dos equipamentos mais eficientes, constata-se que o PIB aumenta linearmente, com a velocidade maior do que o aumento do consumo de energia, fazendo com que a razão entre o consumo de energia e o desenvolvimento econômico medido através do PIB decaia numa taxa mais ou menos constante.



Fonte: IEO 2006

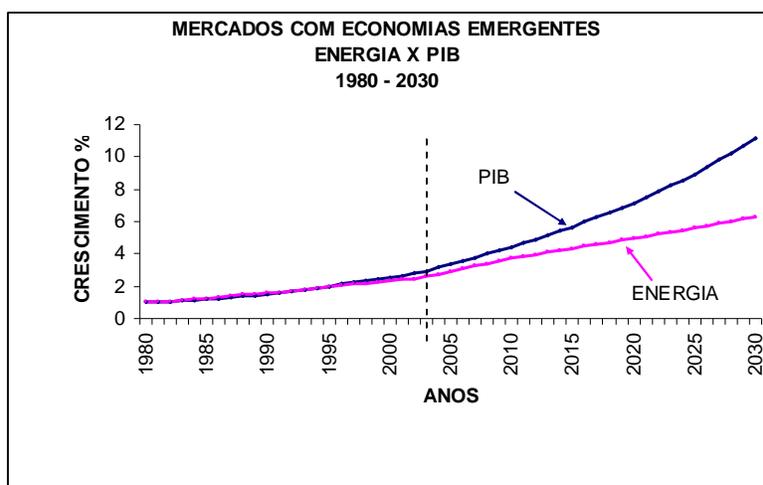
FIG. 3.5 – Mercado de economias em transição

ii. Nos mercados de economias em transição, de acordo com a Figura 3.5, a busca pela sustentabilidade tem caracterizado as oscilações nas taxas de variação do PIB e da energia. Os países oriundos de economias totalitárias centralizadas buscaram ascender ao mercado global dentro das suas disponibilidades, função dos seus posicionamentos nos governos centralizados. A partir do ano de 2005 os países do Leste Europeu começaram a beneficiar-se da inclusão de 10 (dez) países na União Europeia, ocorrida em maio de 2004.

Já os países integrantes da ex – União Soviética tendem, desde o ano de 2005, a consolidar a transformação de suas economias comunista para capitalista.

Em decorrência, as taxas de desenvolvimento da economia e da energia, acarretam decaimento da razão Energia/PIB maior do que as taxas apresentadas pelos mercados de economias maduras, caracterizando-se por apresentar oscilação desse indicador, decorrente das constantes alterações no PIB da região.

A partir do ano de 2003 a taxa de crescimento do PIB torna-se maior que a taxa de aumento do consumo de energia, ambas com variações aproximadamente constantes, acarretando que a razão Energia/PIB decaia de forma quase linear.



Fonte: IEO 2006

FIG. 3.6 - Mercado de economias emergentes

iii. Os mercados de economias emergentes, indicados na Figura 3.6, têm como característica o baixo nível de poupança interna não atendendo sua demanda de crescimento, independente de disponibilidade de energia. O mercado adquire bens para suas necessidades pessoais e de lazer, ainda não satisfeitos da carência de recursos para o consumo. Nos países com mercados de economias emergentes, as taxas de aumento de consumo de energia e da atividade econômica permanecem ajustadas, com o consumo e o crescimento econômico ocorrendo quase que ao mesmo tempo, desde 1980. A partir de 2003, a taxa de crescimento da economia acelerou o seu crescimento em

relação à taxa de consumo de energia. Por esse comportamento a razão entre a variação do consumo de energia e a variação do aumento do PIB tende a ser decrescente.

Nos mercados de economias emergentes a inserção da inovação tecnológica ocorre de forma muito mais rápida do que nos demais. Cita-se como exemplo a venda da TV colorida. Enquanto no mundo desenvolvido, representado atualmente pelos países com mercados de economias maduras, o desenvolvimento tecnológico para chegar à transmissão televisiva demorou décadas, no Brasil a primeira transmissão em preto e branco ocorreu em 18 de setembro de 1950, e apenas vinte e dois anos mais tarde, em 31 de março de 1972, foi realizada a primeira transmissão a cores. O mesmo se dá com a inserção no mercado dos equipamentos mais eficientes. Em decorrência a velocidade de variação da razão Energia / PIB ocorre de maneira mais suave, já que não ocorrem grandes saltos energo-tecnológicos.

3.3.1 INTENSIDADE ENERGÉTICA

Conceitua-se Intensidade Energética como a relação entre a energia utilizada e a riqueza produzida com essa energia.

$$\text{INTENSIDADE ENERGÉTICA (IE)} = \frac{\text{ENERGIA UTILIZADA}}{\text{PIB}}$$

É importante, no entanto, determinar com que taxa em relação ao tempo a energia e o PIB alteram, permitindo verificar tendências corretas para a velocidade de variação do consumo de energia em relação à velocidade de variação do PIB.

Do estudo da série histórica desde 1980 até sua projeção em 2003, constata-se que a IE apresenta tendência de queda em todos os mercados, significando que o desenvolvimento econômico ocorrerá mais rapidamente do que o aumento do consumo de energia.

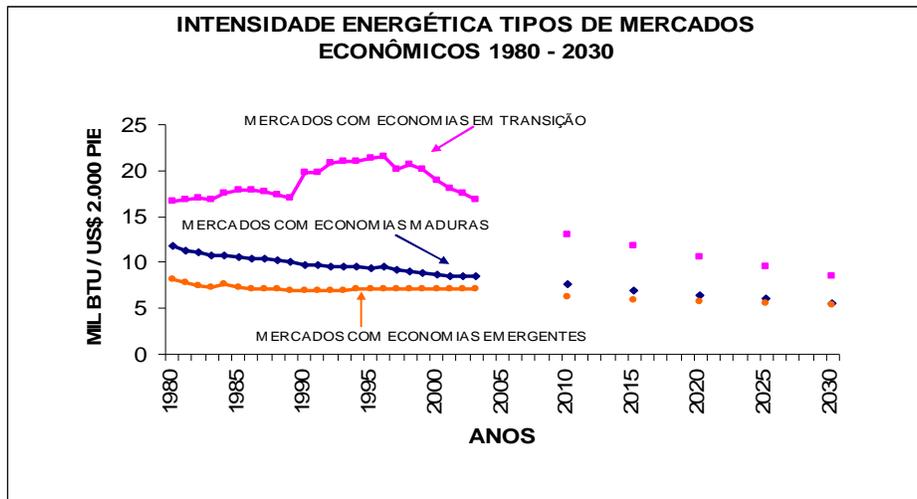


FIG. 3.7 – Intensidade energética

Conforme indicado na Figura 3.7, constata-se tendência de queda da IE em todos os três mercados.

4 DESENVOLVIMENTO E ENERGIA

A Matriz Energética representa as fontes de energia consumida por um país. Inclui a disponibilidade interna dessas fontes e de sua capacidade de obter, por qualquer que sejam os meios, fontes de energia externas às suas fronteiras. O conteúdo energético da matriz assim constituída será destinado ao suprimento das necessidades da sociedade, incluindo as atividades produtivas, e aquelas necessárias para o seu bem-estar e segurança.

A conversão das fontes de energia em formas de energia úteis está intrinsecamente ligada à atividade produtiva com a finalidade de agregar valor ao produto. Aí reside uma das bases de análise do desenvolvimento de um país, que pode pretender ter como produtos bens tangíveis ou bens intangíveis.

A entidade produtora pode ser qualquer, desde uma empresa de pequeno porte até um parque industrial ou a estrutura governamental de um país.

Usaremos para o estabelecimento de critérios de desenvolvimento que estimulam a atividade produtiva e, por conseguinte a demanda de energia, índices baseados na análise do sistema das Nações Unidas e o índice de avaliação de competitividade de uma instituição privada tradicional e conceituada.

4.1 INDICADORES DO SISTEMA DAS NAÇÕES UNIDAS

Serão apresentados os indicadores de desenvolvimento humano e índice de realização tecnológica, desenvolvidos pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).

4.1.1 IDH

O Índice de Desenvolvimento Humano – IDH é um índice composto que avalia a média de realizações em um país, em três aspectos básicos:

- Saúde – representada pela vida longa e saudável, medida pela expectativa de vida ao nascer.
- Conhecimento - medido pela taxa de alfabetização de adultos e pela quantidade de matrículas escolares no primeiro, segundo e terceiro graus.

- Renda – focada para representação do padrão de vida decente, medido pelo PIB per capita PPC, em dólares americanos.

O IDH abrange 177 países divididos em três grupos:

- Alto Desenvolvimento Humano: $0,963 \leq \text{IDH} \leq 0,801$
- Médio Desenvolvimento Humano: $0,799 \leq \text{IDH} \leq 0,505$
- Baixo Desenvolvimento Humano: $0,499 \leq \text{IDH} \leq 0,281$

4.1.2 TAI

O *Technology Achievement Index* – TAI é um índice que se procura indicar quão bem um país cria e difunde tecnologia, e constrói uma base que inclui a capacitação de seus recursos humanos.

Não é um índice que informa como o país está conduzindo o seu desenvolvimento tecnológico, mas sim de que maneira todo o país está participando na criação e no uso da tecnologia.

O TAI, conforme apresentado na Tabela 4.1, abrange quatro dimensões da capacidade tecnológica.

- 1) Criação de tecnologia: Nem todos os países precisam estar na vanguarda do desenvolvimento tecnológico, mas a capacidade inovadora é importante e constitui o mais alto nível da capacidade tecnológica.
- 2) Difusão das inovações recentes: Todos os países precisam adotar as inovações para se beneficiar das oportunidades do desenvolvimento tecnológico.
- 3) Difusão das inovações antigas: Considera o avanço tecnológico como um processo cumulativo.
- 4) Capacitação humana: Diariamente a tecnologia necessita de adaptabilidade, entendida como a habilidade para manter o fluxo constante das inovações. A base de tais habilidades está na educação para desenvolver habilidades cognitivas e assimilação de conhecimentos na ciência e na matemática.

Os indicadores empregados no cálculo do TAI são apresentados na Tabela 4.1. Quando foi apresentado pela primeira vez, em 2001, permitiu a avaliação completa para 72 países.

TAB 4.1 – Componentes e indicadores do TAI

COMPONENTE	INDICADOR
CRIAÇÃO DE TECNOLOGIA	Patentes concedidas per capita
	Recebimento de <i>royalties</i> e Taxas de licenças do exterior, per capita
DIFUSÃO DE INOVAÇÕES RECENTES	Usuários de Internet per capita
	Exportação de produtos com alta e média tecnologia, como parcela da exportação.
DIFUSÃO DE INOVAÇÕES ANTIGAS	Linhas telefônicas per capita (fixas e celulares)
	Consumo de eletricidade per capita
HABILIDADES HUMANAS	Escolaridade média em anos
	Total de estudantes do 3º grau matriculados em ciências matemáticas e engenharia

Fonte: Própria

Sua representatividade permitiu a classificação de quatro grupos de países com capacidades tecnológicas distintas:

- 1) Líderes tecnológicos (TAI > 0,50)
- 2) Potenciais líderes tecnológicos (0,35 < TAI ≤ 0,49)
- 3) Adaptadores de tecnologia (0,20 < TAI ≤ 0,34)
- 4) Marginalizados tecnologicamente (TAI ≤ 0,19)

Os relatórios de avaliação do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD, dos anos subsequentes, não apresentaram este índice e nem justificaram a sua exclusão.

4.2 SISTEMA IMD

O índice do *International Institute for Management Development* foi criado em janeiro de 1990, como sucessor de duas escolas de comércio independentes: IMI, fundada em *Geneva* pela ALCAN, em 1946, e a IMEDE, fundada em *Lausanne*, em 1957, pela NESTLÉ.

Toma por base uma análise das atividades nos países de maior representatividade econômica, realizada por diferentes institutos independentes

localizados nesses países e complementadas por estudos, também independentes, de cerca de 5 mil peritos. Usa para tal, indicadores objetivos e subjetivos.

As análises do IMD abrangem estratégia, estrutura e finanças, além de avaliar a área racional, como recursos humanos, cultura corporativa e comportamento dos consumidores. Considera que empresas e nações convivem em um mundo competitivo.

Fundamentalmente, o que diferencia a competitividade das nações e a competitividade das empresas é o local onde ocorre a criação do valor na sociedade.

O valor econômico é criado somente nas empresas, sejam privadas ou estatais. As nações não devem, e não conseguem gerar valor econômico adicional diretamente, mas podem estabelecer um ambiente que auxilie, ou não, as atividades empresariais, como por exemplo, disponibilizando energia elétrica para a atividade produtiva.

O IMD compreendendo 54 países estabelece quatro fatores de competitividade, os quais comportam 312 critérios.

DESEMPENHO ECONÔMICO 77 critérios	EFICIÊNCIA GOVERNAMENTAL 72 critérios	EFICIÊNCIA EMPRESARIAL 68 critérios	INFRA- ESTRUTURA 95 critérios
Economia Doméstica	Finanças Públicas	Produtividade	Infra-estrutura Básica
Comércio Internacional	Política fiscal	Mercado de Trabalho	Infra-estrutura Tecnológica
Investimento Internacional	Estrutura Institucional	Gerenciamento Financeiro	Infra-estrutura Científica
Emprego	Legislação Comercial	Atitudes e Valores	Saúde e Meio Ambiente
Preços	Estrutura Social		Educação

As avaliações apresentadas pelo IMD, ao considerar apenas os países mais representativos no mercado internacional, não permitem a introdução de indicadores às economias de países não incluídos, porém disponibiliza uma metodologia.

4.3 DESENVOLVIMENTO X ENERGIA

Tomando como referência o Índice de Desenvolvimento Humano, observamos:

- Nos países com Alto IDH estão todos aqueles que integram o Mercado de Economias Maduras e aqueles que priorizaram, em suas políticas, ações direcionadas ao desenvolvimento humano.
- Todos os países que integram a relação de Médio IDH ou são do Mercado de Economias Emergentes ou do Mercado de Economias em Transição.
- Os de Baixo IDH são países ainda no limiar do desenvolvimento humano.

As tabelas apontando a classificação dos países são apresentadas no Anexo 9.2.

4.3.1 PAÍSES COM ALTO IDH

Todos os 18 países Líderes e os 19 Potenciais Líderes possuem alto IDH, exceção à Malásia e Romênia que integram a lista dos países com Médio IDH.

Ordenando os países de Alto IDH por valor decrescente de consumo de energia elétrica, consta-se no gráfico da Figura 4.1, que há forte indicação de que os países com elevado IDH consomem mais energia elétrica per capita.

No eixo vertical da figura estão marcadas as classificações dos países segundo o índice pretendido, considerando classificada em primeiro lugar (escala 1) a Islândia e em último lugar do grupo, classificada na 52^a posição (escala 52), Cuba. No eixo horizontal, estão relacionados os países na ordem crescente dos respectivos consumos de energia elétrica, em kWh. Nessa formatação, para o grupo de alto IDH, Cuba é o país pior classificado e com o menor consumo de energia elétrica per capita, enquanto a Islândia, com o melhor IDH do grupo, possui o maior consumo de energia elétrica per capita.

Na figura observa-se as tendências de coincidência nos índices IDH e IMD, ressaltando a inter-relação entre o consumo de energia elétrica e o desempenho nas atividades produtivas traduzidas por estes dois índices, ao contrário do TAI, que possui conteúdo com maior intangibilidade.

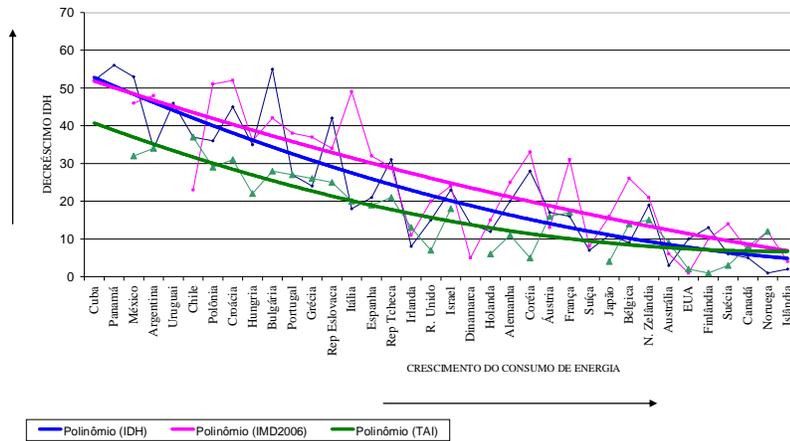


FIG. 4.1 – Consumo eletricidade X Posição países de alto IDH

A classificação pelo índice TAI coloca os países na categoria Líderes entre o 1º e o 18º lugares; entre o 19º e o 37º estão os países Potenciais Líderes; do 38º ao 63º os países são classificados como Adaptadores de Tecnologia. Constata-se que, enquanto os países Líderes estão totalmente inseridos no Alto IDH, os países Potenciais Líderes e Adaptadores de Tecnologia estão distribuídos entre esta classificação e a seguinte, Médio IDH.

4.3.2 PAÍSES COM MÉDIO IDH

Apresentado na Figura 4.2, verifica-se que, nessa faixa de classificação, o índice IDH representa melhor a tendência de consumo de energia elétrica do que os outros dois que apresentam distorções.

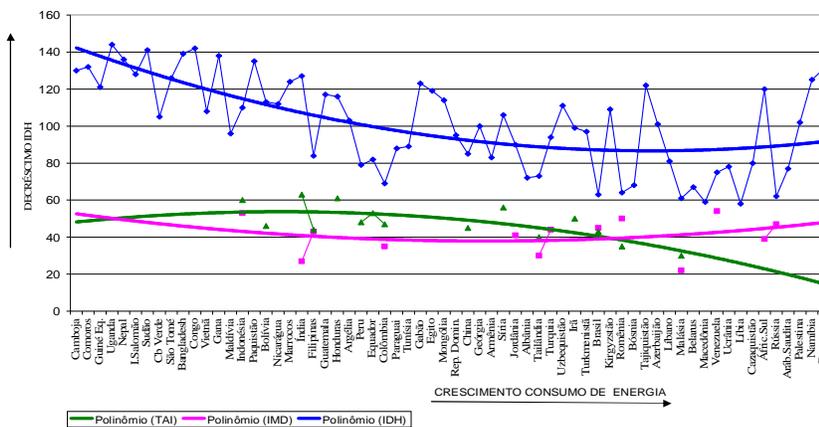


FIG. 4.2 - Consumo eletricidade X Posição países de médio IDH

4.3.3 PAÍSES COM BAIXO IDH

Não há países com índices TAI ou IMD na classificação Baixo IDH.

O gráfico demonstra que na faixa de Baixo IDH, variando entre 0,499 e 0,281, com os países classificados entre a 146^o e a 177^o posições, a correlação entre o IDH e o consumo de energia elétrica não é significativa, já que tanto a atividade produtiva como o uso de equipamentos voltados para o bem-estar social ou não existem ou são reduzidos ao mínimo.

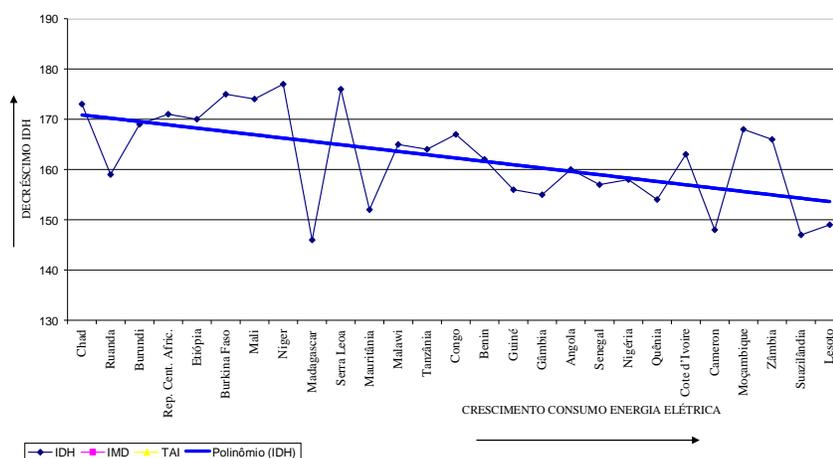


FIG. 4.3 - Consumo eletricidade X Posição países de baixo IDH

4.4 BRASIL: IDH X DESENVOLVIMENTO

O Brasil, no Relatório de Desenvolvimento Humano – RDH, de 2004, referente aos dados de 2002, ocupava a 72^a posição. Em 2005, os dados então disponíveis foram atualizados, permitindo rever o Índice de Desenvolvimento Humano – IDH, fazendo com que a posição do país fosse reavaliada para o 63^o lugar. Nesse ano, o Brasil permaneceu na mesma posição, embora o IDH tenha aumentado de 0,25% (Tabela 4.2).

TAB. 4.2 – RDH 2004 e 2005

RDH	POSIÇÃO	EXPECTATIVA DE VIDA	TAXA DE ALFABETIZAÇÃO	TAXA DE MATRÍCULA	PIB PER CAPITA (PPC US\$)	IDH
2004	63 ^o	70,2 anos	88,4%	90%	7918	0,790
2005	63 ^o	70,5 anos	88,4%	91%	7790	0,792

Embora permanecendo na mesma 63^a posição, o IDH melhorou de 0,790 para 0,792, em decorrência de maior expectativa de vida e aumento da taxa de matrículas. No entanto, houve diminuição na renda per capita.

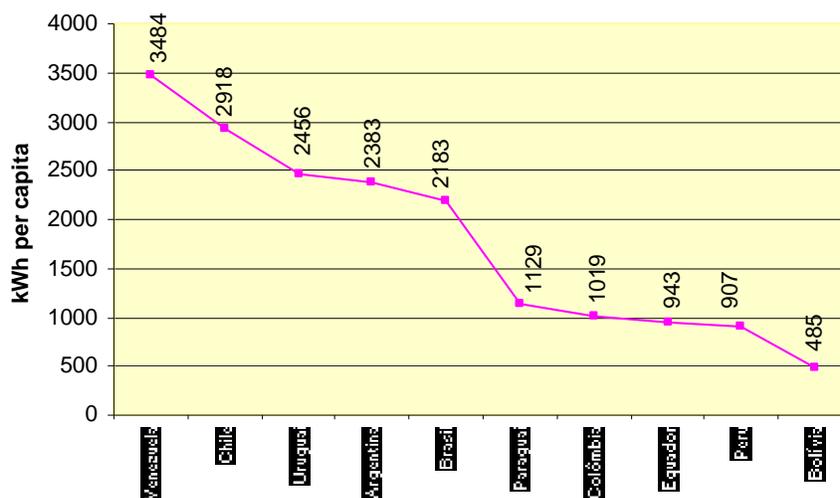


FIG. 4.4 – Consumo de eletricidade per capita, países sul-americanos.

O Brasil possuía no ano de 2003, a população de 181,4 milhões de pessoas, de acordo com o RDH 2005. O crescimento populacional é projetado para 209,4 milhões de pessoas em 2015, de acordo com a mesma fonte.

Tomando como base a energia necessária para que o Brasil saia da 63^a posição, na classificação do IDH, e se situe próximo da 34^a posição, atualmente ocupada pela Argentina, isto é, acresça o montante de 200 kWh per capita, será necessário aumentar à sua disponibilidade de consumo o total de 5,6 bilhões de kWh no período de 12 anos (Figura 4.4).

Na busca de fontes de energia capazes de atender esse acréscimo a Tabela 4.3 mostra as fontes de geração de energia elétrica no Brasil, em 2004.

TAB. 4.3 – Fontes de geração de energia elétrica - Brasil

POSIÇÃO BRASILEIRA NO MONTANTE DE ENERGIA ELÉTRICA GERADA – MUNDO 2004	FONTES				TOTAL (Bilhões kWh)
	TÉRMICA	HIDRELÉTRICA	NUCLEAR	RENOVÁVEIS	
10ª	26,68	302,56	13,40	15,97	358,61

Fonte: Energy Information Administration

A opção térmica tem como desvantagens a perenidade do petróleo, o custo de implantação de usinas a carvão e as dificuldades atuais por que passa a aquisição de gás natural de mercados externos. Espera-se que as recentes descobertas brasileiras de gás natural contribuam para o aumento da geração térmica.

Também são impostas restrições pelos passivos ambientais gerados, acrescido pela longa maturação para implantação de obras de porte para a geração hidrelétrica, limitada ainda pelas distâncias entre o local de geração e a área de consumo, impondo pesados custos para a transmissão, A hidroeletricidade poderá absorver apenas parte da necessidade através da implantação do programa de PCH, da Agência nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

As fontes de energia renováveis estão restritas a pequena contribuição devido à necessidade de grandes áreas (biomassa) e custos para as linhas de transmissão, acrescido das dificuldades técnicas no armazenamento de grandes blocos de carga (eólica e solar). Resta como fonte possível, no curto prazo, a energia nuclear, embora com as restrições impostas pelos ambientalistas aos rejeitos das usinas.

4.5 BRASIL, CHINA, ÍNDIA – CONSUMO DE ENERGIA

Os dados mostrados abaixo consideram o último ano em que todos os cinco indicadores apresentados estão disponíveis no *World Development Bank – WDI 2005*: população, PIB, consumo de energia primária e produção de eletricidade. As Tabelas 4.4 e 4.5 apresentam os valores absolutos e os valores relativos desses indicadores para o Brasil, China, Índia e mundo.

TAB. 4.4 – Indicadores Brasil, China, Índia – valores absolutos.

	População (milhões)	PIB (bilhão de dólar)	Consumo de energia primária (kg de óleo equivalente per capita)	Produção de eletricidade (GWh)	Produção de eletricidade (kWh per capita)
Brasil	174,5	460,8	1,1	344,6	1.975,0
China	1.280,4	1.271,0	1,0	1.640,0	1.281,0
Índia	1.048,6	510,2	0,5	596,5	569,0
Mundo	6.199,7	32.492,3	1,7	16.010,0	2.583,0

Fonte: WDI 2005

TAB. 4.5 - Indicadores Brasil, China, Índia – percentuais do mundo.

	População	PIB	Consumo de energia primária per capita	Produção de eletricidade	Produção de eletricidade per capita
Brasil	2,8	1,4	64,3	2,2	76,5
China	20,7	3,9	56,5	10,2	49,6
Índia	16,9	1,6	30,2	3,7	22,0
Mundo	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: WDI 2005

Constata-se que esses três países, com 40,4% da população do mundo, participavam, em 2002, com apenas 6,9% do PIB mundial. Verifica-se também que seus consumos de energia primária per capita foram, respectivamente, 64%, 56% e 30% da energia primária per capita do mundo, e 77%, 50% e 22% da eletricidade per capita mundial.

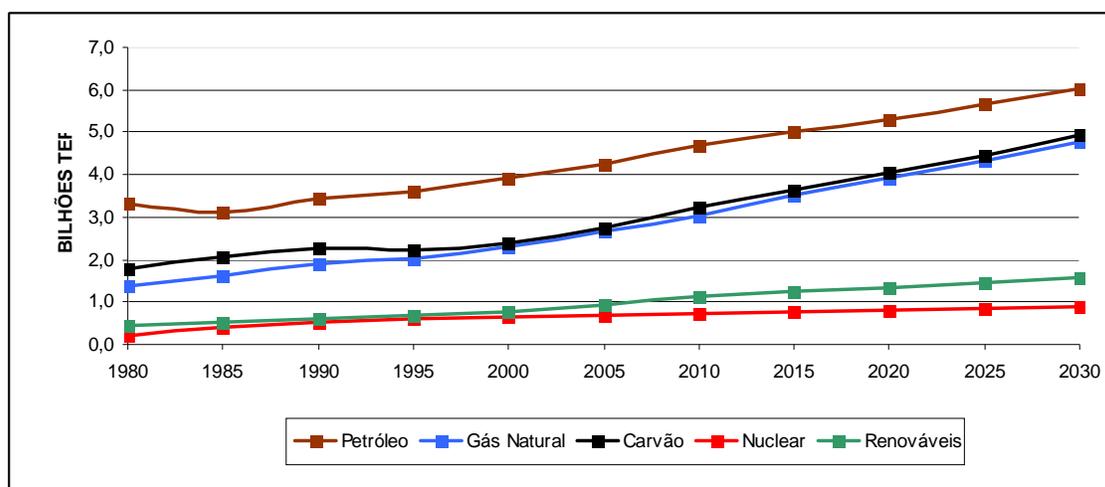
Supondo que esses três países emergentes continuem com seus programas sócio-econômicos, aumentando suas participações no mercado internacional, é de fácil constatação que haverá uma considerável demanda de energia primária nos próximos anos, em particular de eletricidade, evidenciada pelo desenvolvimento da China e da Índia.

5 FONTES DE ENERGIA

A oferta de energia sofre influência de vários fatores, dentre os quais se destacam a disponibilidade de fontes de energia e demanda do mercado.

A existência de energéticos para lastrear as necessidades de um país depende da disponibilidade de reservas internas às suas fronteiras ou de áreas onde o país exerça domínio político ou econômico. Observando as séries históricas mundiais de produção e consumo, verifica-se que sempre a produção de energéticos esteve casada com as necessidades de consumo.

A utilização comercial das fontes de energia é função do mercado no período estudado. Determinada fonte cuja exploração se mostre inviável poderá, em decorrência da alta de preços para a sua aquisição ou da necessidade de substituição por outros energéticos, ou ainda pelo desenvolvimento de nova tecnologia mais barata, despertar o interesse comercial no mercado para a sua exploração e comercialização. Assim, é aconselhável que o estudo da disponibilidade de fontes de energia seja realizado sob a óptica desse mercado através do tipo de combustível.



Fonte: IEO2006

FIG. 5.1 – Mercado mundial de energia, por combustível.

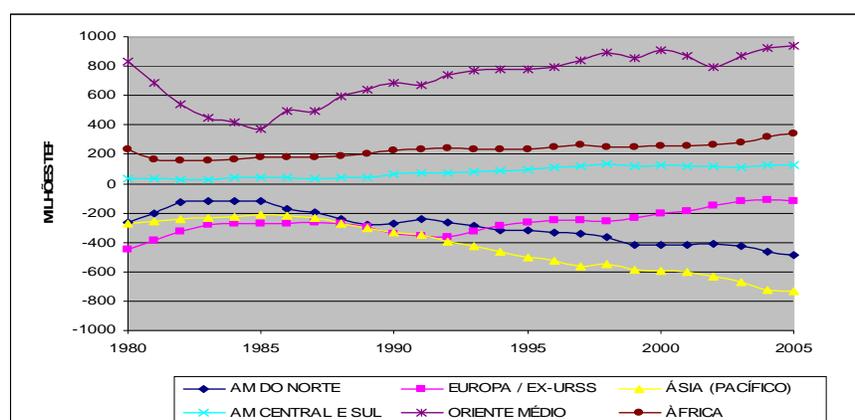
Observando a Figura 5.1, que apresenta uma série histórica do consumo mundial com projeção até 2030, feita pela IEA (2006), constata-se que, ao longo de todo o período estudado, o petróleo permanecerá como o energético mais consumido, com

aumento médio anual de 1,45%, equivalente a 39 milhões de barris por dia, seguido pelo gás natural, com taxa de crescimento médio anual no período de 2,43%.

Constata-se ainda que o resultado apresentado pelas energias renováveis deve-se a inclusão da geração hidrelétrica nessa fonte.

5.1 PETRÓLEO

No mundo existem regiões produtoras (produzem mais do que consomem) e regiões consumidoras (consomem mais do que produzem) de petróleo.



Fonte: British Petroleum 2005

FIG. 5.2 – Países produtores e consumidores de petróleo

A Figura 5.2 apresenta as curvas de consumo das regiões produtoras - América Central e Sul, Oriente Médio e África – representadas no lado positivo do eixo vertical, e das regiões consumidoras – América do Norte, Europa e Ex – URSS e Ásia (Pacífico) – indicadas no trecho negativo do eixo vertical. Os dados, avaliados em milhões de tep, foram obtidos da British Petroleum, edição 2005.

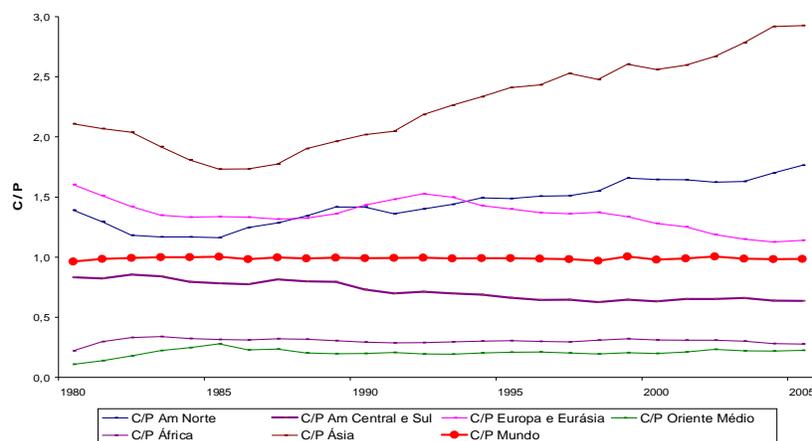
Analisando as curvas de produção e de consumo do petróleo dentro das regiões sugeridas, constatamos que, embora cada região mantenha o seu perfil de produção ou de consumo, no contexto mundial a soma algébrica anual das tep produzidas e consumidas tende a aproximar-se de zero. Isso indica um processo de auto-regulação do mercado de produção e de consumo que ocorre de tal forma que sempre haja pequeno excedente na produção de petróleo, evitando *déficit* no consumo, verificável pela soma algébrica dos milhões de tep das regiões consumidoras e produtoras, indicadas na Tabela 5.1.

TAB. 5.1 – Balanço produção e consumo de petróleo, por região.

PERÍODO	SALDO EM MILHÕES TEP REGIÕES CONSUMIDORAS			SALDO EM MILHÕES TEP REGIÕES PRODUTORAS		
	AMÉRICA DO NORTE	EUROPA / Ex-URSS	ÁSIA (PACÍFICO)	AMÉRICA CENTRAL E SUL	ORIENTE MÉDIO	ÁFRICA
1980	262,2	450,8	270,1	32,3	832,5	234,2
1985	118,9	271,9	210,7	41,0	372,4	178,9
1990	273,8	340,6	331,5	61,5	683,3	227,1
1995	314,8	267,5	499,5	99,2	775,4	235,6
2000	420,6	203,2	595,2	127,1	911,7	256,8
2005	490,1	118,3	735,2	127,3	936,8	337,8

Fonte: British Petroleum

Os preços do petróleo, praticados em 2006, estimularam a exploração de outras fontes deste energético, consideradas não convencionais, como Alberta, no Canadá, com potencial de reservas próximo ao da Arábia Saudita, e preço aproximado de US\$ 23 por barril (www.energy.gov.ab.ca).



Fonte: British Petroleum 2005

FIG. 5.3 – Relação entre consumo / produção, petróleo.

Na Figura 5.3, observa-se que a relação entre oferta e demanda de petróleo é praticamente nula, de tal forma que a fração Consumo/Produção, para o mundo, se aproxima da unidade.

Observando o mapa da Figura 3.2, verifica-se que as regiões produtoras coincidem com as regiões de mercados de economias emergentes.

A conclusão, com os dados disponíveis até 2006, baseado na vida útil de suas respectivas reservas, é que o número de Estados produtores de petróleo irá diminuir, aumentando a possibilidade de formação de cartéis.

5.1.1 PETRÓLEO NO BRASIL

Da descoberta do primeiro campo de petróleo considerado comercialmente viável no Brasil, em 1941 no município de Candeias (BA), até os dias atuais, o país ampliou suas reservas provadas com estratégia, dedicação e profundo conhecimento desenvolvido internamente.

Em 1979, a produção brasileira de petróleo era de 172 mil barris por dia. Já em 1995, a produção era de 718 mil barris por dia, justificando o esforço nacional de redução do déficit. Em 1995 o Brasil possuía 6,2 bilhões de barris, correspondentes a 0,60% das reservas provadas no mundo. Entre 1995 e 2004 o país fez crescer suas reservas em 6,79%, correspondentes a 0,94% das reservas provadas de petróleo no mundo, situando-se na 17^a posição.

TAB. 5.2 - Reservas provadas de petróleo, no mundo

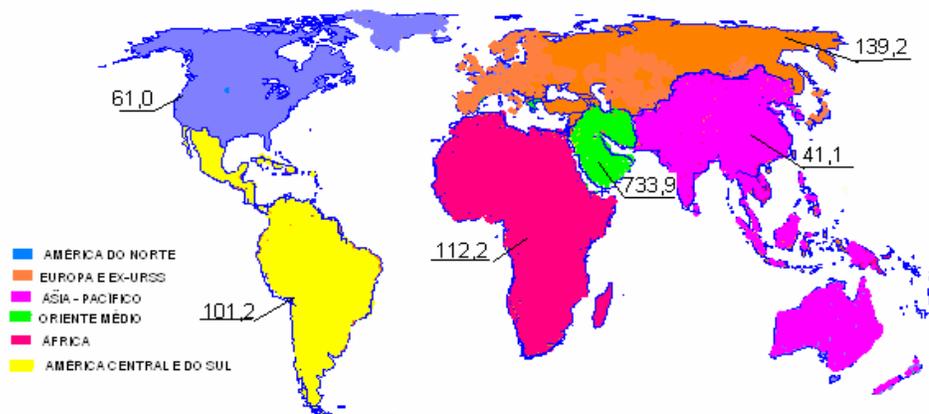
CLASSIFICAÇÃO	PAIS	% SOBRE TOTAL MUNDO	REGIÃO
1	Arábia Saudita	22,10	Oriente Médio
2	Irã	11,14	Oriente Médio
3	Iraque	9,67	Oriente Médio
4	Kuwait	8,33	Oriente Médio
5	Emirados Árabes Unidos	8,23	Oriente Médio
6	Venezuela	6,49	Am. Central / Sul
7	Federação Russa	6,08	Europa / Ex-URSS
8	Cazaquistão	3,33	Europa / Ex-URSS
9	Líbia	3,29	África
10	Nigéria	2,97	África
11	Estados Unidos	2,47	Am. Norte
12	China	1,44	Ásia Pacífico
13	Canadá	1,41	Am. Norte
14	Qatar	1,28	Oriente Médio
15	México	1,25	Am. Norte
16	Argélia	0,99	África
17	Brasil	0,94	Am. Central / Sul

Fonte: Anuário estatístico ANP 2005

Na Tabela 5.2 não estão incluídas as reservas das areias oleoginosas de Alberta, no Canadá. Caso incluídas essas reservas, este país ascenderia da 13^a posição para a 2^a posição na classificação mundial.

Na Figura 5.4, pode-se observar que mais da metade das reservas provadas de petróleo, proveniente de fontes tradicionais, encontra-se no Oriente Médio, com 61,70% do total mundial. É essa região, encravada entre a África, Ásia Pacífico e Europa / Ex-União Soviética, que desperta os interesses dos países que não dispõem de reservas provadas de petróleo suficientes para suprir as suas necessidades.

Considerando os quatro fatores básicos do comércio de petróleo - reservas, transporte, refino e mercado – é interessante destacar, ainda na Figura 5.4, que os Estados Unidos, apesar de situado na 11^a posição, participando com 2,47% do total das reservas do mundo, apresentou capacidade de refino cerca de 20 milhões de barris por dia, representando 20,15% da capacidade mundial, em 2004, segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP.



Fonte: Anuário estatístico ANP 2005
Disponível em http://www.anp.gov.br/conheca/anuario_2005.asp [capturado em 14 outubro 2006]

FIG. 5.4 – Reservas provadas de petróleo 2005, por região (bilhões de barris)

No Brasil a opção pelo monopólio na exploração do petróleo foi consolidada no texto da Lei n^o. 2004, de 3 de outubro de 1953, que também criou a Petróleo Brasileira S. A. – PETROBRÁS, dando-lhe as atribuições estatais de pesquisar,

lavar, refinar e transportar o petróleo e seus derivados. São essas atividades que transformam o óleo disponível na natureza em bens comerciais de grande valor.

Os recursos do Estado foram essenciais para o desenvolvimento da pesquisa e produção de petróleo no Brasil, uma vez que a poupança era, e é, reduzida e existiam outras fontes mais promissoras no mundo para investimento.

No início de sua existência a PETROBRÁS estabeleceu como metas: aumentar a produção, ampliar o parque de refino, melhorar a capacidade de transporte, incrementar a pesquisa e formar e especializar o corpo técnico. Com essas políticas, o país viu crescer a produção de petróleo de 2,7 mil barris por dia, em 1953, para 65 mil barris por dia, ao fim dos anos 50.

Os dois choques do Petróleo (1973 e 1979) impulsionaram o Brasil na busca de opções que permitissem manter em funcionamento sua indústria e sua frota automotiva, principais usuárias do petróleo.

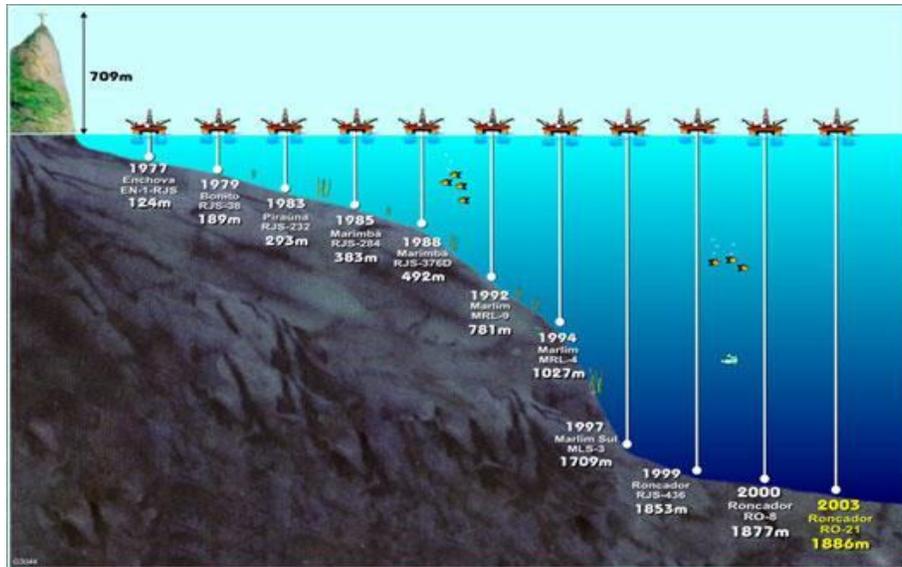
A intensa pesquisa por novos campos petrolíferos levou a PETROBRÁS para a plataforma continental, criando o Programa de Inovação Tecnológica e Desenvolvimento Avançado em Águas Profundas, para viabilizar a produção de óleo e gás em profundidades superiores a 1000 metros, mais tarde estendidos para 2000 metros, e posteriormente para 3000 metros.

Em 1997 foi promulgada a lei nº 9.478 / 1997, criando a Agência Nacional do Petróleo (ANP) e o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), surgindo a figura do monopólio flexibilizado.

“Art.23. As atividades de exploração, desenvolvimento e produção de petróleo e gás natural, serão exercidas mediante contratos de concessão, precedidos de licitação, na forma estabelecida nesta lei.”

Neste mesmo ano foi superada a marca de produção de 1 milhão de barris de petróleo por dia.

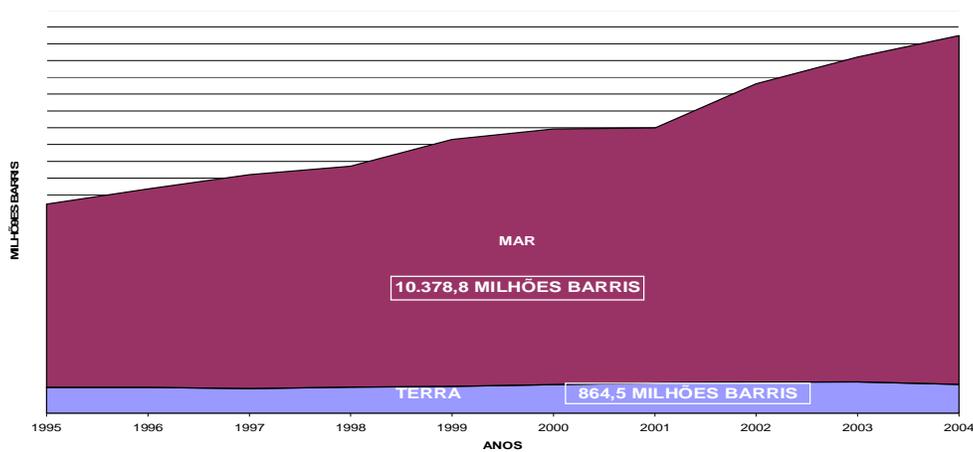
A meta de prospecção em águas ultra-profundas permitiu ao Brasil possuir hoje mais de 65% de blocos exploratórios na plataforma continental, em profundidades superiores a 400 metros. É importante destacar que esse sucesso deveu-se ao desenvolvimento tecnológico brasileiro capacitando, através da robótica, a trabalhar em lâminas de água superiores a 300 metros, limite de mergulho humano, conforme esquematizado na Figura 5.5.



Fonte: Petrobrás
 Disponível: http://www2.petrobras.com.br/portal/frame.asp?pagina=/Petrobras/portugues/plataforma/pla_aguas_profundas.htm
 [capturada em 11 abril 2006]

FIG. 5.5 - Evolução da profundidade de pesquisa exploratória de petróleo no mar - Brasil

A Figura 5.6 mostra que no ano de 1995 as reservas provadas dos campos petrolíferos terrestres eram de 771,7 milhões de barris contra 5.451,4 milhões de barris localizados nos campos da plataforma continental; no ano de 2005 o Brasil chegou às reservas provadas de 864,5 milhões de barris em terra e 10.378,8 milhões de barris no mar, representando crescimento de 1,27% nos campos terrestres e 7,42% nos campos marítimos (ANP).



Fonte: Anuário estatístico ANP 2005 – Tabela 2.2
 Disponível em http://www.anp.gov.br/conheca/anuario_2005.asp#secao_2 [capturada em 12 abril 2006]

FIG. 5.6 – Reservas provadas de petróleo, Brasil, terra e mar, 2005.

Acompanhando o desenvolvimento das reservas provadas, de acordo com a Figura 5.7, verifica-se que elas aumentaram anualmente 6,79% entre 1995 e 2004, a produção cresceu a uma taxa de 8,87% por ano no mesmo período, saindo de 251,7 milhões de barris/ano, em 1995, para 540,7 milhões de barris/ano em 2004.

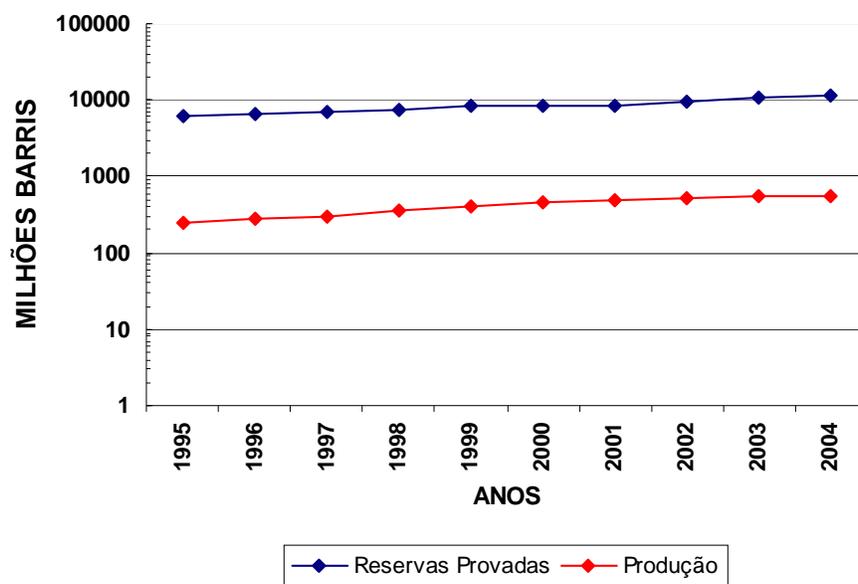


FIG. 5.7 - Reservas provadas X Produção petróleo, Brasil.

O óleo extraído do poço não tem aplicação direta. A sua utilização ocorre por meio de seus derivados - gás liquefeito de petróleo, gasolinas, nafta, óleo diesel, querosenes, óleos combustíveis, asfaltos, lubrificantes, solventes, parafinas, coque – obtidos em refinarias.

A política de intensificar o desenvolvimento do refino, estabelecida na década de 50, mudou a composição das parcelas das compras externas, que passaram de 98% de derivados e 2% de óleos crus, adquiridos em 1953, para 8% de derivados e 92% de petróleo cru, comprados em 1967 (ANP).

No ano de 2004, o Brasil situou-se na 14ª posição no mundo, por capacidade total de refino de 2,26 milhões de barris por dia.

Considerando que a produção nacional de petróleo foi de 540,7 milhões de barris/ano em 2004 e a capacidade de refino anualizada foi de 698,4 milhões de barris/ano, valor obtido a partir da capacidade de refino diária, indicada na Tabela

5.3, constata-se que o Brasil possuía folga na sua capacidade instalada de refino (2004) em cerca de 30%.

TAB. 5.3 – Capacidade total de refino de petróleo, Mundo 2004

Classificação	País	Milhão barris / dia	Região
1	Estados Unidos	20,15	Am. Norte
2	Emirados Árabes Unidos	9,73	Oriente Médio
3	China	6,88	Ásia Pacífico
4	Federação Russa	6,40	Europa / Ex-URSS
5	Japão	5,35	Ásia Pacífico
6	Coréia do Sul	3,07	Ásia Pacífico
7	Índia	2,97	Ásia Pacífico
8	Alemanha	2,74	Europa
9	Bélgica	2,74	Europa
10	Itália	2,71	Europa
11	Arábia Saudita	2,43	Oriente Médio
12	França	2,34	Europa
13	Canadá	2,31	Am. Norte
14	Brasil	2,26	Am. Central / Sul

Fonte: Anuário estatístico ANP 2005

5.2 GÁS NATURAL

O petróleo não se encontra, normalmente, em lençóis ou bolsões subterrâneos, mas nos poros ou fraturas das rochas. Ele migra através das rochas porosas e permeáveis em direção às áreas com menor pressão, até encontrar uma camada impermeável que bloqueia o escapamento para a superfície (rochas selantes ou trapas). Nesses depósitos naturais, o gás fica retido nas partes mais altas e o óleo nas partes mais baixas; é o gás associado, encontrado em reservatórios petrolíferos, dissolvido no óleo, sob a forma de capa de gás.

O gás também pode ser encontrado em reservatórios gaseíferos sem estar em contato com quantidades significativas de óleo, quando é chamado gás não-associado. Ambos são conhecidos como gás natural – GN.

Esse gás, que era queimado, passou a ser utilizado como combustível alternativo durante as crises internacionais, quando os preços do petróleo atingiram níveis elevados. Emitindo menos gases poluentes do que o petróleo durante a queima, o GN encontrou diversas aplicações em todos os setores da sociedade.

a) No Setor Industrial: É ideal para processos que exigem a queima em contato direto com o produto final, garantindo a qualidade de acabamento, como por exemplo, na fabricação de cerâmica branca, cimento e vidro.

- Na siderurgia, atua como redutor na fabricação de aço.

- Na petroquímica, fornece matéria-prima para a produção do álcool metanol e amônia e uréia, na indústria de fertilizantes.

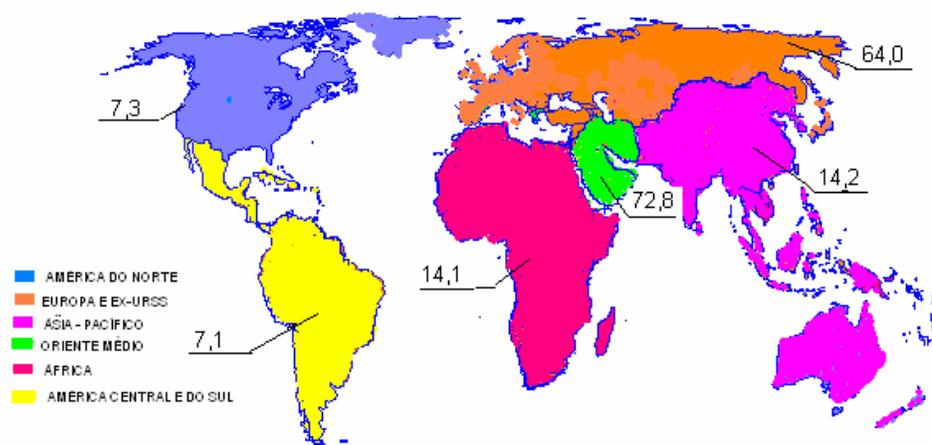
- Na atividade petrolífera, é utilizado na recuperação do óleo que não conseguiu ser extraído nas operações de produção primária.

b) Nos Setores Residencial e Comercial: É utilizado na cocção de alimentos, geração de calor, eletricidade e força motriz.

c) No setor de Transporte: É conhecido como Gás Natural Veicular – GNV, sendo usado praticamente em toda a frota automotiva, possuindo excelentes qualidades energéticas.

No mundo as maiores reservas provadas, à semelhança do petróleo, localizam-se no Oriente Médio e na Europa / Ex-URSS, representando 76,21% do total.

Certamente parte da explicação dos movimentos belicistas, que atualmente ocorrem no Oriente Médio, deve ser encontrada na localização geográfica das reservas de petróleo e gás natural, em relação aos grandes necessitados por fontes de energia: Estados Unidos, China e Índia, conforme Figura 5.8.



Fonte: Anuário estatístico ANP 2005

FIG. 5.8 - Localização das reservas provadas de gás natural, Mundo 2004 (trilhões m³)

Comparando as reservas provadas com a produção em cada região, apenas a Europa / Ex-URSS encontra-se em posição privilegiada por possuir a segunda maior reserva e ser a mais importante produtora de GN. Destaque deve ser dado à região da América do Norte, que possuindo a penúltima reserva provada no mundo, situa-se como a segunda maior produtora, observado na Figura 5.9.

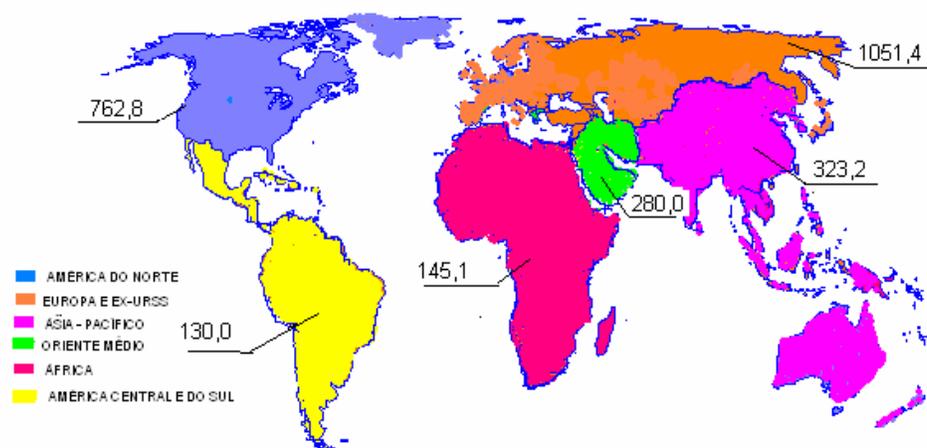


FIG. 5.9 – Produção de gás natural, Mundo 2004 (bilhões m³)

5.2.1 GÁS NATURAL NO BRASIL

O Brasil não possui grande reserva de gás natural, situando-se na 41^a posição no mercado internacional com apenas 0,33 trilhões de metros cúbicos, em reservas provadas, conforme apresentado na Tabela 5.4. Em decorrência de política estabelecida, que incentivou o seu uso na indústria e no transporte, o gás é comprado em outros países. Isto torna este energético problemático em termos estratégicos, embora tecnicamente seja uma excelente solução.

TAB. 5.4 – Reservas provadas de gás natural, Mundo 2004

Trilhões de m ³						
1	Rússia	48,00	Austrália	2,46	Paquistão	0,80
2	Irã	27,50	Noruega	2,39	Argentina	0,61
3	Qatar	25,78	China	2,23	Reino Unido	0,59
4	Arábia Saudita	6,75	Uzbequistão	1,86	Trinidad e Tobago	0,53
5	Emirados Árabes Unidos	6,06	Egito	1,85	Mianmar	0,53
6	Estados Unidos	5,29	Canadá	1,60	Iêmen	0,48
7	Nigéria	5,00	Kuwait	1,57	Bangladesh	0,44
8	Argélia	4,55	Holanda	1,49	Tailândia	0,43
9	Venezuela	4,22	Líbia	1,49	Papua Nova Guiné	0,43
10	Iraque	3,17	Azerbaijão	1,37	México	0,42
11	Cazaquistão	3,00	Ucrânia	1,11	Síria	0,37
12	Turkmenistão	2,90	Omã	1,00	Brunei	0,34
13	Indonésia	2,56	Índia	0,92	Brasil	0,33
14	Malásia	2,46	Bolívia	0,89	MUNDO	179,53

Fonte: Anuário estatístico ANP 2005

No Brasil, entre 1995 e 2004, as reservas provadas em terra diminuíram 2,31%, enquanto no mar aumentaram 8,92%. Partindo de um total de 207,9 bilhões de metros cúbicos, atingiu no final do período 326,1 bilhões de metros cúbicos. A produção de GN de campos terrestres, entre 1995 e 2004, teve um aumento de 11,54%, enquanto de origem marítima o aumento foi de 6,64%.

As Tabelas 5.5 e 5.6 permitem que, analisando o consumo de petróleo e gás natural por seus usos finais no Brasil, dentro do cenário de referência até o ano de 2030, verificar-se que é projetado pelo IEO (2006) o consumo do petróleo sofrer incremento médio de 1,60%, enquanto o consumo do gás natural aumentará em média 3,04%, ambos entre os anos de 2003 e 2030.

TAB. 5.5 – Consumo de petróleo por uso final, Brasil

Mil barris / dia						
Uso Final	2003	2010	2015	2020	2025	2030
Residencial	150	200	200	250	250	300
Comercial	50	50	50	50	50	50
Industrial	800	950	1050	1200	1300	1350
Transporte	1150	1250	1300	1350	1450	1600

Fonte: IEO2006

TAB. 5.6 – Consumo de gás natural por uso final, Brasil

Bilhões de m ³ / ano						
Uso Final	2003	2010	2015	2020	2025	2030
Residencial	0	0	0	0	0	0
Comercial	0	0	0	0	0	0
Industrial	10,75	13,44	16,12	16,12	18,81	21,50
Transporte	0	0	0	0	2,78	2,68

Fonte: IEO2006

Deve ser destacado que as reservas provadas brasileiras, em 2004, de petróleo e gás natural têm duração de 20,7 anos e 27,7 anos, respectivamente, mantidas as produções atuais, o que sugere a procura de novas fontes de energia, principalmente para o setor industrial e para o setor de transporte.

5.2.2 GERAÇÃO TERMELÉTRICA A GÁS NATURAL

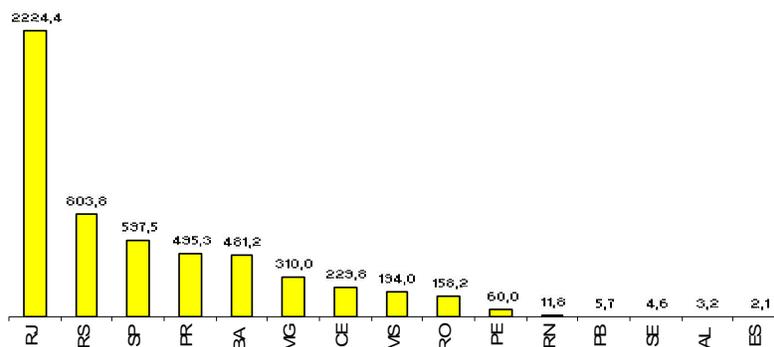
A geração de energia elétrica a gás natural é realizada pela queima do gás combustível em turbinas a gás, cujo desenvolvimento ocorreu por volta de 1980.

Atualmente as maiores ultrapassam 300 MWe de potência com rendimento superior a 40%.

Com a redução dos melhores potenciais hidráulicos e a construção do gasoduto Brasil – Bolívia, o gás natural tornou-se uma alternativa importante para a expansão da capacidade de geração de energia elétrica no Brasil. Nesse contexto, foi criado o Plano Prioritário de Termelétricas (PPT), pelo Decreto n.º 3.371, de 24 de fevereiro de 2000.

Em setembro de 2003, existiam 56 centrais termelétricas a gás natural operando no Brasil, com potência total de 5.581 MW, muitas para auto-produção, atendendo simultaneamente as necessidades de calor e potência elétrica (co-geração).

A concentração, por estado, da potência gerada em usinas termelétricas a gás natural, em setembro de 2003, pode ser visualizada na Figura 5.10, a seguir.



Fonte: Atlas de Energia Elétrica – ANEEL – 2ª Edição. 2005

FIG. 5.10 - Termelétricas a gás natural existentes. Brasil, Set. 2003

Nessa mesma época estava previsto inserir no sistema mais 14.170 MW, de usinas termelétricas a gás natural, em construção e outorgadas.

A opção pelo gás combustível, desejada por grande parte dos consumidores, está condicionada à existência de dutos para que o energético chegue até as usinas, e a construção e operação segura desses gasodutos depende de políticas públicas.

Constata-se que a quase totalidade das usinas existentes está em estados por onde passam dutos operados pela Petrobrás.

5.3 CARVÃO

O carvão depois do petróleo é o energético mais utilizado no mundo, cujo consumo dobrará entre 2003 e 2030, segundo o *International Energy Outlook 2006* (IEO2006).

Utilizando os critérios de regionalização das economias, estabelecidos anteriormente, através dos mercados de economias maduras, economias em transição e economias emergentes, podemos visualizar o comportamento do consumo desse energético.

Pela Tabela 5.7, o comportamento do consumo em cada mercado, medido até o ano de 2003 e projetado dessa ano até 2030, é sempre crescente, exceção ao período entre 1990 e 2002 nos países integrantes da Ex-URSS, quando as mudanças políticas ocorridas acarretaram a redução.

TAB. 5.7 – Consumo de carvão por região

Milhões de toneladas							
Anos	Mercado de Economias Maduras		Mercado de Economias em Transição		Mercado de Economias Emergentes		Total Mundo
	Consumo	% Mundo	Consumo	% Mundo	Consumo	% Mundo	
1990	2551	48,5	1028	19,5	1690	32,0	5269
2002	2442	46,5	530	10,0	2278	43,5	5250
2003	2476	45,5	543	10,0	2421	44,5	5440
2010	2680	38,5	595	8,5	3681	53,0	6956
2015	2774	35,5	668	9,0	4350	55,5	7762
2020	2938	34,0	736	8,5	4968	57,5	8642
2025	3175	33,2	796	8,3	5587	58,5	9558
2030	3436	32,5	856	8,1	6269	59,4	10561

Fonte: IEO2006

No entanto, se desta tabela forem extraídos os incrementos de consumo ocorridos em cada intervalo de tempo indicado, verificar-se-á, de acordo com a Tabela 5.8, que estes incrementos sofrem variações dentro de cada mercado.

TAB. 5.8 – Incremento percentual no consumo de carvão

ANOS	MERCADO ECONOMIAS MADURAS	MERCADO ECONOMIAS EM TRANSIÇÃO	MERCADO ECONOMIAS EMERGENTES	TOTAL MUNDO
1990	1	1	1	1
2002	- 0,36	- 5,37	2,52	- 0,03
2003	1,39	2,45	6,27	3,61
2010	1,13	1,31	6,61	3,57
2015	0,69	2,34	3,39	2,29
2020	1,15	1,95	2,69	2,09
2025	1,56	1,58	2,37	2,03
2030	1,59	1,46	2,33	2,01

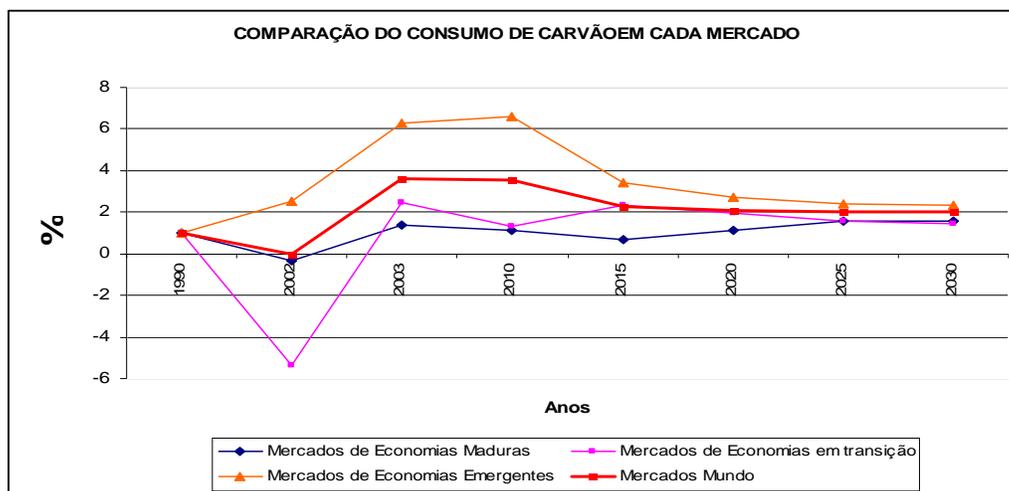
Fonte: IEO2006

As variações no consumo do carvão, até 2030, nos mercados de economias maduras, em transição e emergentes, podem ser visualizadas na Figura 5.11.

O incremento do consumo mundial de carvão, conforme Tabela 5.8, tende a se estabilizar no patamar de 3,5% em 2010, decaindo para o nível de 2%, junto com o consumo do mercado de economias emergentes. Essa característica está relacionada com a assimilação de novas tecnologias para seqüestro do carbono emitido pelo uso do carvão e de outras fontes energéticas.

O mercado de economias maduras apresenta o perfil conservador de consumo motivado pela geração e imediata utilização dessas novas tecnologias.

O mercado de economias em transição apesar de sofrer forte oscilação de consumo na década de 90, tende a estabilizar seu consumo no padrão mundial.



Fonte: IEO2006

FIG. 5.11 – Incremento percentual de consumo de carvão

5.3.1 CARACTERÍSTICAS DO CARVÃO

Os diferentes tipos de carvão, e suas características, definem os empregos mais prováveis.

A utilização do energético carvão está condicionada a algumas características próprias:

- i. Poder calorífico.
- ii. Teor de enxofre.
- iii. Teor de cinzas.

Em função dessas características o carvão é qualificado, dependendo da localização das jazidas, em quatro categorias decrescentes:

1. Betuminoso.
2. Antracito.
3. Sub-betuminoso.
4. Linhito.

O carvão tem então o seu uso direcionado para dois segmentos:

1. indústrias metalúrgicas e siderúrgicas;

2. geração de energia elétrica

Na Figura 5.12 é representado esquematicamente os dois usos do carvão – metalurgia / siderurgia e geração de energia elétrica –, cada um definido pelo seu Poder Calorífico Superior (PCS).

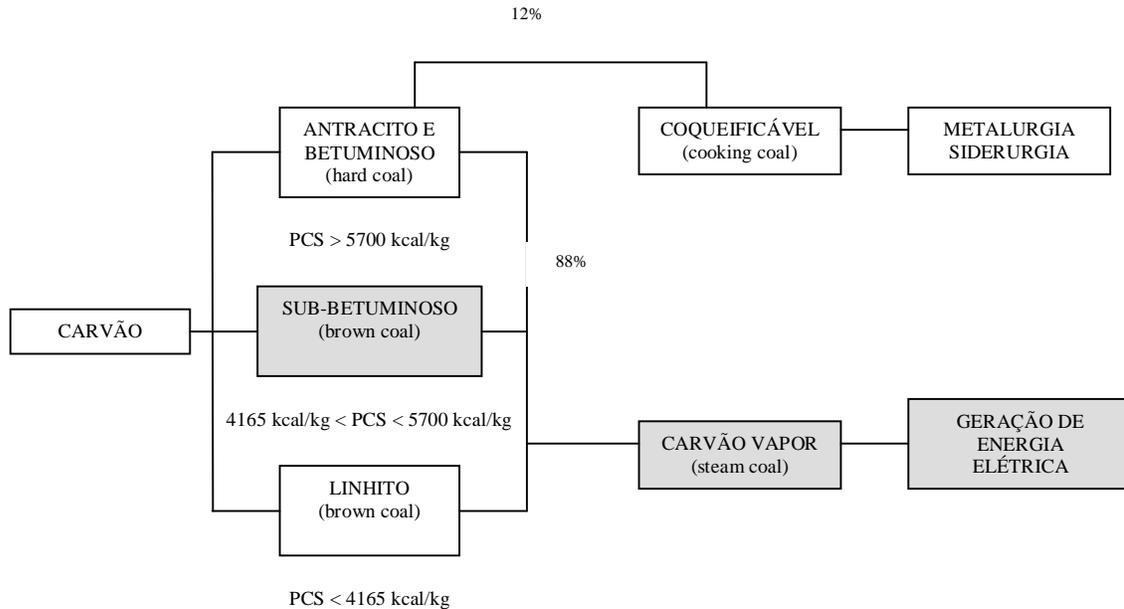


FIG. 5.12 – Representação esquemática do uso final do carvão

É, pois interessante serem estudados os mercados sob as ópticas do tipo de carvão existente, da finalidade de sua queima e do uso final.

TAB. 5.9 – Reservas mundial de carvão por tipo, 2003

Bilhões de toneladas				
MERCADO	BETUMINOSO/ANTRACITO	SUB-BETUMINOSO	LINHITO	TOTAL
MADURO	191,3	118,0	99,2	408,5
TRANSIÇÃO	104,2	126,1	42,8	273,1
EMERGENTE	233,1	52,6	31,3	317,0

Fonte: IEO2006

A tabela 5.9 mostra os diversos tipos de carvão por cada um dos mercados econômicos. Estabelecendo a proporção do total em cada mercado econômico em relação à soma dos três mercados, verifica-se que nos países integrantes do mercado de economias maduras situam-se 41% das reservas de carvão; nos que

integram o mercado de economias em transição, 27%. Os países do mercado de economias emergentes possuem 32% da reserva mundial.

Admitindo que o consumo seja idêntico à produção, conforme provado para o petróleo, a vida das reservas em cada região, em referência o ano de 2003, tem as expectativas apresentadas na Tabela 5.10.

TAB. 5.10 – Tempo de vida das reservas de carvão

MERCADO	RESERVA / CONSUMO	TOTAL (milhões de toneladas)	VIDA (anos)
MADURO	Reserva	408500	165
	Consumo	2470	
TRANSIÇÃO	Reserva	273100	503
	Consumo	543	
EMERGENTE	Reserva	317000	130
	Consumo	2421	

Fonte: IEO2006

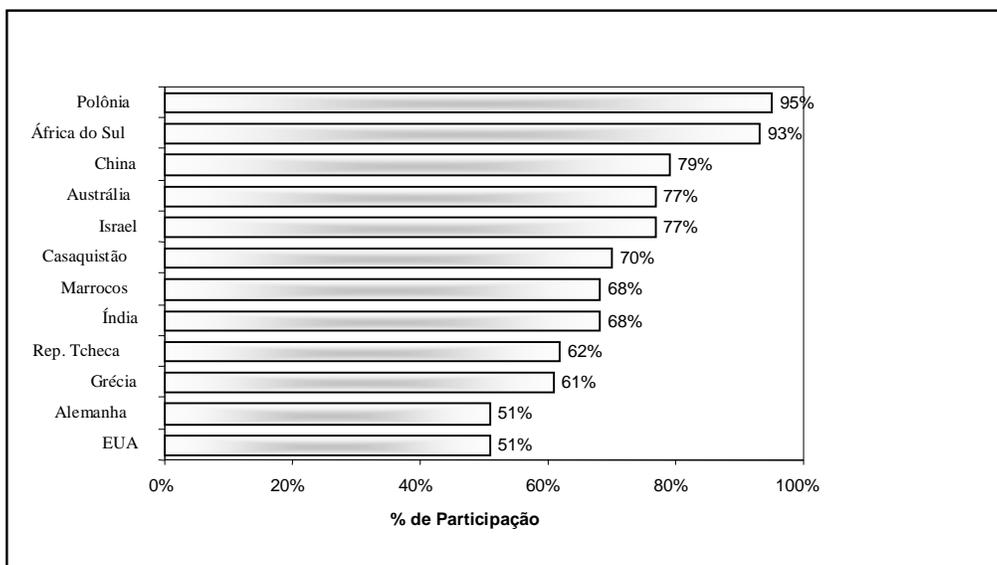
Embora o tempo de vida das reservas permita despreocupação no uso, deve ser verificado quão estratégico é a posse dessas jazidas. Observando a Tabela 5.11, onde é indicado separadamente o montante de carvão comercializado para a produção de vapor e para o coque, verifica-se a forte dependência desses energéticos para a geração de eletricidade no mundo.

TAB. 5.11 – Comércio internacional do carvão

ANO	Milhões de toneladas	
	CARVÃO VAPOR	CARVÃO SIDERÚRGICO
2004	549,2	214,8
2015	648,2	253,2
2030	813,2	309,0

Fonte: IEO2006

Os países que mais dependem do carvão para a geração da energia elétrica, com referência ao ano de 2003, estão indicados na Figura 5.13. Entre eles situam-se os de maior consumo de energia elétrica e o de maior potencial de crescimento, como a China e a Índia.



Fonte: World Coal Institute - 2003

FIG. 5.13 – Participação do carvão na geração de energia elétrica

A tendência de uso do carvão para geração de energia elétrica fica bem caracterizada ao verificarmos seu uso final em cada mercado econômico, conforme estabelecem as Tabela 5.12, 5.13 e 5.14.

TAB. 5.12 – Uso final do carvão – Mercado de economias maduras

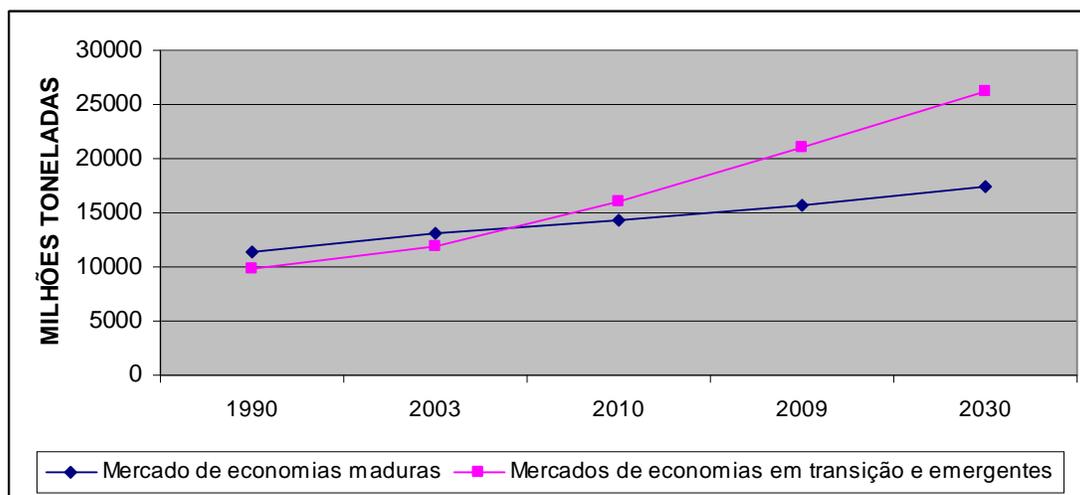
Milhões de toneladas						
ANO	Residencial	Comercial	Industrial	Transporte	Energia Elétrica	Total
2003	19,27	9,63	428,82	0	1739,40	2197,14
2010	14,45	4,81	462,55	0	1912,86	2394,69
2015	14,45	4,81	486,64	0	1970,68	2476,60
2020	14,45	4,81	520,37	0	2076,68	2616,33
2025	14,45	4,81	573,37	0	2211,59	2804,25
2030	14,45	4,81	611,92	0	2404,33	3035,52

Fonte: IEO2006

Os países com mercados de economias maduras, onde se encontram as maiores jazidas de carvão, utilizam esse energético em suas matrizes de energia, com participação superior a 79% para a geração de energia elétrica.

Certamente o uso intenso do carvão contribui de maneira acentuada para a geração de particulados e gases de efeito estufa, juntamente com outras fontes. Embora seja preocupante o volume de geração desses gases, constata-se que nos

países do mercado de economias maduras existe tendência menos acentuada dessa geração, em comparação com os países dos mercados de economias em transição e emergentes, projetado para as emissões de dióxido de carbono até 2030 a partir de dados do IEO 2006, conforme mostrado na Figura 5.14.



Fonte: IEO2006

FIG. 5.14 – Emissões de dióxido de carbono

Os países com mercado de economias em transição, mostrado na Tabela 5.13, têm o carvão participando com cerca de 50% na geração de energia elétrica. O uso de carvão na indústria tende a crescer, sendo projetado que a partir de 2015 a participação industrial supere a participação do carvão na geração termelétrica.

TAB. 5.13 – Uso final do carvão – Mercado de economias em transição

Milhões de toneladas						
ANO	Residencial	Comercial	Industrial	Transporte	Energia Elétrica	Total
2003	14,45	0	168,64	0	221,64	404,73
2010	14,45	0	187,91	0	216,82	414,37
2015	14,45	0	236,09	0	226,46	477,01
2020	14,45	0	269,82	0	240,91	525,19
2025	14,45	0	293,91	0	255,36	544,46
2030	14,45	0	322,82	0	265,00	602,28

Fonte: IEO2006

No mercado de economias emergentes os países têm participação média do carvão na geração termelétrica de 56%. Diferentemente dos dois outros mercados

de economias, neste há a participação do carvão em todos os usos finais, conforme apresentado na Tabela 5.14.

TAB. 5.14 – Uso final do carvão – Mercado de economias emergentes

Milhões de toneladas						
ANO	Residencial	Comercial	Industrial	Transporte	Energia Elétrica	Total
2003	91,54	19,27	843,20	9,63	1267,21	2221,23
2010	178,27	33,72	1276,84	14,45	1893,59	3396,90
2015	173,45	38,54	1532,21	14,45	2245,32	4008,82
2020	159,00	38,54	1782,77	9,63	2572,97	4572,56
2025	163,82	38,54	2028,50	9,63	2905,43	5136,30
2030	154,18	33,72	2322,42	4,81	3252,35	5772,32

Fonte: IEO2006

5.3.2 CARVÃO NO BRASIL

As reservas são classificadas, conforme o nível de certeza, em medidas (maior certeza), indicadas e inferidas. A soma dessas três classificações de reservas indica a reserva total.

No Brasil, as reservas totais de carvão, em 2005, significam 32.336 milhões de toneladas, das quais 27.187 milhões de toneladas em carvão vapor e 5.149 milhões de toneladas em carvão metalúrgico (BEN 2006, Capítulo 6, Tabela 6.4).

De acordo com a Tabela 5.15, as principais ocorrências de carvão mineral encontram-se nos estados do sul do país.

TAB. 5.15 – Reservas de carvão mineral, Brasil.

Milhões de toneladas				
ESTADO	MEDIDA	INDICADA	INFERIDA	TOTAL
Maranhão	1,1	1,7	-	2,8
Paraná	4,6	-	-	4,6
São Paulo	3,0	1,8	1,4	6,2
Santa Catarina	1424,8	601,5	217,2	2243,5
Rio Grande do Sul	5280,8	10100,3	6317,1	21698,2
TOTAL	6714,3	10705,3	6535,7	23955,3
Participação %	27%	45%	28%	100%

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética - EPE

O carvão foi usado no Brasil como solução energética na indústria, na década de 80, período imediato aos dois choques do petróleo. Na Figura 5.15 observa-se que no ano de 1982 houve uma forte retração no consumo de carvão vapor destinado a termoeletricidade, e aumento equivalente de seu uso na indústria, incluindo as de cimento, química, alimentos e bebidas, papel e celulose, entre outras.

O maior aumento de consumo do carvão vapor no setor industrial em comparação com sua redução no setor termelétrico, fez com que a demanda em milhares de tonelada equivalente de petróleo aumentasse.

Essa situação perdurou até que no ano de 1992 ocorreu a Rio 92, com as repercussões que a queima de combustíveis fósseis, dentre eles o carvão, geram danosos gases de efeito estufa.

Nessa oportunidade constata-se o aumento do consumo de carvão para a termoeletricidade e a redução de seu consumo pela indústria. Embora essas alterações de consumo pareçam contra-senso, entende-se que:

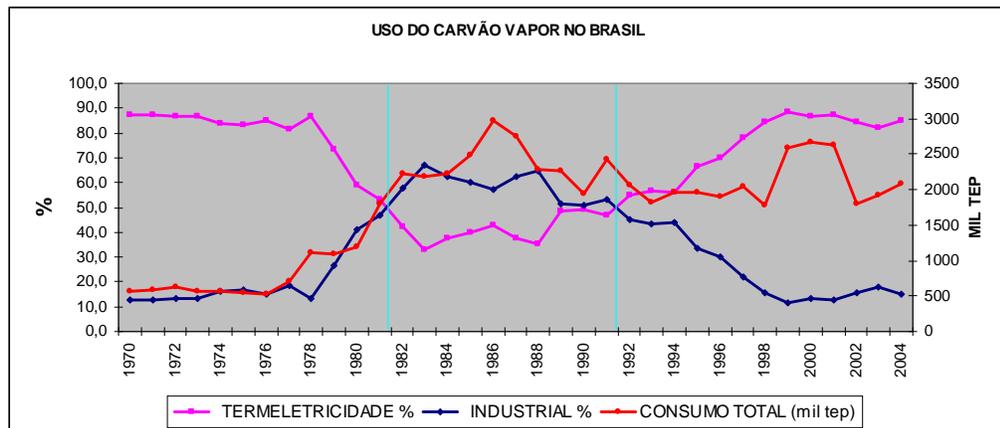
I. Como justificativa para as alterações de consumo ocorridas em 1982:

- (1) Após a segunda crise do petróleo, em 1979, o mundo, inclusive o Brasil, passou a buscar alternativas que substituíssem o petróleo como fonte de energia térmica.
- (2) Houve diminuição do consumo de energia elétrica no período pós-choque, refletindo-se na produção “*just in time*” da indústria de energia elétrica.
- (3) O setor industrial, com a agilidade que lhe é peculiar, quando não ocorrem restrições governamentais impositivas, buscou no mercado a fonte de energia térmica disponível – o carvão.

II. Como justificativa para as alterações de consumo ocorridas em 1992:

- (1) O mercado, especialmente o externo, começou, a partir da Rio 92, a exigir que o setor industrial produzisse bens com valor ambiental agregado, o que se tornou incompatível com o uso de energia térmica proveniente da queima de carvão.
- (2) A partir da Rio 92, houve no setor industrial maior demanda pela energia limpa – a eletricidade, não se importando, o que também é característico do setor industrial, em analisar todo o ciclo de vida da produção, na busca por identificar a forma de geração da energia elétrica e sua contribuição ao efeito estufa.

(3) A modificação da fonte de energia para uma planta termelétrica a carvão é extremamente onerosa, considerando toda a logística de transporte e armazenamento e todos os equipamentos de queima. Em decorrência, as 7 (sete) termelétricas existentes buscaram no mercado tecnologia que minimizasse os danos ambientais causados pela queima do carvão, permitindo suas plenas operações, passando a utilizar a combustão pulverizada (PC), a seguir explicada.



Fonte: Tabela 1.10 – BEN 2005

FIG. 5.15 – Uso de carvão vapor no Brasil

Existem três tecnologias demonstradas para a queima do carvão: combustão pulverizada, combustão em leito fluidizado e gaseificação integrada com ciclo combinado.

Nas usinas térmicas brasileiras é usada a tecnologia de combustão pulverizada (PC), que tem como características:

- Comercialmente disponível.
- É a tecnologia com maior difusão mundial.
- Em geral são usinas de ciclo simples, com baixa eficiência (33%).
- As usinas térmicas que utilizam a tecnologia PC necessitam de equipamentos adicionais para controle de emissões de SOx e NOx, e de material particulado.

5.3.3 USINAS TÉRMICAS A CARVÃO EXISTENTES

No Brasil existem em operação sete usinas termelétricas a carvão, listadas na Tabela 5.16, totalizando 1.415 MWe de potência instalada e consumo de 166,2 milhões de toneladas, todas utilizando a tecnologia PC, localizadas próximo às jazidas em função das dificuldades de manejo desse energético.

TAB. 5.16 – Termelétricas a carvão em operação, 2006

USINA	POTÊNCIA (MWe)	MUNICÍPIO
Charqueadas	72	Charqueadas – RS
Figueira	20	Figueira – PR
Jorge Lacerda I e II	232	Capivari de Baixo – SC
Pres. Médici Fases A / B	446	Candiota – RS
São Jerônimo	20	São Jerônimo – RS
Jorge Lacerda III	262	Capivari de Baixo – SC
Jorge Lacerda IV	363	Capivari de Baixo – SC
TOTAL	1415	

Fonte: ANEEL – Banco de Informações de Geração
Disponível: Plano Nacional de Energia 2030 – EPE – Carvão Mineral / Brasil

5.3.4 USINAS TÉRMICAS A CARVÃO EM CONSTRUÇÃO

Existem em construção quatro novos projetos de usinas termelétricas a carvão, apresentados na tabela 5.17, que totalizam 1.640 MWe de potência a ser instalada, com início de operação entre 2009 / 2010, estando previsto o consumo de 198,9 milhões de toneladas de carvão.

TAB. 5.17 – Termelétricas a carvão em construção, 2006

Início de operação 2009 / 2010				
USINA	POTÊNCIA (MWe)	TECNOLOGIA	LIMPEZA DE GASES	MUNICÍPIO
Pres. Médici Fase C (Candiota III)	350	PC	Equipamento de controle de emissões atmosféricas	Candiota – RS
Jacuí	350	PC	Equipamento de controle de emissões atmosféricas	Charqueadas - RS
Usina Termelétrica Sul Catarinense – USITEC	440	Combustão em leito fluidizado	Adição de calcáreo à combustão e utilização de gases de amônia	Treviso – SC
Seival	500	PC	Equipmt. de controle de emissões atm.	Candiota - RS
TOTAL	1640			

Fonte: ANEEL – Banco de Informações de Geração

Estudo da Empresa de Pesquisa Energética – EPE aponta um potencial teórico de 28.000 MWe em novas usinas, considerando apenas as reservas medidas, conforme Tabela 5.18.

TAB. 5.18 – Potencial elétrico, teórico, termelétricas a carvão

Vida útil	25 anos
Rendimento	33%
Consumo específico	815 kg/MW _e h
Fator de capacidade	60%
PCS médio do carvão	3200 kcal/kg
Consumo de usinas existentes	166,2 x 10 ⁶ t
Consumo para usinas em construção	198,9 x 10 ⁶ t

Fonte: Plano Nacional de Energia 2030

No entanto, esse montante deve ser analisado pelo custo de implantação das novas tecnologias de queima do carvão e das medidas de limpeza de gases. A esse valor deve ser agregado o custo das linhas de transmissão para interligar essas novas usinas, naturalmente situadas na região sul do país, ao sistema energético nacional.

5.4 ENERGIA RENOVÁVEL

A energia renovável é aquela obtida por fontes naturais capazes de se regenerar e, portanto, virtualmente inesgotáveis, como por exemplo, energia solar, eólica, hidráulica, maremotriz, geotérmica.

A tecnologia para usar as forças da natureza para realizar trabalho que atenda as necessidades humanas é antiga. O sol, o vento, os rios, as marés, a biomassa e o calor do núcleo da Terra, entre outras, são energias renováveis que enfrentam obstáculos tecnológicos tanto para captação de algumas formas, como a geotérmica, quanto de armazenamento, em face da não perenidade das fontes, como o vento e o sol.

A única forma de energia atualmente passível de armazenamento, para utilização em grande escala, é o represamento das águas nas usinas hidrelétricas.

Enquanto os recursos energéticos não renováveis tendem ao esgotamento, os recursos renováveis estão longe de se afirmarem como a principal alternativa para todas as necessidades energéticas do mundo, apresentando restrições de toda espécie contra essa generalidade.

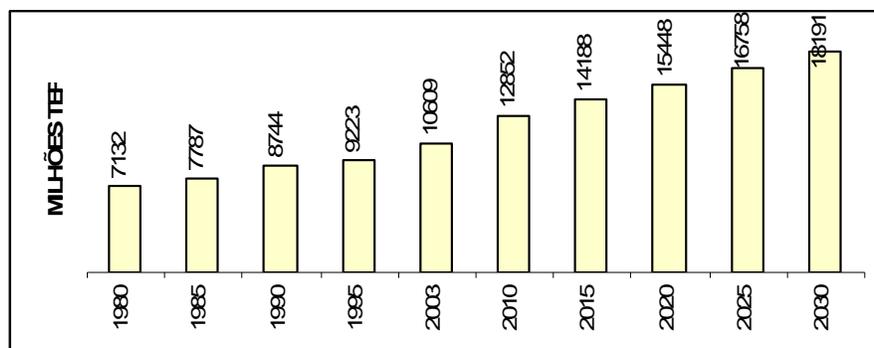
Embora com grande apelo mercadológico, o uso de energias renováveis tem pouca representatividade absoluta no consumo de energia primária mundial, com participação percentual oscilando entre 6,4% e 8,3%, conforme Tabela 5.19.

TAB. 5.19 – Participação das energias renováveis no mundo

ANO	ENERGIA (Milhão Tep)			ENERGIA RENOVÁVEL			
	PRIMÁRIA TOTAL	RENOVÁVEL	% RENOVÁVEL	HIDRÁULICA		OUTRAS FONTES	
				Milhão Tep	%	Milhão Tep	%
1970	5428,0	345,0	6,4	306,2	88,3	40,7	11,7
1975	6292,2	422,6	6,7	378,8	89,6	43,8	10,4
1980	7248,0	525,4	7,2	451,0	85,9	74,3	14,1
1985	7736,9	606,8	7,8	514,3	84,8	92,5	15,2
1990	8816,2	663,8	7,5	564,0	85,0	99,8	15,0
1995	9182,6	759,0	8,3	639,8	84,3	119,4	15,7
2000	10009,4	817,7	8,2	682,4	83,4	136,1	16,6
2003	10511,4	832,9	7,9	685,0	82,2	147,9	17,8

Fonte: Energy Information Association

O consumo mundial de energia cresceu entre 1980 e 2003, em média 48,7%, passando de 7.132 milhões de tep, em 1980, para 10.609 milhões de tep, em 2003, sendo projetado, pelo IEO 2006, atingir 18.191 milhões de tep em 2030, de acordo com a Figura 5.16.



Fonte: IEO2006

FIG. 5.16 – Consumo mundial de energia, 1980 – 2030

Em cada valor anual, as parcelas de energia renovável destinadas aos usos finais em residências, comércio, indústria e transportes são muito pequenas quando comparadas com as destinadas à geração de energia elétrica. Essa comparação pode ser feita observando as Tabelas 5.20 e 5.21.

TAB. 5.20 – Uso final da energia renovável

USO FINAL – RESIDENCIAL, COMERCIAL, INDUSTRIAL, TRANSPORTE. (Milhões Tep)						
MERCADOS	2003	2010	2015	2020	2025	2030
Mercado de economias maduras	63,0	75,6	80,6	85,7	88,2	90,7
Mercado de economias em transição	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mercado de economias emergentes	12,6	20,2	22,7	25,2	27,7	30,2
TOTAL	75,6	95,8	103,3	110,9	115,9	120,9

Fonte: IEO2006

TAB. 5.21 – Geração de energia elétrica por energia renovável

Milhões de Tep						
MERCADOS	2003	2010	2015	2020	2025	2030
Mercado de economias maduras	375,5	468,7	478,8	506,5	531,7	554,4
Mercado de economias em transição	75,6	100,8	115,9	118,4	123,5	126,0
Mercado de economias emergentes	294,0	473,8	536,8	602,2	682,9	768,6
TOTAL	745,1	1043,3	1131,5	1227,1	1338,1	1449,0

Fonte: IEO2006

Acresça-se à pequena representatividade das fontes de energia renovável, as restrições locais para implantação de parques conversores dessa forma de energia para geração de energia elétrica, tais como.

- a) A geração hidrelétrica demanda volume de água represada ou, no caso de Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH, com potência entre 1 MW e 30 MW e área de reservatório igual ou inferior a 3 km², e ainda Usinas de Fio D'Água que utilizam reservatório com acumulação suficiente apenas para prover regularização diária ou semanal ou a vazão direta dos corpos d'água, acarretando em todos os casos impactos ambientais e sociais.
- b) A implantação de parques eólicos, apesar dos avanços tecnológicos de mapeamento do potencial de ventos e desenvolvimento de aerogeradores também apresenta restrições de implantação, condicionados que são ao potencial eólico de cada local.

c) A geração de energia fotovoltaica fica condicionada a existência de radiação solar e otimização do ângulo de incidência dessa radiação sobre a célula solar visando a máxima eficiência na conversão; some-se às essas restrições a necessidade de formas pouco práticas de armazenamento da energia assim gerada para possibilitar a sua utilização nas ocasiões necessárias.

d) Na geração por biomassa, a necessidade de grandes áreas de produção da matéria prima é uma barreira, acrescida pelas mesmas restrições de local distante dos centros consumidores.

e) A geração de energia elétrica advinda de fontes geotermiais ainda não apresenta viabilidade técnico-econômica para ser implantada em larga escala.

A todos esses óbices deve ser acrescentado que o balanço energético para a disponibilização das fontes ditas renováveis sempre apresentará consumo de energia, como por exemplo, o combustível usado pelas máquinas de terraplanagem.

Os obstáculos citados, no entanto, em lugar de servirem como desestímulo ao uso de fontes de energia alternativa são, na realidade, nichos de oportunidade que dependem fundamentalmente da política governamental de incentivo.

5.4.1 ENERGIA RENOVÁVEL NO BRASIL

Conforme apresentado na Tabela 5.22, do total de 218,6 milhões de tep da Oferta Interna de Energia Primária – OIE 2005 brasileira, a parcela de 97,7 milhões de tep corresponde a energia renovável, composta por energia hidráulica, e energia proveniente da biomassa (lenha e carvão vegetal, cana-de-açúcar etc.).

Embora a proporção de 44,7% de energia renovável na OIE 2005 brasileira possa ser considerada bastante significativa quando comparada com a participação de 13,3% na média mundial e de 6,0% na média dos países que compõem a Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômicos – OCDE, há que se observar que 31% dessa energia correspondem aos produtos da cana-de-açúcar e 33% à energia hidráulica, fontes que não têm essas representatividades nas estruturas mundial e OCDE.

TAB. 5.22 – Oferta interna de energia primária – Brasil, 2005.

Milhões de Tep		2004	2005	VARIAÇÃO ANUAL
Petróleo e derivados		83,4	84,0	7,2%
Gás natural		19,0	20,4	7,4%
Carvão mineral e derivados		14,2	13,9	- 2,1%
Urânio (U ₃ O ₈) e derivados		3,2	2,6	- 18,7%
ENERGIA NÃO RENOVÁVEL		119,8	120,9	0,9%
Energia hidráulica e eletricidade		30,8	32,7	6,2%
Biomassa	Lenha e Carvão vegetal	28,2	28,6	1,4%
	Produtos da Cana-de-Açúcar	28,8	30,4	5,6%
	Outras Fontes Renováveis	5,9	6,0	1,7%
ENERGIA RENOVÁVEL		93,7	97,7	4,3%
OFERTA TOTAL DE ENERGIA PRIMÁRIA		213,5	218,6	2,4%

Fonte: Resultados preliminares BEN 2006

Com base nos valores da OIE 2005, em milhões de tep, pode-se montar a Estrutura da Oferta de Energia Primária, do Brasil, em 2005, conforme Tabela 5.23.

TAB. 5.23 – Estrutura da oferta interna de energia primária – Brasil 2005

ENERGÉTICO		2004	2005
Petróleo e derivados		39,1%	38,4%
Gás natural		8,9%	9,3%
Carvão mineral e derivados		6,7%	6,4%
Urânio (U ₃ O ₈) e derivados		1,5%	1,2%
ENERGIA NÃO RENOVÁVEL		56,1%	55,3%
Energia hidráulica e eletricidade		14,4%	15,0%
Biomassa	Lenha e Carvão vegetal	13,2%	13,1%
	Produtos da Cana-de-Açúcar	13,5%	13,9%
	Outras Fontes Renováveis	2,7%	2,7%
ENERGIA RENOVÁVEL		43,9%	44,7%

Fonte: Resultados preliminares BEN 2006

5.4.2 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Dentre os quinze maiores geradores de energia elétrica do mundo, indicados na Tabela 5.24, o Brasil situa-se em décimo lugar, conforme dados da EIA (2004), ficando na segunda posição em geração hidrelétrica, atrás apenas do Canadá.

TAB. 5.24 – Relação dos quinze maiores geradores de energia elétrica – Mundo, 2004.

BILHÕES kWh						
ORDEM	PAÍS	TÉRMICA	HIDRO	NUCLEAR	RENOVÁVEL	TOTAL
01	Estados Unidos	2758,6	275,8	763,7	93,5	3891,7
02	China	1484,2	278,5	41,7	2,3	1806,7
03	Japão	640,1	93,7	228,1	20,9	982,7
04	Rússia	569,7	156,1	141,7	2,0	869,1
05	Índia	502,6	74,6	16,4	5,2	598,7
06	Canadá	154,6	334,2	71,1	9,5	569,4
07	Alemanha	354,8	19,1	156,8	30,9	561,6
08	França	52,2	58,6	419,0	5,6	535,4
09	Reino Unido	278,2	3,2	84,2	7,6	373,3
10	BRASIL	26,7	302,6	13,4	16,0	358,6
11	Coréia do Sul	195,8	4,8	123,2	1,8	352,7
12	Itália	223,2	33,4	0	11,6	268,2
13	Espanha	131,0	40,6	58,8	14,8	245,2
14	África do Sul	202,2	0,8	12,7	0,2	215,9
15	Austrália	197,1	15,9	0	2,0	215,0

Fonte: Energy Information Administration

No Brasil, a participação de cada fonte na geração de energia elétrica, é apontada na OIE 2005, que inclui a Autoprodução e a energia importada da binacional Itaipu (Tabela 5.25).

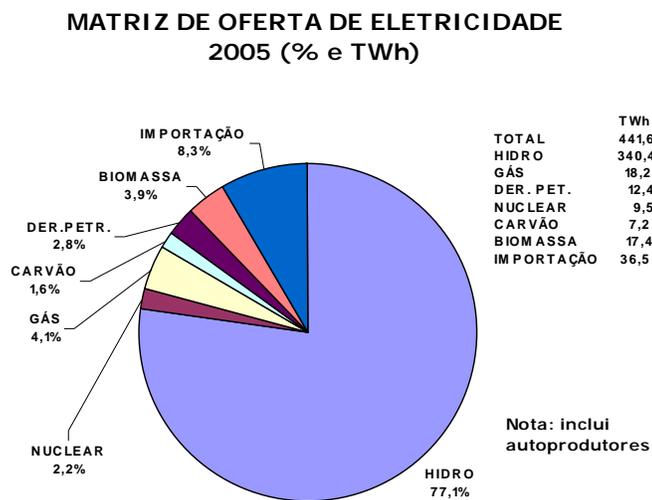
A OIE 2005 está baseada nas seguintes fontes: hídrica, nuclear, gás natural, carvão, derivados do petróleo e biomassa, conforme Figura 5.17.

TAB. 5.25 – Oferta interna de energia elétrica – Brasil, 2005.

FONTE	2004 (TWh)	2005 (TWh)	VARIAÇÃO ANUAL
Hidráulica	320,8	340,5	6,1%
Nuclear	11,6	9,5	- 18,1%
Gás Natural	19,3	18,2	- 5,7%
Carvão	7,0	7,2	2,8%
Derivados do Petróleo	12,1	12,4	2,5%
Biomassa	16,7	17,4	4,2%
Importação Itaipu	37,4	36,5	- 2,4%
OFERTA TOTAL	424,9	441,7	4,0%

Fonte: Resultados preliminares BEN 2006

Os valores em TWh da OIE 2005, permitem montar a Estrutura de Oferta de Energia Elétrica, em 2005, no Brasil.



Fonte: BEN - Matriz Elétrica Brasileira 2005

FIG. 5.17 – Matriz de oferta de eletricidade 2005 (% e TWh)

Como a matriz elétrica brasileira é essencialmente hídrica, com participação de 77,1% no total ofertado de eletricidade (340,4 TWh), é importante conhecer o potencial hidráulico nacional para geração (Tabela 5.26).

TAB. 5.26 – Potencial hidrelétrico brasileiro

REGIÃO	POTENCIAL	% JÁ EXPLORADO
NORTE	111396 MW	8,9%
NORDESTE	26268 MW	40,4%
SUDESTE / CENTRO-OESTE	78716MW	41,0%
SUL	42030 MW	47,8%
TOTAL	258410 MW	28,2%

Fonte: Balance Energético Nacional 2005
Disponível em Política nacional de Minas e energia – Julho 2006

Segundo dados da ANEEL, o Brasil necessita de 3000 MW médios por ano para atender a sua demanda (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Palestra “Política Nacional de Minas e Energia”. Escola Superior de Guerra, RJ. 06 Jul. 2006. 67

slides). Vários são os projetos em andamento destacando-se três hidrelétricas de grande porte, capazes de inserir quase 18 GW na potência instalada brasileira (Tabela 5.27).

TAB. 5.27 – Projetos de geração hidrelétrica

LOCAL	HIDRELÉTRICA	POTÊNCIA INSTALADA	OPERAÇÃO DA 1ª MÁQUINA
Rio Madeira	Jirau	3150 MW	Janeiro de 2011
	Santo Antônio	3300 MW	Janeiro de 2012
Rio Xingu	Belo Monte	11181 MW	Dezembro de 2013

Fonte: MME - ANEEL

6 ENERGIA NUCLEAR

O ano de 2004 marcou o 50º aniversário do uso da geração nucleoe elétrica, quando a eletricidade produzida foi, pela primeira vez, entregue a uma rede elétrica, em Obninsk/Rússia. Conforme indicado na Tabela 6.4, atualmente 442 reatores estão em operação, representando uma potência instalada de 370 GWe, que gera 2,6 TWh de energia., enquanto várias usinas estão em construção que significarão 28 novos reatores, com potência total de 22,51 GWe.

Essas plantas, existentes e previstas, podem ser agrupadas pelos mercados de economias maduras, em transição e emergentes.

Será adotada a seguinte nomenclatura para caracterizar a situação da cada usina:

- Em operação: quando conectada à rede de energia elétrica.
- Em construção: quando concretada a base do reator.
- Planejada: quando houver aprovação e recursos para início da construção ou quando estiver na situação de construção adiantada, porém suspensa.
- Proposta: quando houver clara intenção de implantação da usina, porém ainda sem recursos ou aprovação.

Em passado recente era esperada a redução quantitativa das centrais nucleares em decorrência de poucas novas usinas e do desligamento de antigos reatores que alcançassem o fim de suas vidas operativas. Atualmente vislumbra-se a retomada pela geração nucleoe elétrica com maior intensidade, com base em cinco constatações:

- exaustão dos combustíveis fósseis;
- redução da emissão de CO₂;
- dificuldades para a utilização de grandes blocos de energia renovável;
- aumento da segurança da nova geração de reatores nucleares e desenvolvimento nas técnicas de tratamento dos resíduos;
- aumento de vida útil das usinas.

6.1 ENERGIA NUCLEAR NO MUNDO

A geração nucleoe elétrica, tem características extremamente dinâmicas representadas pelos comissionamentos e descomissionamentos das usinas. É por isso importante fixar o momento da obtenção dos dados. Neste trabalho o período de levantamento dos dados de produção de eletricidade e percentual de energia na matriz de cada país, e dados de reatores, foi novembro de 2006.

TAB. 6.1 – Geração nucleoe elétrica – Mercado de economias maduras

País	Geração elétrica		Em operação		Em construção		Planejada		Proposta		Material necessário t U
	TWeh	% e	Nº	MWe	Nº	MWe	Nº	MWe	Nº	Mwe	
Alemanha	154,9	31	17	20.303	0	0	0	0	0	0	3.458
Bélgica	45,3	56	7	5.728	0	0	0	0	0	0	1.075
Canadá	86,8	15	18	12.595	2	1.540	2	2.000	0	0	1.635
Espanha	54,7	20	8	7.442	0	0	0	0	0	0	1.505
Estados Unidos	780,5	19	103	98.054	1	1.065	2	2.716	21	24.000	19.715
Finlândia	22,3	33	4	2.696	1	1.600	0	0	0	0	473
França	430,9	79	59	63.473	0	0	1	1.630	1	1.600	10.146
Holanda	3,8	3,9	1	452	0	0	0	0	0	0	112
Japão	280,7	29	55	47.700	2	2.285	11	14.945	1	1.100	8.169
México	10,8	5	2	1.310	0	0	0	0	2	2.000	256
Suécia	69,5	45	10	8.975	0	0	0	0	0	0	1.435
Suíça	22,1	32	5	3.220	0	0	0	0	0	0	575
Reino Unido	75,2	20	23	11.852	0	0	0	0	0	0	2158
TOTAL	2.037,5	-	312	283.800	6	6.490	16	21.291	25	28.700	50.712

Fonte: World Nuclear Association

Disponível em <http://www.world-nuclear.org/info/reactors.htm> [capturado em 17 de novembro de 2006]

TAB. 6.2 – Geração nucleoe elétrica – Mercado de economias em transição

País	Geração elétrica 2500		Em operação		Em construção		Planejada		Proposta		Material necessário t U
	Tweh	% e	Nº	MWe	Nº	MWe	Nº	MWe	Nº	Mwe	
Armênia	2,5	43	1	376	0	0	0	0	1	1.000	51
Bulgária	17,3	44	4	2.722	0	0	2	1.900	0	0	253
Eslováquia	16,3	56	6	2.472	0	0	0	0	2	840	356
Eslovênia	5,6	42	1	696	0	0	0	0	0	0	144
Hungria	13,0	37	4	1.755	0	0	0	0	0	0	251
Lituânia	10,3	70	1	1.185	0	0	0	0	1	1.000	134
Rep. Tcheca	23,3	31	6	3.472	0	0	0	0	2	1.900	540
Romênia	5,1	8,6	1	655	1	655	0	0	3	1.995	176
Rússia	137,3	16	31	21.743	3	2.650	8	9.600	18	21.600	3.439
Ucrânia	83,3	49	15	13.168	0	0	2	1.900	0	0	1.988
TOTAL	314,0	-	70	48.224	4	3.305	12	13.400	27	28.335	7.332

Fonte: World Nuclear Association

Disponível em <http://www.world-nuclear.org/info/reactors.htm> [capturado em 17 de novembro de 2006]

TAB. 6.3 - Geração nucleoeétrica – Mercado de economias emergentes

País	Geração elétrica 2005		Em operação		Em construção		Planejada		Proposta		Material necessário
	TWeh	% e	Nº	MWe	Nº	MWe	Nº	MWe	Nº	Mwe	t U
África do Sul	12,2	5,5	2	1.842	0	0	1	165	24	4.000	329
Argentina	6,4	6,9	2	935	1	692	0	0	1	1.000	134
Brasil	9,9	2,5	2	1.901	0	0	1	1.245	0	0	336
China	50,3	2	10	7.587	5	4.170	13	12.920	50	35.880	1.294
Coréia do Norte	0	0	0	0	0	0	1	950	0	0	0
Coréia do Sul	139,3	45	20	17.533	1	950	7	8.250	0	0	3.037
Egito	0	0	0	0	0	0	0	0	1	600	0
Índia	15,7	2,8	16	3.577	7	3.088	4	2.800	20	10.360	1.334
Indonésia	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4.000	0
Irã	0	0	0	0	1	915	2	1.900	3	2.850	0
Israel	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1.200	0
Paquistão	1,9	2,8	2	400	1	300	2	600	2	1.200	64
Taiwan	38,4	20	6	4.884	2	2.600	0	0	0	0	906
Turquia	0	0	0	0	0	0	3	4.500	0	0	0
Vietnam	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2.000	0
TOTAL	274,1	-	60	38.659	18	12.715	34	33.330	108	63.090	7.434

Fonte: World Nuclear Association

Disponível em <http://www.world-nuclear.org/info/reactors.htm> [capturado em 17 de novembro de 2006]

TAB. 6.4 – Geração nucleoeétrica – Mercados consolidados

MERCADOS DE ECONOMIAS (CONSOLIDADO)											
País	Geração elétrica 2005		Em operação		Em construção		Planejada		Proposta		Material necessário
	Tweh	% e	Nº	MWe	Nº	MWe	Nº	MWe	Nº	MWe	t U
Maduras	2037,5	-	312	283.800	6	6.490	16	21.291	25	28.700	50.712
Em Transição	314,0	-	70	48.224	4	3.305	12	13.400	27	28.335	7.332
Emergentes	274,1	-	60	38.659	18	12.715	34	33.330	108	63.090	7.434
TOTAL	2.625,6	-	442	370.683	28	22.510	62	68.021	160	120.125	65.478

As tabelas 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4 listam a geração nucleoeétrica dos mercados de economias maduras, em transição, emergentes e consolidados, respectivamente (World Nuclear Association). Observa-se que sete países do Mercado de Economias Emergentes não possuem usinas nucleares, embora 10 tenham propostas para construção com a instalação de 108 reatores, representando potência de 63.090 MWe. Irã está construindo sua usina com 1 reator de 915 MWe, enquanto planeja a construção de 2 outras com potência total de 1.900 MWe. Taiwan também está construindo 2 novas usinas com potência total de 2.600 MWe.

Constata-se ainda que China e Índia têm propostas para instalação de 70 novos reatores, enquanto constroem usinas para operar 12 novos reatores. Em ambos os casos, esses equipamentos representam mais da metade dos equipamentos propostos e em construção no mundo.

A existência de 312 reatores em países do Mercado de Economias Maduras (70%) demonstra amplo domínio tecnológico que esses países possuem sobre o mundo ou, observando por quadrante oposto, a enorme dependência que os países dos Mercados de Economias em Transição e Emergentes possuem em relação aos países mais adiantados no campo tecnológico.

Conceitua-se “geração líquida” o resultado da subtração entre a geração de energia e a energia consumida nessa mesma geração. Na Tabela 6.5, verifica-se que a geração líquida nucleoeletrica projetada entre 2003 e 2030 cresce apenas 1,0%.

TAB. 6.5 – Geração líquida de energia termonuclear

TWh						
	2003	2010	2015	2020	2025	2030
MADURAS	2135	2234	2293	2320	2304	2306
TRANSIÇÃO	258	278	323	393	441	443
EMERGENTES	130	226	323	409	487	549
TOTAL	2523	2739	2940	3122	3232	3299

Fonte: IEO2006

Do mesmo estudo, conforme Tabela 6.6, constata-se que a geração líquida de energia elétrica, proveniente de todas as fontes, no mundo está projetada para crescer 2,8% entre 2003 e 2030.

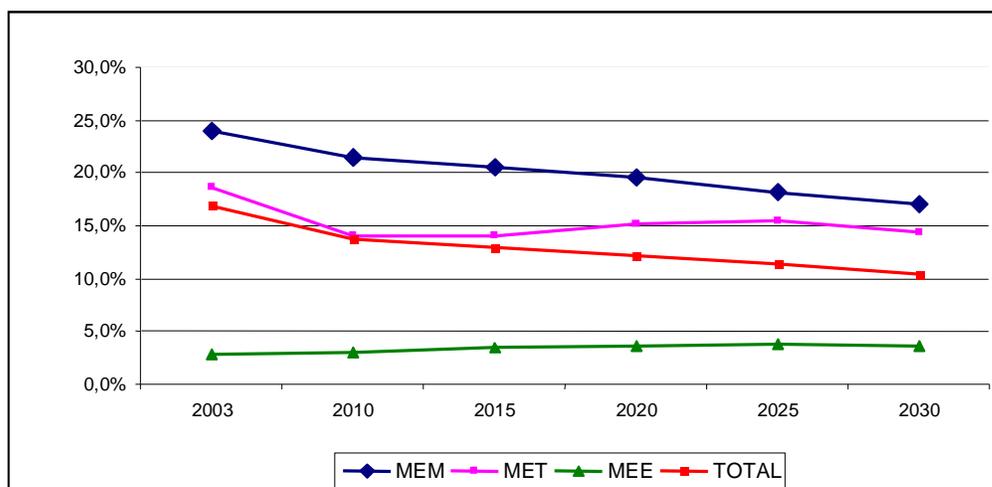
TAB. 6.6 – Geração líquida mundial de eletricidade

TWh						
	2003	2010	2015	2020	2025	2030
MADURAS	8882	10380	11174	11909	12653	13551
TRANSIÇÃO	1377	1985	2293	2586	2836	3071
EMERGENTES	4626	7533	9294	11079	12933	14938
TOTAL	14885	19898	22761	25575	28423	31560

Fonte: IEO2006

Estabelecendo a proporção entre cada mercado / ano da geração nucleoeletrica e da geração de eletricidade no mundo, constata-se que o IEO2006 tem uma visão

pessimista sobre o uso da energia nuclear para a geração de eletricidade. Com exceção dos países pertencentes ao Mercado de Economias Emergentes que apresenta pequeno crescimento, indicado na Figura 6.1, aumentando a sua participação na geração de energia elétrica no mundo de 2,8% em 2003 para 3,7% em 2030, todos os demais mercados decrescem as suas participações. No mundo a participação da geração nucleoeleétrica na geração de energia decai de 16,9% em 2003, para 10,5% em 2030.



Fonte: Montagem própria a partir das tabelas F 7 e F 11 – IEO2006

FIG. 6.1 – Participação da geração núcleo-elétrica na geração de energia elétrica

No entanto, ao ser analisado o custo da geração nucleoeleétrica verifica-se que ele é competitivo quando consideradas as externalidades.

As externalidades, ou custos externos, são definidos como os que realmente incorrem com relação à saúde e ao meio ambiente, mas que não são quantificados nos custos da eletricidade. Se as externalidades fossem de fato incluídas, o preço da geração termoelétrica a carvão seria muito superior, enquanto que a geração à gás natural aumentaria 30%, sem considerar as medidas de proteção ao aquecimento global.

Em plantas nucleares qualquer custo inclui normalmente o manejo do combustível, o descomissionamento e a disposição final dos resíduos. Estes custos, geralmente externos para outras tecnologias, são internos na geração nucleoeleétrica.

A Comissão Europeia lançou um projeto em 1991, em colaboração com o Departamento de Energia dos Estados Unidos, sendo o primeiro projeto de pesquisa com a finalidade de avaliar os danos resultantes das diferentes formas de produção de eletricidade na União Europeia (*The Economics of Nuclear Power*, Nov. 2006, *World Nuclear Association*). A metodologia considerou as emissões, a dispersão e o impacto final. Para a energia nuclear o risco de acidentes foi avaliado com estimativas elevadas de impacto radiológico proveniente da produção das minas. A energia nuclear teve o custo avaliado em 0,4 centavos de euros por quilowatt-hora, o mesmo que a hidrelétrica. O carvão foi superior a 4,0 centavos (4,1 a 7,3), o gás natural ficou na faixa de 1,3 a 2,3 centavos, e apenas a eólica mostrou-se abaixo da nuclear com média de 0,1 a 0,2 centavos de euros por quilowatt-hora.

A *World Nuclear Association* apresenta estudo comparativo do custo da geração de energia elétrica, projetado para o ano de 2010, dentro das seguintes condições: centavo de dólar 2003 por kWh; vida útil da usina, 40 anos; fator de carga, 85%.

Observa-se que o custo da geração nucleoeleétrica, nas condições sugeridas da Tabela 6.7, é menor do que o custo da geração termelétrica por carvão e por gás natural.

TAB. 6.7 – Custo da geração de energia elétrica por fonte, centavos de dólar

Fonte OCED/IEA NEA 2005	NUCLEAR	CARVÃO	GÁS NATURAL
Alemanha	2,86	3,52	4,90
Canadá	2,60	3,11	4,00
Coréia	2,34	2,16	4,65
Estados Unidos	3,01	2,71	4,67
Eslováquia	3,13	4,55	-
Finlândia	2,76	3,64	-
França	2,54	3,33	4,90
Holanda	3,58	-	6,04
Japão	4,80	2,16	4,65
República Tcheca	2,30	2,94	4,97
Romênia	3,06	4,55	-
Suíça	2,88	-	4,36

Fonte: World Nuclear Association

Outro estudo foi desenvolvido pela Agência Internacional de Energia com a finalidade de avaliar quais fatores afetam as características econômicas da geração de eletricidade usando tecnologias diversas. O trabalho foi desenvolvido dentro das seguintes condições:

- a) Universo de estudo
- 27 usinas termelétricas a carvão.
 - 23 usinas termelétricas a gás natural.
 - 13 usinas nucleoeleétricas.
 - 19 usinas eólicas.
 - 06 usinas solar-voltáicas.
 - 24 usinas em ciclo combinado (calor/eletricidade), utilizando vários energéticos.
 - 10 usinas utilizando outros combustíveis ou tecnologias.
- b) Condições
- Usinas em construção ou planejadas com comissionamento entre 2010 e 2015.
 - Vida útil econômica: 40 anos.
 - Taxas de investimento: 5% e 10%
 - Não inclui custos associados com emissões, inclusive gases de efeito estufa.

Com base nas observações dos valores apontados na Tabela 6.8, pode-se concluir que:

- (1) O menor custo de geração de eletricidade através das tecnologias apresentadas na Tabela 6.8 está situado entre US\$ 25 a US\$ 45 / MWh.
- (2) Os custos e as opções tecnológicas são sensíveis às taxas de investimento.
- (3) As gerações a carvão e a gás natural são fortemente dependentes dos preços dos combustíveis.
- (4) O mercado de carvão está sendo influenciado pelas políticas ambientais que já exercem importante papel atualmente, e que influenciará os preços dos combustíveis fósseis em futuro próximo.
- (5) A geração nucleoeleétrica tem no investimento seu mais alto custo, e mesmo incluindo o descomissionamento, apresenta baixos custos de operação e manutenção, além de sofrer pequena influência do preço do combustível nuclear.

(6) Caso sejam considerados os custos associados às emissões, em particular dos gases de efeito estufa, os custos de geração elétrica a gás natural e a carvão aumentariam substancialmente.

TAB. 6.8 – Avaliação de custos na geração de energia elétrica

GERAÇÃO DE ELETRICIDADE	CONSTRUÇÃO		TAXA 5%				TAXA 10%			
	USD/kW	ANOS	USD/MWh	INV	O&M	COMB	USD/MWh	INV	O&M	COMB
CARVÃO	1.000 a 1.500	4	25 a 50	35%	20%	45%	35 a 60	50%	15%	35%
GÁS	400 a 800	2 a 3	37 a 60	15%	10%	75%	40 a 63	20%	7%	73%
NUCLEAR ⁽¹⁾	1.000 a 2.000	5 ou menos	21 a 31	50%	30%	20%	30 a 50	70%	20%	10%
EÓLICA ⁽²⁾	1.000 a 2.000	35 a 95		87% a 70%	13% a 30%		45 a 140			
HIDRO (PEQUENA)			40 a 80				65 a 100			
SOLAR ⁽³⁾			150, FC = 24%				200, FC = 24%			
CICLO COMBINADO			25 a 65				30 a 70			
CONVENÇÃO (1) Inclui custo de descomissionamento. (2) Exceto para plantas em áreas costeiras. (3) Fator de Capacidade entre 9% e 24%						SIMBOLOGIA INV: investimento O&M: operação e manutenção. COMB: combustível USD: dólar americano				

Fonte: International Energy Agency

Disponível em <http://www.iea.org/Textbase/npsun/ElecCostSUM.pdf> (capturado em 10 de dezembro de 2006)

Diferentes valores podem ser encontrados em estudos de avaliação de custos, em particular quando buscam propor alternativas de soluções a serem usadas em outros países não integrantes dos mercados de economias maduras. O tempo de construção é determinante e sofre influências das restrições jurídicas e ambientais.

6.2 RESERVAS DE URÂNIO

Ao fim da II Guerra Mundial começou o esforço na procura de urânio, oportunidade em que uma grande quantidade do minério foi descoberta. Em alguns países, como a Austrália e Canadá, foram descobertos minérios com alta concentração de urânio (0,41% U_3O_8) e custo de produção inferior a US\$ 20/kg. Nessa época a procura e expectativa pela disseminação da cultura nuclear estimulavam os investimentos.

Nos anos seguintes ocorreu redução na demanda pelo urânio porque a utilização da geração nucleoeleétrica cresceu muito mais lentamente do que o previsto, devido à reduzida demanda de eletricidade após o ano de 1970, assim como o baixo preço do gás na década de 1990, e do movimento anti-nuclear.

Como a demanda caiu muito, ao contrário do crescimento esperado, o preço do minério de urânio reduziu substancialmente. Isto acarretou que grande parte das minas fechasse. Somente poucos locais podiam produzir o minério com alguma margem de lucro.

Com poucos locais em operação, e um grande número de depósitos conhecidos e mesmo minas já implantadas sem operar, devido ao baixo preço de mercado, quase toda exploração de urânio parou porque não havia demanda do mercado pelo produto.

Ultimamente, o preço do minério de urânio aumentou substancialmente, passando de valores abaixo de US\$ 20/kg U_3O_8 para US\$ 40/kg U_3O_8 , chegando a US\$ 80/kg U_3O_8 no ano de 2003 e US\$ 158/kg em dezembro 2006, conforme cotação da empresa canadense *Mesa Uranium Corporation* (www.mesauranium.com). Em consequência deste aumento do preço, minas de baixo valor agregado estão novamente entrando em operação, assim como muitas propriedades com potencial de urânio estão sendo exploradas, fazendo com que as reservas aumentem.

O urânio é muito comum no globo terrestre, como é o zinco, sendo um constituinte da maioria de rochas e da água do mar. Algumas concentrações típicas em ppm (partes por milhão) estão listadas na Tabela 6.9.

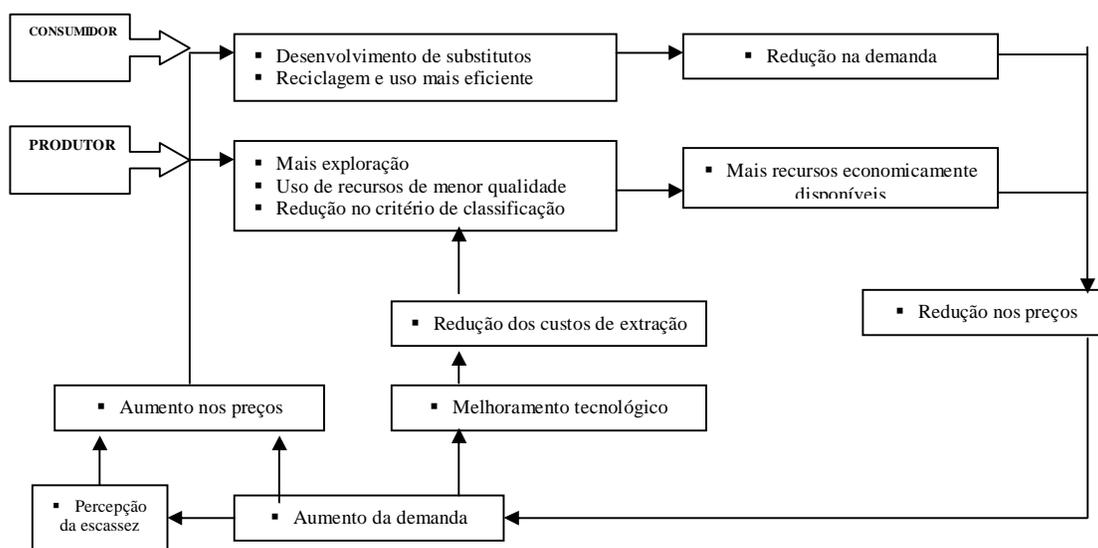
TAB. 6.9 – Características do urânio

Tipo	Concentração Urânio
Minério com alta concentração 2% U	20.000 ppm
Minério com baixa concentração 0,1% U	1.000 ppm
Granito	4 ppm
Rocha sedimentar	2 ppm
Crosta continental da Terra	2,8 ppm
Água do mar	0,003 ppm

Fonte: World Nuclear Association

Um “corpo de minério” é, por definição, uma ocorrência de mineralização na qual o metal é economicamente recuperável, seja pelos custos de produção, seja pelos custos de mercado. Atualmente nem os oceanos nem granitos são corpos de minério, porém conceitualmente ambos podem se tornar corpos de minério no caso dos preços subirem suficientemente.

Numerosos economistas têm estudado a riqueza para determinar quais medidas melhor refletem a escassez de recursos (Figura 6.2). O consenso é que custos e preços, devidamente ajustados pela inflação, permitem com mais clareza caracterizar a escassez de longo prazo do que as medidas físicas como quantidades de recursos.



Fonte: World Nuclear Association

FIG. 6.2 – Fluxo da escassez de longo prazo

A Tabela 6.10 apresenta as reservas conhecidas em Setembro/2005, com base no preço de US\$ 80/kg U, que indicam a Austrália como o país com a maior reserva para um total no mundo de 3,13 milhões de toneladas de urânio.

TAB. 6.10 – Reservas conhecidas de urânio – Mundo, Set/2005.

PAÍS	MIL TONELADAS DE URÂNIO	% MUNDO
Austrália	1074	34,3
Cazaquistão	622	19,9
Canadá	430	13,7
África do Sul	298	9,5
Namíbia	213	6,8
Rússia	158	5,0
Brasil	143	4,6
Estados Unidos	102	3,3
Uzbequistão	93	2,9
MUNDO	3.133	100,0

Fonte: World Nuclear Association

É projetado o uso atual de urânio em 65,47 mil toneladas/ano (Tabela 6.4). Assim adotando as atuais reservas de urânio (3,13Mt), que têm custo de exploração mais baixo e usando apenas reatores convencionais, a sua duração será de 47,8 anos. Isto representa um nível mais elevado de recursos assegurados do que é normal para a maioria dos minerais. Houve uma exploração de urânio muito pequena entre 1985 e 2005. A exploração adicional e preços mais elevados, na base do conhecimento geológico atual, poderão dobrar os recursos econômicos e aumentar em dez vezes as reservas medidas.

6.3 ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL

Em 1970, o governo brasileiro decidiu por uma planta nuclear inicial. O contrato para esta primeira usina, para entrega da instalação pronta para operar, foi realizado com a Westinghouse. A construção foi iniciada em 1971 no Rio de Janeiro, município de Angra dos Reis.

Em 1975, o governo brasileiro adotou a política de tornar-se auto-suficiente na tecnologia nuclear, tendo assinado acordo com a então Alemanha Ocidental para o fornecimento de oito unidades de 1.300 MW_e, num período de quinze anos.

As duas primeiras unidades deveriam ser construídas imediatamente com equipamentos Siemens – KWU. O objetivo era obter índice de nacionalização de 90%.

Para efetuar as operações foi criada a Empresas Nucleares Brasileiras – NUCLEBRÁS, com subsidiárias focadas em aspectos de engenharia e do ciclo do combustível nuclear.

Em função de problemas econômicos a construção sofreu atrasos, o que obrigou a reorganização do programa nuclear em fins de 1980.

Em 1988, a NUCLEBRÁS foi substituída pela então recém criada Indústrias Nucleares Brasileira – INB, subsidiária da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, com responsabilidade sobre todo o ciclo do combustível nuclear, compreendendo a exploração do urânio, desde a mineração e o beneficiamento primário até a produção e montagem dos elementos combustíveis que acionam os reatores de usinas nucleares.

A responsabilidade da construção de Angra 2 e 3 foi transferida para FURNAS, subsidiária da ELETROBRÁS. A construção de Angra 2 recomeçou em 1995.

Em 1997, uma nova empresa foi criada – a ELETRONUCLEAR – como subsidiária da ELETROBRÁS, com a responsabilidade de toda a construção e operação das usinas nucleares.

A NUCLEP, subsidiária do período da NUCLEBRÁS, continuou com a responsabilidade da fabricação de equipamento pesado, tornando-se subsidiária da CNEN.

O Brasil possui atualmente dois reatores nucleares, um em cada usina, cujas características técnicas e operacionais constam da Tabela 6.11, que geraram no ano de 2005 o montante de 2,2% da eletricidade total produzida, equivalente a 9,9 TWh.

TAB. 6.11 – Reatores da usina de Angra dos Reis

REATOR	MODELO	MW _e LÍQUIDO	PARTIDA
ANGRA- 1	PWR	626	1.982
ANGRA – 2	PWR	1..270	2.000
TOTAL (2)	-	1.896	-

As usinas térmicas a gás natural consumiram 11,5 milhões de m³ por dia para gerar 13.050 GWh, em 2005. Angra 1 e 2, geraram 9.850 GWh em 2005, equivalentes a 8,65 milhões de m³ por dia de gás natural

Diferentemente dos outros combustíveis, o nuclear está sujeito a uma vasta série de tratados e acordos internacionais.

Em seu programa nuclear, o Brasil tem participação em:

- 1968: Tratado para a Proscrição das Armas Nucleares na América Latina e no Caribe, conhecido como Tratado de Tlatelolco.
- 1997: Tratado de Não-Proliferação de Armas Nucleares.
- 1991: criação da Agência Brasileira – Argentina de Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares – ABACC.
- Não assinou o Protocolo Adicional aos acordos de proteção com a IAEA por entender que essa submissão iria ferir a sua legítima soberania.

6.4 REJEITO NUCLEAR

A energia nuclear produz resíduos que são contidos e controlados, sendo a única indústria produtora de energia que faz inventário de responsabilidade de seus resíduos, tornando-se um fator de sustentabilidade.

Em um trabalho de 1999, da OCED, foram citados os quatro princípios que devem reger as responsabilidades sobre os resíduos gerados:

- 1^o. Princípio do Síndico: Cada geração tem obrigações, como síndico, para proteger os interesses das gerações futuras.
- 2^o. Princípio da Sustentabilidade: Nenhuma geração deve privar a geração futura da oportunidade de ter uma qualidade de vida comparável à sua própria.
- 3^o. Princípio da Obrigação: A obrigação preliminar de cada geração é fornecer as necessidades de vida das gerações futuras.
- 4^o. Princípio da Precaução: As ações que representem uma real ameaça de dano irreparável ou de conseqüências catastróficas não devem prosseguir, a menos que haja alguma necessidade compensatória de beneficiar gerações atuais ou futuras.

No Brasil, em 20 de novembro de 2001, foi sancionada a Lei nº 10.308, estabelecendo normas para o destino final de rejeitos radioativos, incluindo a seleção de locais, a construção, o licenciamento, a operação, a fiscalização, os custos, a indenização ao município onde ficar armazenado o rejeito, a responsabilidade civil e as garantias referentes aos depósitos radioativos.

6.5 TENDÊNCIAS DO CONSUMO E DAS FONTES DE ENERGIA PRIMÁRIA E ELÉTRICA

A análise do consumo de energia em um determinado universo pode ser realizada pelo uso final dessa energia, isto é, pelo grupamento de consumidores que utilizam a energia para satisfazer suas necessidades produtivas e pessoais. Os grupos assim constituídos são denominados:

- residencial;
- comercial;
- industrial;
- transporte;
- geradores de energia elétrica e calor.

As Tabelas 6.12 a 6.15, mostram o consumo desses grupos, no mundo, usando como fontes de energia o petróleo, o gás natural, o carvão e as energias renováveis.

TAB. 6.12 – Consumo de petróleo por uso final - Mundo

Milhão tep	2003	2010	2015	2020	2025	2030
Residencial	267,1	310,0	322,6	330,1	337,7	345,2
Comercial	126,0	131,0	138,6	143,6	148,7	153,7
Industrial	1.330,6	1.542,2	1.693,4	1.834,6	1.960,6	2.081,5
Transporte	2.104,2	2.376,4	2.525,0	2.648,5	2.835,0	3.059,3
Energia Elétrica e Calor	257,0	317,5	337,7	355,3	370,4	385,6
Mundo	4.084,9	4.677,1	5.017,3	5.312,2	5.652,4	6.025,3

Fonte: International Energy Outlook 2006

TAB. 6.13 – Consumo de gás natural por uso final - Mundo

Milhão tep	2003	2010	2015	2020	2025	2030
Residencial	453,6	496,4	524,2	549,4	574,6	602,3
Comercial	168,8	171,4	186,5	194,0	206,6	214,2
Industrial	1.086,1	1.403,6	1.617,8	1.834,6	2.048,8	2.280,6
Transporte	22,7	22,7	25,2	27,7	27,7	30,2
Energia Elétrica e Calor	766,1	960,1	1.169,3	1.328,0	1.489,3	1.658,2
Mundo	2.497,3	3.054,2	3.523,0	3.933,7	4.347,0	4.785,5

Fonte: International Energy Outlook 2006

TAB. 6.14 – Consumo de carvão por uso final - Mundo

Milhão tep	2003	2010	2015	2020	2025	2030
Residencial	70,6	108,4	108,4	103,3	98,3	98,3
Comercial	15,1	22,7	22,7	25,2	25,2	45,4
Industrial	753,5	1.005,5	1.179,4	1.343,2	1.517,0	1.706,0
Transporte	5,0	7,6	7,6	5,0	5,0	2,5
Energia Elétrica e Calor	1.685,9	2.104,2	2.320,9	2.557,8	2.807,3	3.099,6
Mundo	2.530,1	3.248,3	3.638,9	4.034,5	4.452,8	4.951,8

Fonte: International Energy Outlook 2006

TAB. 6.15 – Consumo de renováveis por uso final – Mundo

Milhão tep	2003	2010	2015	2020	2025	2030
Residencial	15,1	17,6	20,2	20,2	20,2	22,7
Comercial	2,5	2,5	2,5	5,0	5,0	5,0
Industrial	47,9	52,9	58,0	58,0	60,5	65,5
Transporte	12,6	20,2	25,2	27,7	30,2	30,2
Energia Elétrica e Calor	745,9	1.043,3	1.131,5	1.227,2	1.340,6	1.449,0
Mundo	824,0	1.136,5	1.237,3	1.338,1	1.456,6	1.572,5

Fonte: International Energy Outlook 2006

As Tabelas 6.16 a 6.19, apresentam o comportamento do consumo no Brasil.

TAB. 6.16 – Consumo de petróleo por uso final - Brasil

Milhão tep	2003	2010	2015	2020	2025	2030
Residencial	7,6	10,1	10,1	12,6	12,6	15,1
Comercial	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Industrial	40,3	47,9	55,4	60,5	65,5	68,0
Transporte	58,0	63,0	65,5	68,0	73,1	80,6
Energia Elétrica e Calor	2,5	2,5	2,5	5,0	5,0	5,0
Brasil	110,9	126,0	136,1	148,7	158,8	171,4

Fonte: International Energy Outlook 2006

TAB. 6.17 – Consumo de gás natural por uso final - Brasil

Milhão tep	2003	2010	2015	2020	2025	2030
Residencial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Comercial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Industrial	10,1	12,6	15,1	15,1	17,6	20,2
Transporte	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	2,5
Energia Elétrica e Calor	2,5	10,1	12,6	12,6	15,1	20,2
Brasil	12,6	22,7	27,7	27,7	35,3	42,8

Fonte: International Energy Outlook 2006

TAB. 6.18 – Consumo de carvão por uso final - Brasil

Milhão tep	2003	2010	2015	2020	2025	2030
Residencial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Comercial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Industrial	10,1	12,6	12,6	12,6	12,6	15,1
Transporte	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Energia Elétrica e Calor	2,5	2,5	5,0	5,0	7,6	7,6
Brasil	12,6	15,1	17,6	17,6	20,2	22,7

Fonte: International Energy Outlook 2006

TAB. 6.19 – Consumo de renováveis por uso final - Brasil

Milhão tep	2003	2010	2015	2020	2025	2030
Residencial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Comercial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Industrial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Transporte	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	10,1
Energia Elétrica e Calor	75,6	98,3	118,4	138,6	158,8	181,4
Brasil	83,2	105,8	126,0	146,2	166,3	191,5

Fonte: International Energy Outlook 2006

Das tabelas observa-se, no ano de 2003, a participação de cada fonte no consumo mundial:

1) Petróleo teve significativa contribuição no setor industrial (1.330,6 milhões de tep) e de transportes (2.104,2 milhões de tep), representando neste último uso mais da metade do consumo de todos os usos finais deste energético. Na projeção do IEO 2006, ambos os consumos aumentam cerca de 50% até o ano de 2030.

2) Gás natural foi parcela ponderável na indústria mundial em 2003, representando cerca de 50% do consumo total deste energético. Ressalta-se a participação do gás natural na geração de eletricidade e de calor (766,1 milhões de tep). Para 2030 é projetado dobrar a participação desta fonte de energia.

3) Carvão tem, no mundo, intensa contribuição na geração de energia elétrica e calor, significando cerca de 70% da contribuição desta fonte em todos os usos finais. Destaca-se ainda, embora em menor energia, o consumo de carvão na indústria (7.563,5 milhões de tep). Para o ano de 2030, também é projetado crescimento 100% no consumo.

4) Energias renováveis, incluídas a energia hidráulica e a biomassa, têm maior participação na geração de energia elétrica e de calor (745,9 milhões de tep), com previsão de duplicação até o ano de 2030.

Nas tabelas, apontando o perfil de consumo no Brasil, pode-se destacar para o ano de 2003:

1) Petróleo, seguindo a tendência mundial, tem grande representatividade nos setores industrial (40,3 milhões de tep) e de transportes (55,4 milhões de tep). Para o ano de 2030 é previsto crescimento do consumo mais acentuado no setor da indústria (70%), contra um crescimento mais moderado no setor de transportes (45%).

2) Gás natural teve em 2003, época do começo de sua utilização, consumo mais intenso no setor industrial (10,1 milhões de tep), sendo previsto dobrar a participação até 2030. Destaca-se o uso do gás natural na geração de energia elétrica e de calor que, partindo do pequeno consumo (2,5 milhões de tep), tem previsão de quase decuplicá-lo até 2030.

3) Carvão, ao contrário do perfil mundial, não participa significativamente na geração da energia elétrica no Brasil. Sua maior contribuição ocorre no setor industrial, com crescimento médio de 50% até 2030.

4) Na robusta participação das energias renováveis na geração de eletricidade no Brasil, tem destaque a contribuição da fonte hídrica sobre as demais formas de energia como biomassa, eólica, solar etc.

A representatividade de cada fonte de energia, no mundo e no Brasil, pode ser vista nas Tabelas 6.20 e 6.21.

TAB. 6.20 – Consumo de energia primária - Mundo

Milhão tep	2003	2010	2015	2020	2025	2030
Petróleo	4.084,9	4.677,1	5.017,3	5.312,2	5.652,4	6.025,3
Gás natural	2.497,3	3.054,2	3.523,0	3.933,7	4.347,0	4.785,5
Carvão	2.530,1	3.248,3	3.638,9	4.034,5	4.452,8	4.951,8
Hidro + Renovável	824,0	1.136,5	1.237,3	1.338,1	1.456,6	1.572,5
Nuclear	667,8	728,3	781,2	829,1	856,8	874,4
MUNDO	10.604,2	12.844,4	14.197,7	15.447,6	16.765,6	18.209,5

Fonte: International Energy Outlook 2006

TAB. 6.21 – Consumo de energia primária - Brasil

Milhão Tep	2003	2010	2015	2020	2025	2030
Petróleo	108,4	123,5	136,1	146,2	158,8	171,4
Gás natural	12,6	25,2	27,7	30,2	35,3	42,8
Carvão	12,6	15,1	17,6	20,2	20,2	22,7
Renováveis	83,2	105,8	126,0	146,2	168,8	191,5
Nuclear	2,5	2,5	5,0	5,0	5,0	5,0
BRASIL	219,2	272,2	312,5	347,8	388,1	433,4

Fonte: International Energy Outlook 2006

Destaca-se, nas Tabelas 6.20 e 6.21, a parcela da energia nuclear destinada exclusivamente à geração de eletricidade.

No mundo constata-se o grande consumo de energia proveniente do petróleo, gás natural e carvão, a primeira aumentando 50% até 2030, e as outras duas duplicando suas participações no mesmo período. A parcela de energia renovável decorre, quase que totalmente, do uso final de geração de energia elétrica e calor.

No Brasil o petróleo teve representatividade de 50% no consumo primário em 2003, percentual que é previsto reduzir para 40% em 2030. Destaca-se o gás natural com previsão de crescimento de 250% no mesmo período, valor modesto, pois a avaliação do IEO 2006, pela época de sua feitura, não considerou a contribuição dessa fonte no setor de transportes.

Analisando as barreiras existentes para a utilização de cada fonte, pode-se citar com base em dados atuais da British Petroleum e da International Energy Outlook:

- 1) Petróleo: Baixa vida das reservas (40,5 anos) e acentuada emissão de gases de efeito estufa.
- 2) Gás natural: Média vida das reservas (66,7 anos) e acentuada emissão de gases de efeito estufa. Para o Brasil, atualmente existem as restrições impostas pela importação do energético.

3) Carvão: Vida média das reservas relativamente alta (164 anos), acentuada emissão de gases de efeito estufa, além de complicada logística para transporte, armazenamento e alto custo de captura do CO₂ emitido.

4) Hidráulica: Restrições ambientais para uso da energia potencial das águas represadas e para a utilização da energia cinética das águas dos rios, acrescido pelo esgotamento do potencial tecnicamente aproveitável.

5) Biomassa: Baixa representatividade de consumo, além das restrições de grandes áreas agriculturáveis.

6) Demais renováveis: Restritas a aproveitamentos locais, e desenvolvimento de tecnologia para armazenamento da energia gerada.

As contribuições de cada fonte na produção de dióxido de carbono, no mundo e no Brasil, podem ser vistas nas Tabelas 6.22, 6.23 e 6.24.

TAB. 6.22 – Emissão de CO₂ por fonte - Mundo

Milhões toneladas métricas	2003	2010	2015	2020	2025	2030
Petróleo	10.513	12.029	12.907	13.675	14.566	15.541
Gás natural	5.211	6.387	7.374	8.236	9.099	10.015
Carvão	9.303	11.933	13.368	14.822	16.364	18.104
Mundo	25.028	30.362	33.363	36.748	40.045	43.676

Fonte: IEO 2006

TAB. 6.23 - Emissão de CO₂ por fonte - Brasil

Milhões toneladas métricas	2003	2010	2015	2020	2025	2030
Petróleo	276	315	346	370	406	433
Gás natural	27	53	59	66	75	92
Carvão	44	55	64	73	79	85
Mundo	348	423	469	508	559	610

Fonte: IEO 2006

TAB. 6.24 – Emissão de CO₂ – Países Anexo I - Protocolo Quioto

FONTE	CONSUMO ENERGIA MILHÕES TEP		EMISSÃO CO ₂ MILHÕES TON MÉTRICAS		TAXA DE EMISSÃO TON CO ₂ / TEP	
	2010	2030	2010	2030	2010	2030
Petróleo	1.219,7	1.252,4	3.090	3.174	2,53	2,53
Gás natural	738,4	1.033,2	1.548	2.167	2,10	2,10
Carvão	466,2	509,0	1.719	1.874	3,69	3,69
Nuclear	337,7	315,0	0	0	0	0
Renováveis	330,1	367,9	0	0	0	0
Total	3.092,0	3.477,6	6.357	7.216	-	-

Teoricamente a geração de eletricidade proveniente da energia nuclear não emite gases de efeito estufa. O ciclo de vida da geração nucleoeleétrica, da mina de urânio até a disposição dos rejeitos, incluindo o reator e a construção da usina, emite apenas 2 a 6 gramas de carbono por quilowatt-hora gerado (IAEA Boletim 46/1 – Junho 2004). Esse valor é o mesmo para as gerações eólica e fotovoltaica, e bem abaixo da geração a carvão, petróleo e mesmo a gás natural.

Atualmente há forte tendência na retomada do uso da energia nucleoeleétrica, apesar da, ainda, desconfiança pública no uso dessa fonte.

6.6 A OPÇÃO PELA GERAÇÃO NUCLEOELÉTRICA

O Brasil tem peculiaridades, indicadas na Tabela 6.25, de suas reservas hidrelétricas.

TAB. 6.25 – Potencial hidráulico brasileiro - 2005

REGIÃO	POTENCIAL (MW)	% EXPLORADO
NORTE	111.396	8,9
NORDESTE	26.268	40,4
SUDESTE / CENTRO – OESTE	78.716	41,0
SUL	42.030	47,8

Na região norte, onde é apontado o maior potencial, o relevo da Amazônia é propício para Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), usinas com potência instalada variando entre 1 MW e 30 MW e com o reservatório com área igual ou inferior a 3 km², e para Usinas de Fio D'Água, que utilizam reservatórios com acumulação suficiente apenas para prover regularização diária ou semanal, ou utilizam diretamente a vazão afluente do aproveitamento

Essas facilidades, entretanto, não estão distribuídas integralmente na área da Amazônia Setentrional. As alternativas seriam, portanto, a utilização do petróleo, gás e nuclear.

A distância, no entanto, dificulta a logística no transporte de combustível, o que pode acarretar dificuldades de abastecimento. As mesmas considerações podem ser feitas para a região NE.

Assim, é importante que, na alternativa de suprimentos energéticos para a Amazônia e demais regiões, sejam analisadas as vantagens de disponibilizar as usinas de pequeno porte, considerando todas as fontes conhecidas de energia, inclusive a nuclear.

Ao fazer o enriquecimento do urânio resta um resíduo de hexafluoreto de urânio contendo 0,25% a 0,30% em U235, o que é equivalente a mais de 35% da energia disponível em U235, no urânio natural.

As tecnologias existentes ainda não permitem sua extração econômica. No entanto, os elementos combustíveis queimados, se considerado um reator de 1.000 MWe, operando com fator de carga de 80%, resta um resíduo da ordem de 0,8% em U235, e produz plutônio (246 kg de Pu), com cerca de 150 kg de seu isótopo físsil Pu^{239} .

Dessa forma, no futuro, deve-se levar em consideração essa disponibilidade.

6.7 CULTURA NUCLEAR

Além da geração de eletricidade, as principais aplicações da energia nuclear são:

- ⇒ Saúde: emprego de radioisótopos ou radiações em medicina nuclear, para fins de diagnóstico; esterilização de equipamentos e materiais hospitalares.
- ⇒ Agricultura: preservação de alimentos; estudos de solo e plantas, utilizando traçadores radioativos.
- ⇒ Indústria: análise não destrutiva de materiais; medidas de processos industriais empregando radioisótopos como traçadores; modificação de materiais pela radiação.
- ⇒ Tecnologia espacial e aeronáutica, através da aviônica e geração de energia embarcada.

7 CONCLUSÃO

A sociedade de hoje utiliza um modelo de desenvolvimento e de bem-estar que depende intensamente da energia.

Ao ser analisado o ciclo de vida de um produto, desde a extração das matérias primas até sua disposição na natureza, constata-se que qualquer que seja o bem, nele está agregada a energia necessária à sua transformação em produto final.

A sociedade busca a energia nas diferentes fontes economicamente disponíveis para acionar os equipamentos e fornecer a iluminação necessária ao trabalho. O uso final da energia de alta qualidade, como a eletricidade, é definido por requisitos como armazenamento, espaço físico ocupado pelos equipamentos de transformação e resíduos gerados.

O resultado das ações antrópicas sobre o meio ambiente vem sendo estudado, de fato, desde 1958, quando amostras de ar atmosférico retidas em pedaços de gelo, datadas do período pré-industrial, e medições diretas realizadas em Manoa Loa, Havaí, indicaram contínuos aumentos de gases no efeito estufa.

No final de 1980 foi tornado público o conhecimento a cerca desses gases, por três razões:

- (1) Havia evidência que a década de 80 estava sendo a mais quente já registrada.
- (2) Nos anos 80 os climatologistas começaram a usar modelos matemáticos gerais.
- (3) Havia crescente conhecimento entre os cientistas de que outros gases de efeito estufa, especialmente clorofluorcarbonos e metano, estavam aumentando o impacto do dióxido de carbono na atmosfera.

A partir dessa época, em particular depois da reunião de Quioto, em 1997, foram identificados efeitos de médio e de longo prazo na atmosfera terrestre, cuja principal causa são os efluentes da geração de energia causados pela queima dos combustíveis, principalmente os fósseis.

Para minimizar esses efeitos foram apontadas duas medidas:

- (1) Eficiência energética nos processos produtivos.
- (2) Redução das emissões, em particular as que contribuem para o efeito estufa.

A 12ª Conferência das Partes à Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, realizada em Nairobi, entre os dias 6 e 17 de novembro de 2006, frisou ser necessária a construção de mecanismos para o emprego de políticas e tecnologias, visando reduzir os gases de efeito estufa, ao mesmo tempo em que enfatizou a eficiência energética como um desses mecanismos.

A alternativa da redução das emissões está baseada na mudança de fontes de energia. Três características definem cautela no uso das energias não renováveis:

- (1) A disponibilidade do combustível.
- (2) O custo.
- (3) O efeito no meio ambiente.

Quando se analisa as fontes de energia, observa-se que a participação das renováveis é pequena e todas as demais têm durações limitadas.

Enquanto os recursos energéticos não renováveis tendem ao esgotamento, os recursos renováveis estão longe de se afirmarem como a principal alternativa para todas as necessidades energéticas do mundo, apresentando restrições de toda espécie contra essa generalidade.

Os obstáculos citados aos recursos renováveis, no entanto, em lugar de servirem como desestímulo ao uso de fontes de energia alternativa ou de combustíveis alternativos, são na realidade nichos de oportunidade que dependem fundamentalmente da política governamental de incentivo.

Para os recursos não renováveis, deve ser destacado que as reservas provadas brasileiras, em 2004, de petróleo e gás natural têm duração de 20,7 anos e 27,7 anos, respectivamente, mantidas as produções atuais, o que sugere a procura de novas fontes de energia firme, principalmente para o setor industrial e para o setor de transporte.

As análises de custos de geração de energia elétrica realizada por instituições internacionais, permitem visualizar que o custo da geração nucleoe elétrica é competitivo com todas as outras fontes ao serem considerados os custos de oportunidade, de externalidade e de agressões ao meio ambiente.

O uso da energia nuclear, fonte perene com mínima emissão de CO₂, passa por processo de aceitação pública que tem condicionamentos em acidentes, artefatos bélicos e disposição final dos rejeitos de alta radioatividade e longa vida. Até

soluções do tipo “Yucca Mountain” que empregam formação geológica ainda encontram dificuldades para aceitação.

O uso de urânio no mundo, consideradas, conforme Tabela 6.4, todas as 422 usinas em operação, as 28 usinas em construção, as 62 usinas planejadas e as 160 usinas propostas, é avaliado em, aproximadamente, 65,47 mil toneladas/ano. Assim adotando as atuais reservas de urânio de 3,13 Mt, de acordo com a Tabela 6.10, que têm custo de exploração mais baixo (US\$ 80/kg), a sua duração será de 47,8 anos, demonstrando a viabilidade do uso desse energético.

A energia nuclear produz resíduos que são contidos e controlados, sendo a única indústria produtora de energia que faz inventário de responsabilidade de seus resíduos, tornando-se um fator de sustentabilidade.

O *World Energy Outlook 2006* (WEA2006), da *International Energy Agency* (IEA), informa que a energia nuclear permanece como uma opção potencialmente atrativa para mitigar as emissões de dióxido de carbono. Essas análises apontam na direção do aumento da componente nuclear na geração.

No final de novembro de 2006, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), criada pelo governo brasileiro para subsidiar o planejamento no setor energético, apresentou estudo indicando que até 2030 serão necessárias, além de Angra III, outras quatro usinas nucleares para atender a demanda prevista.

No Brasil, a Resolução nº 5, de dezembro de 2001, do Conselho Nacional de Política Energética – CNPE, sinalizou a retomada das ações para a construção da usina de Angra III.

Com essas perspectivas o Brasil insere-se na tendência mundial de uso da energia nuclear na geração de eletricidade, o que certamente resgatará todo um passivo de conhecimentos deixados latente pela incerteza no prosseguimento do Programa Nuclear Brasileiro.

Sugestões

Esta dissertação pretende ser o cerne de um novo enfoque para o uso da energia nuclear no Brasil, ao tratar de aspectos mercadológicos e econômicos da geração nucleoe elétrica. Não tem ela a pretensão de abranger todas as diversas variáveis que cercam o uso da geração de eletricidade, mas sim de estimular novos caminhos para a abordagem do uso da energia nuclear.

Na construção do texto sempre foi entendido que existem os consumidores e os gestores da matriz energética nacional que tomam as decisões sobre qual fonte é a mais apropriada para o país. A esse grande conjunto dá-se o nome de mercado.

Nesse mercado, são os agentes passivos e ativos, profissionais das mais diversas áreas, empresários e políticos, consumidores enfim, que decidem os caminhos a seguir guiados pelo aspecto econômico. O mercado é impulsionado pelo estímulo econômico.

Os países integrantes dos mercados de economias maduras entenderam essa abordagem. Vários estudos, dos quais mostramos dois, foram desenvolvidos para os custos da geração de energia, em particular a elétrica.

A geração nucleoe elétrica brasileira tem um vasto caminho a percorrer, no qual se pretendeu ter dado um pequeno passo. Outros deverão se seguir, para os quais são dadas sugestões de estudos:

- ⇒ avaliação dos custos da geração de energia elétrica com o uso de combustíveis fósseis, considerando os custos para minimização dos passivos ambientais em comparação com os custos de geração nucleoe elétrica;
- ⇒ avaliação dos custos da geração elétrica apontados no BEN, com base em estudos iniciados nos valores fornecidos pela Tabela 6.8;
- ⇒ estudo de viabilidade técnico-econômica do ciclo combinado para geração de hidrogênio a partir de usina nucleoe elétrica;
- ⇒ estudo para geração de eletricidade em blocos regionais nacionais e sul-continentais;
- ⇒ emprego de reatores nucleares na produção de hidrogênio.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Percy Louzada de e outro. **Gás natural: o combustível do novo milênio**. Porto Alegre: Plural Comunicação, 1999.

Balanco Energético Nacional. Brasil: Ministério de Minas e Energia.

AGRÍCOLA, George. **De re metallica libri XII**. 1556. Disponível: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Minera%C3%A7%C3%A3o> [capturado em 5 Set. 2006]

ALVES, Rex Nazaré. **A evolução da matriz energética brasileira**. Seminário Pensar Brasil. Rio de Janeiro: Centro Brasileiro de Estudos Latino-Americano, Julho 2005.

ALVES, Rex Nazaré. **A indústria de material de defesa nos contextos nacional e internacional**. Encontro nacional de estudos estratégicos. Escola de Comando e Estado Maior do Exército, 5 Outubro 2004.

ALVES, Rex Nazaré. **A nova corrida de obstáculo**. Clube Naval, 2004.

ALVES, Rex Nazaré. **Contribuições para a soberania e a democracia**. Seminário Atividades de Inteligência no Brasil. Brasília: Congresso Nacional, 6 e 7 Novembro 2002.

ALVES, Rex Nazaré. **Repercussões da resolução 1540 do Conselho de Segurança das Nações Unidas no Desenvolvimento Tecnológico Nacional**. Centro de Estudos Estratégicos. Escola de Comando e Estado Maior do Exército, 8 Julho 2005.

ASIMOV, Isaac. **Cronologia das ciências e das descobertas**. Tradução de Ana Zelma Campos. Editora Civilização Brasileira S.A., 1993.

CASTRO, Josué de. **Geografia da Fome: O dilema brasileiro**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2002.

CLINE, William R. **The Economics of Global Warming**. Washington, DC: Institute for International Economics, 1992.

COELHO, Maysa J. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**. Seminário Água é Vida. Lions Clube / SESC. Petrópolis, 2005.

CONANT, Melvin A., GOLD, Fern Racine. **A Geopolítica Energética**. Coleção General Benício. Rio de Janeiro: Biblioteca do Exército Editora 1981. 239 p.

ESG. **Fundamentos Doutrinários da Escola Superior de Guerra**. Rio de Janeiro: A escola, 1997.

GORENDER, Jacob. **Globalização e revolução tecnológica**. In: Palestra realizada no IEA – USP, 13.06.1995

HAWKEN, Paul e outros. **Capitalismo Natural: Criando a Próxima Revolução Industrial**. Tradução. São Paulo: Ed. Cultrix, 1996.

LEITE, Antonio Dias. **A energia do Brasil**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

LÉTAT DU MONDE 2007: annuaire économique et géopolitique mondial (27^a ed). Paris: La Découvert, 2006. (Sous la direction de Bertrand Badie et Béatrice Didiot)

LORA, Electo Eduardo Silva. **Prevenção e controle da poluição nos setores energéticos, industrial e transporte**. 2^a ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2002.

LOVELOCK, James. **As eras de gaia: a biografia da nossa Terra viva**. Tradução. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

NATURE, Vol. 443/21. Disponível:
www.nature.com/news/2006/060918/full/060918-5.htm [capturado em 20 Out. 2006]

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Subsecretaria de Comunicação Institucional. Núcleo de assuntos estratégicos. **Brasil em 3 tempos**. Disponível: http://www.planalto.gov.br/secom/nae/3T_2.pdf [capturado em 5 Out. 2006]

RAMONET, Ignácio. **Guerras do Século XXI – Novos temores e novas ameaças**. Tradução. Paris: Galilée, 2002.

RAVAL & Ramanathan, 1989, 759p.

RED FLAG ACT. 1865. Disponível: <http://www.devon-cornwall.police.uk/dcsc/factfigs/redflag.htm>. [capturado em 25 Set. 2006]

SACHS, Jeffrey D. **O fim da pobreza**. Tradução. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

SÉTIMA CONFERÊNCIA DAS PARTES – COP 7 e os Acordos de Marraqueche. Brasília: Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2002, 1^a edição. 64p, 21 x 14,8cm.

SHANNON, Claude Elwood. **A Mathematical Theory of Communication**. University of Illinois Press, 1948.

SOARES, Guido Fernando Silva. ***Direito Internacional do Meio Ambiente***. São Paulo: Atlas, 2001.

THOMAS, Vinod. **O Brasil visto por dentro: desenvolvimento de uma terra de contrastes**. Rio de Janeiro: José Olympio, 2005.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiommo, coordenador, e outros. **Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil**. Rio de Janeiro: Relume Dumará: COPPE: CENERGIA, 2004.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiommo, organizador, e outros. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência: CENERGIA, 2003.

<http://www.bp.com/home.do?categoryId=1> - British Petroleum

<http://devdata.worldbank.org/wdi2005/Home.htm> - World Development Indicators

<http://www.eia.doe.gov>

<http://www.imf.org/> - International Monetary Fund

<http://www.worldenergybook.com/> - World Council Energy

<http://www.worldwatch.org/> - State of the World 2006: China and India Hold World in Balance.

<http://www.wto.org/> - World Trade Organization

<http://www.pt.wikipedia.org/wiki/Categoria:Tanques/> - Alguns tanques II Guerra Mundial

<http://devdata.worldbank.org/wdi2006/contents/index2.htm> - World Development Indicators - WDI

<http://www.nei.org/documents/YuccaResourceBinder/index.html> - Yucca Mountain

<http://www.mesauranium.com> - Mesa Uranium Corporation

9 ANEXOS

ANEXO 9.1: DESCOBERTAS E INVENÇÕES OCORRIDAS ENTRE 1900 E 1950

ANO	CIENTISTA	DESCOBERTA / DESENVOLVIMENTO (Matemática, Física, Astronomia)
1915	Albert Einstein	Teoria Geral da Relatividade
1919	Rutherford	Descobriu que a colisão de partículas alfa com átomos de nitrogênio resultou na desintegração do nitrogênio e produção de núcleos do hidrogênio (prótons) e de um isótopo do oxigênio. Foi a primeira pessoa a conseguir a transmutação artificial de um elemento.
1924	Louis-Victor de Broglie	Determinou, partindo de considerações teóricas, que o elétron, até então avaliado como partícula, poderia ser considerado como onda, sob certas circunstâncias.
1925	Wolfgang Pauli	Anunciou o Princípio da Exclusão. Um férmion é uma partícula com um spin meio-inteiro, cujos exemplos incluem o próton, o nêutron, o elétron, o neutrino (todos com spin 1/2). Muitos núcleos atômicos também são férmions, como o carbono 13 (spin 1/2), o oxigênio 17 (spin 5/2) etc. O princípio de Pauli requer que a função de onda mude de sinal na troca de qualquer par de férmions, o que na prática envolve a troca dos títulos dos eixos cartesianos que descrevem um par de férmions idênticos. A consequência é que não mais de um férmion pode ocupar um dado estado quântico. Essa qualidade distingue drasticamente as propriedades dos sistemas ocupados por férmions daqueles ocupados por bósons (com spin inteiro), muitos dos quais podem ocupar um dado estado: por exemplo, vários fótons (spin = 1) podem ocupar o mesmo estado quântico, originando um feixe de luz monocromática muito intensa. Este princípio foi uma importante ajuda na determinação da estrutura dos elétrons de elementos pesados.
1925/26	Werner Karl Heisenberg / Erwin Schrödinger	De forma independente, e por diferentes caminhos, expuseram as bases teóricas da nova Mecânica Quântica.
1928	Paul A. Dirac	Combinando a Mecânica Quântica com a Teoria da Relatividade, formulou uma Teoria Relativística do Elétron.
1930	Vannevar Bush	Colocou em operação o "Analisador Diferencial", o primeiro moderno computador analógico.
1931	Ernest O. Lawrence	Inventou o Ciclotron, um dispositivo para acelerar partículas atômicas; ferramenta fundamental para a pesquisa física de alta energia que tornou possível a criação de elementos transurânicos.
1932	Karl Jansky	Publicou que a recepção das ondas de rádio vinda das fontes cósmicas tornava possível a rádio astronomia.
1938/39	Otto Hahn / Otto Strassmann	Bombardearam urânio com nêutrons e descobriram um isótopo de bário como produto.
1938/39	Lise Meitner e Otto Frisch	Explicaram o resultado acima, admitindo a fissão do núcleo do urânio (fissão nuclear).
1939	Hans A. Bethe e Carl Weizsäcker	De forma independente, propuseram dois conjuntos de reações nucleares para esclarecer a energia das estrelas: o ciclo do carbono-nitrogênio e a série próton-próton.
1939/1945	2ª Guerra Mundial	As necessidades da pesquisa estimularam a formação de grupos de cientistas para concentrar o esforço em problemas específicos, tais como o radar e a bomba atômica. Tal pesquisa em grupo tornou-se uma característica comum da ciência pós-guerra
1942	Enrico Fermi e outros	Construiu o primeiro reator nuclear controlado.
1944	Harvard-IBM	Operação (Universidade de Harvard, Mark), do primeiro computador digital de grande porte.

ANO	CIENTISTA	DESCOBERTA / DESENVOLVIMENTO (Química, Biologia, Geologia)
1915	Alfred Wegener	Forneceu a clássica expressão da controversa teoria continental de flutuação em <i>Die Entstehung der Kontinente und Ozeane</i> (A formação dos continentes e oceanos).
1927	Hermann J. Muller	Anunciou que tinha induzido com sucesso, através do uso de raios X, a mutação de moscas de fruta.
1929	Alexander Fleming	O anúncio da <i>penicillin</i> teve um efeito inibitório em determinadas bactérias patogênicas. Entretanto, foi apenas em 1943, sob as pressões da guerra, que o primeiro antibiótico foi desenvolvido com sucesso.
1930	Ronald A. Fisher	Estabeleceu na Teoria Genética da Seleção Natural que os genes superiores têm uma vantagem seletiva significativa, assim confirmando que a Teoria da Evolução de Darwin era compatível com a genética.
1944	Oswald T. Avery e outros	Anunciaram ter transmutado um tipo de bactérias do <i>pneumococcus</i> em um segundo tipo através transferência de moléculas do DNA.

ANO	CIENTISTA	DESCOBERTA / DESENVOLVIMENTO (Energia, Materiais)
1921	Thomas Midgley	Produziu o chumbo tetraetila, aditivo antidetonante da gasolina.
1930-35	Eugene J. Houdry	Desenvolveu o primeiro sistema catalítico comercial para o petróleo.
1930-37	Frank Whittle	Desenvolvimento da unidade da turbina de gás para a propulsão do jato no avião.
1942	Início da Era Nuclear	A primeira reação nuclear em cadeia auto-sustentada foi conseguida no campo de Stagg, Chicago, por Enrico Fermi (1901-54). O primeiro uso em larga escala do combustível nuclear para produzir eletricidade ocorreu em Calder Salon (Inglaterra) em 1956.

ANEXO 9.2: ÍNDICES ALTO IDH, IMD, TAI VERSUS CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

PAÍSES COM ALTO IDH				2002	2002	2002
PAÍS	CLASSIFICAÇÃO POR ÍNDICE			Consumo eletricidade per capita kWh	PIB/Unid En. Usada 2000 PPC US\$ p/kg óleo equiv.	Emissão Carbono per capita tonelada métrica
	IDH	IMD2006	TAI			
Islândia	2	4		29247	2,4	7,7
Noruega	1	12	12	26640	6,1	12,2
Canadá	5	7	8	18541	3,6	16,5
Qatar	40			17489		53,1
Suécia	6	14	3	16996	4,4	5,8
Finlândia	13	10	1	16694	3,7	12
Kuwait	44			16544	1,7	24,6
Emirados Árabes Unidos	41			14215		25,1
EUA	10	1	2	13456	4,4	20,1
Austrália	3	6	9	11299	4,8	18,3
Barein	43			10830	1,7	30,6
Luxemburgo	4	9		10547	6,3	21,1
Nova Zelândia	19	21	15	10301	4,6	8,7
Brunei	33			8903		17,7
Bélgica	9	26	14	8749	4,8	6,8
Japão	11	16	4	8612	6,4	9,4
Suíça	7	8		8483	7,8	5,7
França	16	31	17	8123	5,8	6,2
Cingapura	25	3	10	7961	3,8	13,8
Áustria	17	13	16	7845	7,5	7,8
Coréia	28	33	5	7058	3,9	9,4
Alemanha	20	25	11	6989	6,2	9,8
Holanda	12	15	6	6958	5,8	9,4
Dinamarca	14	5		6925	8,1	8,9
Eslovênia	26	40	23	6791	5,1	7,8
Israel	23	24	18	6698	6,0	11,0
Reino Unido	15	20	7	6614	6,6	9,2
Irlanda	8	11	13	6560	9,1	11
República Tcheca	31	29	21	6368	3,7	11,2
Hong Kong	22	2	24	6237	10,6	5,2
Espanha	21	32	19	6154	6,5	7,3
Bahamas	50			6084		6,7
Itália	18	49	20	5840	8,5	7,5
Estônia	38	19		5767	3,6	11,8
Chipre	29		33	5323		8,3
República Eslovaca	42	34	25	5256	3,6	6,8
Grécia	24	37	26	5247	6,8	8,5
Malta	32			4939	7,6	7,5
Portugal	27	38	27	4647	6,9	6,0
Bulgária	55	42	28	4624	2,9	5,3
Trinidad	57			4422	1,3	31,9
Hungria	35	36	22	3972	5,3	5,6
Croácia	45	52	31	3558	5,3	4,7
Polônia	36	51	29	3549	4,4	7,7

Lituânia	39			3239	4,0	3,6
Barbados	30			3193		4,6
Chile	37	23	37	2918	6,0	3,6
Seychelles	51			2704		6,8
Letônia	48			2703	4,9	2,7
Saint Kitts	49			2619		2,8
Uruguai	46			2456	10,0	1,2
Argentina	34	48	34	2383	6,9	3,5
México	53	46	32	2280	5,6	3,7
Costa Rica	47		36	1765	9,4	1,4
Panamá	56			1654	5,9	2,0
Cuba	52			1395		2,1

Fontes: Human Development Report – <http://hdr.undp.org/statistics/data/>
World Competitiveness Yearbook – <http://www01.imd.ch/documents/wcc/content/overallgraph.pdf>
The Technology Achievement Index - <http://hdr.undp.org/reports/global/2001/en/pdf/techindex.pdf>

PAÍSES COM MÉDIO IDH				2002	2002	2002
PAÍS	CLASSIFICAÇÃO POR ÍNDICE			Consumo eletricidade per capita kWh	PIB/Unid En. Usada 2000 PPC US\$ p/kg óleo equiv	Emissão Carbono per capita Ton métrica
	IDH	IMD	TAI			
Arábia Saudita	77			6620	2,1	15
Rússia	62	47		6062	1,9	9,9
Omã	71			5219	3,0	12,1
África do Sul	120	39		4715	3,9	7,4
Suriname	86			4442		5,1
Cazaquistão	80			4030	1,8	9,9
Líbia	58			3915		9,1
Ucrânia	78			3525	1,8	6,4
Venezuela	75	54		3484	2,4	4,3
Macedônia	59			3363		5,1
Belarus	67			3326	2,1	6,0
Malásia	61	22	30	3234	4,1	6,3
Líbano	81			2834	3,8	4,7
Jamaica	98		49	2640	2,5	4,1
Azerbaijão	101			2579	2,2	3,4
Tajiquistão	122			2559	1,8	0,7
Bósnia	68			2527	5,3	4,8
Romênia	64	50	35	2385	3,8	4,0
Kirgizstão	109			2252	3,1	1,0
Brasil	63	45	43	2183	6,8	1,8
Turkmenistão	97			2126	1,4	9,1
Irã	99		50	2075	3,1	5,3
Uzbequistão	111			2008	0,8	4,8
Granada	66			1913		2,3
Turquia	94	44		1904	5,7	3,0
Tailândia	73	30	40	1860	5,0	3,7
Albânia	72			1844	6,7	0,8
Santa Lúcia	76			1698		2,4
Maurícius	65			1631		2,6
Jordânia	90	41		1585	3,9	3,2

Síria	106		56	1570	3,2	2,8
Armênia	83			1554	4,8	1,0
Geórgia	100			1508	4,4	0,7
China	85		45	1484	4,6	2,7
Barbados	60			1438		4,7
República Dominicana	95			1326	6,8	2,5
Mongólia	114			1318		3,3
Moldávia	115			1314	2,0	1,6
Egito	119			1287	4,6	2,1
Gabão	123			1226	5,1	2,6
Tunísia	89			1205	7,7	2,3
Dominica	70			1197		1,5
Guiana	107			1195		2,2
Paraguai	88			1129	0,7	0,7
Colômbia	69	35	47	1019	9,8	1,3
São Vicente	87			1000	1,6	1,6
Zimbabwe	145			981		1,0
Equador	82		53	943	4,8	2,0
Peru	79		48	907	10,7	1,0
Argélia	103			881	5,6	2,9
Belize	91			713		3,1
Honduras	116		61	696	5,0	0,9
El Salvador	104			665	7,1	1,0
Guatemala	117			660	6,4	0,9
Fiji	92			625		1,6
Filipinas	84	43	44	610	7,6	0,9
Samoa	74			597		0,8
Índia	127	27	63	569	5,0	1,2
Marrocos	124			560	10,1	1,4
Nicarágua	112			496	5,7	0,7
Bolívia	113		46	485	4,8	1,2
Paquistão	135			469	4,3	0,7
Indonésia	110	53	60	463	4,1	1,4
Maldívia	96			448		3,4
Gana	138			416	5,0	0,4
Vietnã	108			392	4,2	0,8
Sri Lanka	93		62	366	8,0	0,5
Papua Nova Guiné	137			249		0,4
Butão	134			236		0,2
Congo	142			210	3,7	0,6
Vanuatu	118			208		0,4
Mianmar	129			135		0,2
Lao	133			133		0,2
Togo	143			120	4,9	0,3
Bangladesh	139			119	10,5	0,3
São Tomé	126			115		0,6
Cabo Verde	105			99		0,3
Sudão	141			89	3,6	0,3
Ilhas Salomão	128			69		0,4
Nepal	136			62	3,8	0,2
Uganda	144			61		0,1
Guiné Equatorial	121			54		0,4
Comoros	132			25		0,1

Camboja	130			10		
Palestina	102					
Namíbia	125				10,2	1,1
Botswana	131					2,3
Timor Leste	140					

Fontes: Human Development Report – <http://hdr.undp.org/statistics/data/>
World Competitiveness Yearbook – <http://www01.imd.ch/documents/wcc/content/overallgraph.pdf>
The Technology Achievement Index - <http://hdr.undp.org/reports/global/2001/en/pdf/techindex.pdf>

PAÍSES COM BAIXO IDH				2002	2002	2002
				Consumo eletricidade per capita kWh	PIB/Unid En. Usada 2000 PPC US\$ p/kg óleo equiv	Emissão Carbono per capita tonelada métrica
PAÍS	CLASSIFICAÇÃO POR ÍNDICE					
	IDH	IMD	TAI			
Zâmbia	166			603	1,3	0,2
Moçambique	168			378	2,3	0,1
Djibouti	150			296		0,9
Cameron	148			207	4,7	0,4
Cote d'Ivoire	163			197	3,7	0,4
Iêmen	151			159	3,8	
Quênia	154			155	2,0	0,4
Nigéria	158			148	1,3	1,0
Senegal	157			141	4,8	0,6
Angola	160			135	3,2	0,5
Gâmbia	155			96		0,2
Guiné	156			95		0,2
Benin	162			92	3,0	0,3
Congo	167			91	2,2	
Tanzânia	164			83	1,4	0,1
Malawi	165			80		0,1
Haiti	153			73	6,6	0,1
Eritréa	161			66		0,2
Mauritânia	152			58		0,4
Serra Leoa	176			54		0,1
Madagascar	146			42		0,2
Guiné Bissau	172			41		0,2
Niger	177			40		0,1
Mali	174			33		
Etiópia	170			32	2,4	0,1
Burkina Faso	175			32		0,1
Rep. Central Africana	171			28		0,1
Burundi	169			25		
Ruanda	159			23		0,1
Chad	173			12		
Suazilândia	147					0,8
Lesoto	149					

Fontes: Human Development Report – <http://hdr.undp.org/statistics/data/>
World Competitiveness Yearbook – <http://www01.imd.ch/documents/wcc/content/overallgraph.pdf>
The Technology Achievement Index - <http://hdr.undp.org/reports/global/2001/en/pdf/techindex.pdf>

ANEXO 9.3: CENTRAIS TERMELÉTRICAS A GÁS NATURAL

BRASIL – SETEMBRO 2003							
USINA	kW	PROPRIETÁRIO	MUNICÍPIO/UF	USINA	kW	PROPRIETÁRIO	MUNICÍPIO/UF
Alto do Rodrigues	11800	Petrobrás S..A.	Alto do Rodrigues / RN	Inapel	1.204	Inapel Embalagens Ltda.	Guarulhos / SP
Araucária	484.500	U.E.G. Araucária S.A.	Araucária / PR	Juiz de Fora	82.000	Usina Termelétrica de Juiz de Fora	Juiz de Fora / MG
Atalaia	4.600	Petrobrás S.A.	Aracaju / SE	Latasa	5.088	Nordeste S.A.	Cabo de S ^{to} Agostinho / PE
Bariri	445.500	AES Termo Bariri Ltda.	Bariri / SP	Latasa Jacareí	2.560	Latas de Alumínio S.A.	Pedregulho / SP
Bayer	3.840	Bayer S.A.	São Paulo / SP	Latasa Santa Cruz	2.240	Latas de Alumínio S.A.	Rio de Janeiro / RJ
Brahma	13.080	Energyworks do Brasil Ltda.	Rio de Janeiro / RJ	Macaé Merchant	922.615	El Paso Rio Claro Ltda.	Macaé / RJ
Camaçari	144.000	CHESF	Dias D'Ávila / BA	Metalúrgica Caraíba	18.000	Caraíba Metals S.A.	Dias d'Ávila / BA
Camaçari (Fases I e II)	64.000	FAFFEN Energia S.A.	Camaçari / BA	Millennium	4.781	Millennium Inorganic Chemicals do Brasil S.A.	Camaçari / BA
Campos (Roberto Silveira)	30.000	FURNAS Centrais Elétricas S.A.	Campos de Goytacazes / RJ	Modular de Campo Grande	194.000	Tractebel Energia S.A.	Campo Grande / MS
Canoas (Fase I e II)	160.573	Petrobrás	Canoas / RS	Nitro Química	12.000	Cia. Nitro Química Brasileira	São Paulo / SP
Carioca Shopping	3.200	Adm. Carioca de Shopping Centers S/C Ltda.	Rio de Janeiro / RJ	Paraibuna	2.000	Ind. de Papéis Sudeste Ltda.	Juiz de Fora / MG
Casa de Geradores En. Ele. F242	9.000	Embraer	São José dos Campos / SP	Petroflex	25.000	Petroflex Ind. Com. Ltda.	Duque de Caxias / RJ
Cesar Park Business Hotel / Globenergy	2.100	Inpar Construções e Empreendimentos Imobiliários Ltda.	Guarulhos / SP	Portal do Costa	4.000	Refinaria Nacional de Sal S.A.	Cabo Frio / RJ
CINAL / TRIKEM	3.188	Trikem S.A.	Marechal Hermes / AL	PROJAC Central Globo de Produção	4.950	TV Globo Ltda.	Rio de Janeiro / RJ
Copene	250.400	Petroquímica NE	Camaçari / BA	Santa Cruz	600.000	FURNAS Centrais Elétricas S.A.	Rio de Janeiro / RJ

CTE II	235.200	CSN	Volta Redonda RJ	Souza Cruz Cachoeirinha	2.952	Souza Cruz S.A.	Cachoeirinha / PE
Eletrobolt	379.000	Sociedade Fluminense de Energia Ltda.	Seropédica / RJ	Steple Ub	3.300	Steple Ub S.A.	Canoas / RS
Energy Works Kaiser Jacareí	8.592	Energyworks do Brasil Ltda.	Jacareí / SP	Suape, CGDc, Koblitz Energia Ltda.	4.000	Suape, CGDc, Koblitz Energia Ltda.	Cabo de S ^{to} Agostinho / PE
Energy Works Kaiser Paratuba	5.552	Energyworks do Brasil Ltda.	Paratuba / SP	Suzano	38.400	Cia. Suzano de Papéis e Celulose	Suzano / SP
Energy Works Kaiser Paulínea	10.000	Energyworks do Brasil Ltda.	Paulínea / SP	Termo Norte II	158.200	Termo Norte Energia Ltda.	Porto Velho / RO
Energy Works Kaiser Santo André	11.000	Energyworks do Brasil Ltda.	Santo André / SP	Termo Toalla	5.680	Cia. De Tecidos Norte de Minas	João Pessoa / PB
Energy Works Com Products Balsa	10.800	Energyworks do Brasil Ltda.	Balsa Nova / PR	Termocabo	48.000	Termocabo Ltda.	Cabo de S ^{to} Agostinho / PE
Energy Works Com Products Mogi	21.400	Energyworks do Brasil Ltda.	Mogi Guaçu / SP	Termoceaná	220.000	Termoceaná Ltda.	Caucaia / CE
Eucatex	9.800	Eucatex S.A. IND COM.	Salto / SP	UGPU (Messer)	7.700	Sociedade Brasileira Arliquido Ltda.	Jundiá / SP
Globo	5.160	foglobo Comunicações Ltda.	Duque de Caxias / RJ	Unidade Central de Energia – Área II	6.000	Cooperativa Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Est. SP.	Limeira / SP
Ibirité	226.000	Ibiritermo S.A.	Ibirité / MG	Uruguaiana	639.900	AES Uruguaiana Empreendimentos Ltda.	Uruguaiana / RS
Iguatemi Fortaleza	4.794	Cond. Civil Shopping Center Iguatemi	Fortaleza / CE	Vitoria Apart Hospital	2.100	Vitoria Apart Hospital S.A.	Serra / ES
IGW Service Energy	2.825	Telesp	São Paulo / SP	Vulcabrás	4.980	Vulcabrás do NE S.A.	Horizonte / CE

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)