

MON
620.9
D812v
TES/MEM

50

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DISSERTAÇÃO

Título : Validação de um Modelo de Utilização e de Previsão do
Consumo de Energia no Brasil

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, por
José Arnaldo Duarte, para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Mecânica.

Aprovada em 16/05/95.

BANCA EXAMINADORA:

- | | |
|-----------------------------------------------|--------------------|
| Prof. Dr. LUTERO CARMO DE LIMA (Orientador) / | UFU |
| Prof. Dr. RICARDO FORTES DE MIRANDA | UFU |
| Prof. Dr. RUI PITANGA MARQUES DA SILVA | UFU |
| Prof. Dr. CELSO LUÍS DA SILVA | UNESP - BAURU - SP |

Uberlândia(MG), Maio de 1995.

DIRBI/UFU 620.9 D812v /TES/FU
07680/95



1000022715

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA	
CIRB - DIRETORIA DE BIBLIOTECAS	
Procedência.....
Valor.....	doação
Rac.....	95
C.F.E.....
N. F.....
Reg.....	7680/95 Data 04/10/95
Vol.....	1

FU-00005724-3

Dedico este trabalho à minha esposa, Marta Aparecida Assuane Duarte e a meus filhos Leonardo, Daniel e Alexandre, que durante esse tempo souberam me prestigiar e lutaram para que este trabalho tivesse êxito.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao prof. Lutero Carmo de Lima, orientador desta dissertação, pelo longo caminho percorrido, mas que em nenhum momento deixou de nos apoiar.

Ao prof. Rui Pitanga Marques da Silva, pelo seu empenho e dedicação, que muito nos contribuiu.

À minha família, pelo incentivo e apoio.)

Aos professores e funcionários do DEEME e da UFU pela presteza com que sempre nos atenderam.

Aos companheiros mestrandos que no convívio diário, trocando informações, procuramos crescer juntos.

Ao CNPq pelo apoio financeiro durante o curso.

**VALIDAÇÃO DE UM MODELO DE UTILIZAÇÃO E DE PREVISÃO DO
CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL**

SUMÁRIO

	PÁGINA
1.0 - INTRODUÇÃO	01
2.0 - ENERGIA ELÉTRICA.....	11
2.1 - HISTÓRICO.....	11
2.2 - PARQUE HIDRELÉTRICO BRASILEIRO.....	23
2.3 - POTENCIAL HIDRELÉTRICO DA AMAZÔNIA.....	28
2.4 - USINAS HIDRELÉTRICAS REVERSÍVEIS.....	31
2.5 - PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS	32
2.6 - TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA.....	34
2.7 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.....	37
2.8 - ENERGIA NUCLEAR.....	38
2.7.1 - Introdução.....	38
2.7.2 - A Energia Núcleo-Elétrica no Mundo.....	38
3.0 - O PETRÓLEO NO BRASIL.....	46
3.1 - EXTRAÇÃO DE PETRÓLEO.....	46
3.2 - A PETROBRÁS.....	46
3.3 - O PETRÓLEO E O BALANÇO DE PAGAMENTOS.....	48
3.4 - ECONOMIA E CONSERVAÇÃO.....	53
4.0 - GÁS NATURAL.....	55
4.1 - PRODUÇÃO DE GÁS NATURAL.....	55
4.2 - RESERVAS DE GÁS NATURAL NO BRASIL E NO MUNDO.....	55

4.3 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE GÁS NATURAL.....	57
4.4 - TRANSPORTE DO GÁS NATURAL	57
4.5 - GÁS NATURAL E MEIO AMBIENTE.....	58
4.6 - PROCESSAMENTO DO GÁS NATURAL	59
4.7 - PROPOSTAS DA COMISSÃO DE REEXAME DA MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL.....	60
5.0 - ÁLCOOL.....	61
5.1 - HISTÓRICO.....	61
5.2 - PRODUÇÃO DE ÁLCOOL.....	64
5.3 - OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO.....	65
5.4 - CUSTO DA PRODUÇÃO DO ÁLCOOL.....	68
5.5 - ÁLCOOL E MEIO AMBIENTE.....	69
5.6 - CO-GERAÇÃO.....	71
5.7 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ÁLCOOL E BAGAÇO DE CANA NO BRASIL	72
6.0 - MADEIRA E CARVÃO VEGETAL.....	74
6.1 - HISTÓRICO.....	74
6.2 - COMPOSIÇÃO DA MADEIRA.....	75
6.3 - REFLORESTAMENTO NO BRASIL	76
6.4 - PRODUTIVIDADE DAS FLORESTAS PLANTADAS	78
6.5 - REFLORESTAMENTO EM OUTROS PAÍSES	80
6.6 - EVOLUÇÃO DA OFERTA DE LENHA E CARVÃO VEGETAL	81
6.7 - A MADEIRA COMO COMBUSTÍVEL	81
6.8 - CONVERSÕES TÉRMICAS DA MADEIRA.....	83
6.9 - O MEIO AMBIENTE E O USO DA MADEIRA	84
7.0 - CARVÃO MINERAL.....	87
7.1 - HISTÓRICO.....	87

7.2 - RECURSOS E RESERVAS DE CARVÃO.....	87
7.3 - MINERAÇÃO DO CARVÃO.....	89
7.4 - BENEFICIAMENTO DO CARVÃO.....	90
7.5 - FORMA DE UTILIZAÇÃO DO CARVÃO MINERAL.....	90
8.0 - XISTO.....	93
8.1 - HISTÓRICO.....	93
8.2 - RESERVAS DE XISTO.....	94
8.3 - PROCESSO DE PRODUÇÃO DO XISTO - PROCESSO PETROSIX.....	97
8.4 - USINA PROTÓTIPO DE IRATI.....	98
9.0 - MODELO MATEMÁTICO.....	101
9.1 - POPULAÇÃO.....	101
9.2 - DEMANDA DE ENERGIA.....	106
9.3 - PRODUTO INTERNO BRUTO.....	113
9.4 - POLUIÇÃO	116
9.5 - QUALIDADE DE VIDA.....	116
10.0- ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	119
11.0- CONCLUSÃO FINAL.....	143
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	147
PROGRAMA COMPUTACIONAL.....	156

DUARTE, J.A. "VALIDAÇÃO DE UM MODELO DE UTILIZAÇÃO E DE PREVISÃO
DO CONSUMO DE ENERGIA PARA O BRASIL"

RESUMO

Este trabalho apresenta a evolução histórica do consumo das diversas fontes convencionais de energia no Brasil.

Discorre sobre cada fonte em particular analisando o perfil de consumo bem como sobre a oferta de cada energético.

A segunda parte deste trabalho apresenta as projeções do consumo de energia para o Brasil tomando como base o ano de 2020. São feitas também previsões da População e do PIB - Produto Interno Bruto.

Para fazer tais previsões foi elaborado um algoritmo em linguagem Fortran, que utiliza um modelo matemático desenvolvido pela Clean Energy Research Institute de Miami - E.U.A. Um computador IBM 3090, instalado na Universidade Federal de Uberlândia, foi usado para rodar o programa. Assim sendo procurou-se validar este modelo para o caso brasileiro fazendo os ajustes necessários e adaptando as equações de acordo com os dados históricos brasileiros disponíveis.

Discute-se também os resultados obtidos, comparando-os com aqueles disponíveis em institutos de pesquisa e órgãos governamentais.

**DUARTE, J.A. "VALIDATION OF AN ENERGY CONSUMPTION
FORECASTING MODEL FOR BRAZIL"**

ABSTRACT

This work presents the historical evolution of the consumption of different sources of conventional energy in Brasil.

It deals with each energy source in detail and calculate the consumption profile and the availability of each energetic.

In the second part of present work projections are made of energy consumption in Brasil up to the year 2020. Population and gross national product estimates are also made.

In order to achieve this, an algorithm written in FORTRAN was developed. And the results obtained by running the program on an IBM 3090 machine at the Federal University of Uberlândia Computer Centre.

The mathematical model was adapted from the one developed by the Clean Energy Research Institute at the University of Miami (U.S.A.). Necessary adjustments were made by taking into account available historical data of the Brazilian energy consumption.

Results were compared with forecasting data of research institute and government agencies.

L I S T A D E F I G U R A S

FIG. DESCRIÇÃO	PÁGINA
1 - Produção Núcleo-Elétrica em vários países.....	39
2 - Porcentagem Núcleo-Elétrica em vários países.....	40
3 - O Petróleo e o Balanço de Pagamentos.....	49
4 - Evolução dos preços dos derivados de Petróleo.....	51
5 - Evolução do consumo dos derivados de Petróleo.....	52
6 - Consumo e Reservas de Gás Natural.....	56
7 - Produção Nacional de Veículos a Álcool.....	62
8 - Evolução do Rendimento Agroindustrial.....	68
9 - Produção e Consumo do Álcool Etílico.....	73
10 - Tempo de Dobramento da População Brasileira.....	103
11 - Tempo de Dobramento do Consumo Total de Energia.....	108
12 - Tempo de Dobramento do PIB Brasileiro.....	115
13 - Projeções da População Brasileira.....	120
14 - Taxas de Crescimento da População Brasileira.....	121
15 - Projeções do Crescimento do PIB.....	123
16 - Evolução da Renda Per Capta Brasileira.....	124
17 - Projeções do Consumo de Energia.....	126
18 - Projeções do Consumo Total de Energia.....	127
19 - Projeções do Consumo de Eletricidade.....	130
20 - Projeções do Consumo de Petróleo.....	132
21 - Projeções do Consumo de Gás Natural.....	134
22 - Projeções do Consumo da Lenha e do Carvão Vegetal.....	135

23 - Projeções do Consumo dos Produtos da Cana.....	138
24 - Projeções do Consumo do Carvão Mineral.....	139
25 - Projeções do Consumo das Outras Fontes de Energia.....	140
26 - Projeção da Produção de Poluição	141
27 - Projeção da Evolução do Índice de Qualidade de Vida.....	142

L I S T A D E T A B E L A S

Tabela	PÁGINAS
1 - Capacidade Nominal Instalada	24
2 - Expansão da Capacidade de Geração Elétrica Brasileira....	25
3 - Usina Hidrelétrica em operação em 31/12/91.....	26 e 27
4 - Potencial Hidrelétrico Brasileiro (MW).....	28
5 - Potencial Hidrelétrico Brasileiro	29
6 - Estimativa de áreas a serem inundadas na formação dos reservatórios.....	31
7 - Transmissão de Energia na Amazônia.....	31
8 - Potencial de Usinas Reversíveis.....	33
9 - Preços da Energia Elétrica	36
10 - Composição Setorial do Consumo de Eletricidade e o PIB correspondente.....	37
11 - Principais Plantas Comerciais de Enriquecimento do Mundo.	42
12 - Principais Plantas comerciais de reprocessamento.....	43
13 - Perfil da Energia Nuclear no Mundo.....	45
14 - Estrutura de Preços.....	48
15 - Produção de Óleo por Estado.....	51
16 - Reservas e Poços produtores de Petróleo.....	53
17 - Evolução do rendimento das destilarias	63
18 - Eficiência Anual das Usinas Copersucar.....	66
19 - Produtividade Média na Produção de Álcool.....	67
20 - Árvores cultivadas existentes nos Estados Brasileiros....	77

21 - Áreas colhidas para diversas culturas e florestas plantadas	78
22 - Evolução da produtividade florestal.....	79
23 - Estimativa de produtividade de floresta plantada.....	79
24 - Custo da Biomassa Florestal.....	81
25 - Consumo de Energia no Mundo.....	87
26 - Reserva energética brasileira não renováveis.....	88
27 - Reserva de carvão mineral por estado.....	89
28 - Composição Recursos/Reservas Energéticas brasileiras não renováveis.....	92
29 - Reservas brasileiras de xisto.....	95
30 - Recursos e Reservas energéticas brasileira	97
31 - Dados iniciais para o Brasil.....	117
32 - Dados iniciais para o Mundo.....	118
33 - População, Energia e PIB.....	128

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

LETRAS LATINAS:

A	: Constante; Área	[m ²]
B	: Constante	
C	: Constante; preço do combustível; custo; capital	
E	: Consumo de energia/demanda (fóssil e renovável)	
F	: Taxa de consumo (produção) de combustível fóssil; importação de combustível fóssil	
G	: Produto nacional bruto; modificador do crescimento de população	
I	: Renda	
K	: Constante	
L	: Indicador da qualidade de vida	
P	: Poluição	
Q	: População	
R	: Reservas de combustível fóssil	
t	: Tempo	
U	: Poluição de combustível fóssil por unidade de energia	
V	: Modificador adimensional do crescimento energético	
W	: Modificador adimensional do crescimento populacional	
d	: Demanda	
e	: Energia; meio ambiente	
f	: Combustível fóssil	

g : Produto nacional bruto
i : importação
n : Número (ano)
o : Ano inicial
p : Produção; usina; preço; custo; posto
q : População; per capita
r : Razão adimensional
t : Total
w : Mundo; água
av : Média

VALIDAÇÃO DE UM MODELO DE UTILIZAÇÃO E DE PREVISÃO DO CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL

1.0 - INTRODUÇÃO

A oferta de energia, na década de '90, no Brasil tem sido aparentemente estável. Já passamos por duas crises de petróleo, a primeira em 1973, com a majoração considerável dos preços dos derivados do petróleo e a segunda em 1979 castigando severamente o país aliando preços altos com racionamento. E ainda gerando grave crise econômica (recessão-inflação), cujo biomo perdura até nossos dias.

Na atual década não há racionamento, mas a recessão continua formando uma camisa de força no contingenciamento da demanda energética.

A energia é um bem essencial e seu consumo está diretamente associado ao padrão de vida. Assim por exemplo, os U.S.A. consomem seis (06) vezes mais energia per capita que o Brasil.

O uso racional da energia passa por questões como tarifas reais e análise energética, tendo alguns críticos salientado que nosso problema não é uma crise energética e sim uma crise exergética, ou seja, um uso mais eficaz e seletivo da energia, [1].

Em relação às substituições dos derivados do petróleo, o Governo Federal empreendeu esforços principalmente na produção de álcool como substitutivo à gasolina, havendo nosso país saído na

frente nesse campo. Outra alternativa foi a produção de energia hidrelétrica, iniciada na década de '70 com os governos militares. Entretanto, a falta de investimentos nas décadas de '80 e 90 tem projetado um futuro nada animador para o setor elétrico principalmente se o país voltar a crescer no curto prazo. Sobre os outros recursos energéticos, a biomassa manteve sua participação em termos percentuais; o carvão, o gás natural, a energia nuclear e o xisto tem sua participação ainda pequena em termos percentuais.

Nesse ínterim tem havido muitas propostas alternativas como a co-geração e autogeração, racionalização do uso dos energéticos, mudança de processos e métodos, "retrofit" das instalações antigas, como forma de suprir o déficit energético a curto e médio prazo, tarifas de energia diferenciadas, uma vez que a construção de novas plantas industriais como hidrelétricas e termelétricas demandam grandes investimentos e um tempo prolongado para começar a produzir, etc.[2].

O petróleo é atualmente a fonte de energia mais importante no mundo. Em muitos países é responsável por mais da metade do consumo de energia. No Brasil esse percentual é de 32%, [3].

A existência de estruturas subterrâneas capazes de conter petróleo pode ser determinada da superfície, através de métodos sísmicos. No entanto é preciso furar um poço para saber se a estrutura contém petróleo em quantidade comercializável.

O gás natural é um combustível relativamente limpo, muito pouco poluente, de fácil controle e conveniente para o uso doméstico, é uma valiosa matéria-prima para a indústria

petroquímica. Essas características fazem do gás natural um ótimo substituto para os combustíveis sólidos, líquidos e mesmo gasosos. [4]

O Gás Natural participa com 22% no consumo dos energéticos no mundo, [5], percentual que revela sua importância como fonte de energia dos sistemas produtivos mundiais. Suas propriedades não poluentes aliada ao crescimento das reservas projetam-no como a base energética para o estabelecimento de uma nova ordem na indústria petroquímica e para os combustíveis líquidos .

Em Buenos Aires o uso de gás natural chega a superar 40%. Londres, Paris e Frankfurt tiveram a qualidade do ar melhorada substancialmente com a introdução do gás natural. O Japão consome mais de 180 milhões de metros cúbicos diários de gás natural importado da Austrália, Indonésia e Abu Dhabi em forma liquefeita. Cerca de 67% deste gás são usados na geração de eletricidade devido a sua queima limpa comparada ao carvão. [5]

O PROÁLCOOL - Programa Nacional do Álcool, foi criado em 14 de Novembro de 1975, prevendo instalações de destilarias anexas e autônomas para produção de álcool com o objetivo de misturá-lo à gasolina e também com a possibilidade da sua utilização como insumo básico da indústria petroquímica .

Na primeira fase o programa previa uma mistura à gasolina evoluindo de 5% em 1975 para 10% em 1976, 15% em 1977, 20% em 1978 e estabilizando em 25% em 1983.

A segunda fase do PROÁLCOOL nasceu com o chamado segundo choque do petróleo em 1979, com a conseqüente escassez

do produto no mercado internacional, elevando o preço do petróleo de US\$ 13.00 para US\$ 17.24 , atingindo o máximo de US\$ 34.37/barril.

O carro a álcool veio consolidar o PROÁLCOOL, mas a sua penetração no mercado não se deu de forma imediata. Na verdade o uso do álcool como combustível, não era inédito pois em 1929 em Recife, já circulavam cerca de 500 automóveis pelo "USGA", um combustível produzido pela Usina Serra Grande de Alagoas, tendo 75% de álcool e 25% de éter, [6].

O primeiro veículo a álcool foi um FIAT 147, em 1979, destinado a frotas cativas, e a partir de 1980 tornou-se disponível ao público.

O PROÁLCOOL foi responsável pela geração de uma nova tecnologia nacional desde novas variedades de cana-de-açúcar, aproveitamento de sub-produtos das destilarias, projetos de máquinas, equipamentos agrícolas e industriais, engenharia de motores e peças para veículos, controle de emissões e consumo de combustível, aplicações na álcool-química e a setores de ponta como a engenharia genética.

No campo social o PROÁLCOOL gerou mais de 580 mil empregos diretos e mais de 2 milhões indiretos, principalmente no Nordeste devido as oscilações do açúcar no mercado internacional.

No aspecto ambiental, o uso do álcool puro ou misturado à gasolina, em substituição, como anti-detonante ao chumbo tetraetila, veio melhorar sensivelmente o problema da poluição nas grandes cidades brasileiras, enquanto cidades como Atenas, Milão e Santiago, tiveram que coibir metade de suas frotas de

automóveis. Nos U.S.A. já existem legislações exigindo a adição progressiva de "oxigenados" (álcoois e derivados) para reduzir a emissão de gases poluentes, [4]. Na Europa já se aplicam reduções de impostos para combustíveis de origem vegetal. Portanto, vemos que no campo ambiental, o álcool se firma definitivamente, [7].

Quanto ao carvão vegetal, cerca de 70% produzido hoje provem de florestas nativas e os restantes 30% de florestas plantadas. Noventa e cinco por cento (95%) desse carvão é consumido pelas indústrias siderúrgicas, metalúrgicas e de fundição.

As empresas florestais são em sua maioria coligadas às indústrias siderúrgicas como : CAF / BELGO MINEIRA, FLORASA / ACESITA, MANNESMANN AGRO FLORESTAL. Mas até mesmo bancos privados vêm investindo em reflorestamento, atraídos pelos incentivos fiscais.

A grande participação do carvão, proveniente do cerrado e/ou matas nativas, deve continuar por algum tempo. No entanto, sua tendência é declinar cedendo lugar ao carvão e florestas plantadas . O distanciamento das frentes de cortes e questões de ordem ecológica são fatores de influência nas decisões, bastante relevantes, face às perspectivas futuras de utilização de madeira e carvão vegetal como fonte de energia.

O carvão mineral ou carvão de pedra é de origem vegetal, resultado de alterações violentas da crosta terrestre provocando a destruição e afogamento de enormes florestas, cujas árvores se familiarizam, dando origem aos depósitos carboníferos.

Constitui esse produto a base do grande surto industrial europeu dos séculos XVIII e XIX.

As principais reservas carboníferas mundiais estão localizadas na Alemanha, Inglaterra, França e Bélgica. Destacando as regiões de Sarre, do Ruhr e da Alta Silésia. Na ex-U.R.S.S. são notáveis as bacias carboníferas do Dobas, Kuznetsk e Karangada; na Ásia a de Fushun na Mandchúria; na América do Norte destaca-se a dos Apalaches, que vai da Pensilvânia ao Alabama, [8].

No Brasil destaca-se as reservas do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. O carvão brasileiro possui alto teor de cinzas e de enxofre.

O carvão é basicamente consumido para geração de energia elétrica, principalmente em Santa Catarina (80 % da energia elétrica consumida) e no Rio Grande do Sul (27 %). Outro consumidor em torno de 50% são as indústrias de cimento (34% do consumo nacional), química (5,5 %), alimentos e bebidas (3,0%) e papel celulose (5,5%), dentre outras, [3], [9].

O xisto é uma denominação genérica dada às rochas rudimentares oleígenas que contém disseminado na matriz mineral, argilosa ou calcária, um complexo orgânico que se decompõe termicamente produzindo hidrocarbonetos similares aos derivados do petróleo e gás natural, como óleo de xisto e gás de xisto.

O uso do xisto como combustível no Brasil remonta ao século passado, sendo Taubaté a primeira cidade brasileira a ser suprida com gás produzido a partir do xisto, usando retortas Henderson, ainda que por um breve período de tempo. Outra utilização histórica foi em 1884, com a produção de óleos

iluminante e lubrificantes, parafina e ácido sulfúrico no Estado da Bahia, [10].

Em 1941, a Companhia Nacional de Óleos Minerais (PANAL), iniciou a produção de óleo combustível, parafina e gás combustível. No ano de 1946, a PANAL, com ajuda do Governo Federal, projetou uma instalação para produzir 6.000 barris/dia de óleo, no Vale do Paraíba em São Paulo.

Em 1954, com a fundação da PETROBRÁS e da SIX (Superintendência da Industrialização do Xisto), os estudos geológicos passavam a ser conduzidos com seriedade e método, chegando-se a conclusão que a exploração do xisto na formação de Irati, no Paraná, era prioritária.

Tendo em vista o panorama energético nacional exposto sumariamente acima e a necessidade de sistematizar dados referentes a insumos energéticos do país, buscou-se através do presente trabalho reestruturar e validar um modelo preditivo, que embora tenha sido adotado nos U.S.A. [11], e também no Brasil, [12],[13], não levara em conta em nenhuma destas aplicações a preocupação em verificar seu comportamento ao longo dos anos. Assim este trabalho busca validar o modelo adaptado, para a previsão das fontes de energia, a partir de 1950 utilizando todos os dados disponíveis neste período.

Para definir o melhor modelo a ser utilizado, uma análise bibliográfica exaustiva é imprescindível e a esse respeito destacam-se:

- O MODELO LOGÍSTICO

O modelo logístico assume que os sistemas crescem na forma exponencial, atingindo um valor limite (assíntota horizontal), valor este inerente ao próprio sistema. Esta "saturação" da curva em torno da assíntota gera uma curva de formato em S. As curvas logísticas tem sido aplicadas no campo da biologia, tecnologia, economia, nas ciências sociais, etc. Vários trabalhos foram publicados como os de Pearl, [14], Fisher e Pry, [15], Mansfield, [16], Bodger e Tay, [17], dentre outros. A equação geral do modelo é dada por, [18]:

$$dN(t) / dt = a.N(t) / [1-N(t)/k]$$

Onde $N(t)$ - função a ser estudada

t - tempo

a - constante

k - assíntota

Para valores de $N(t) \ll k$ podemos tomar a solução particular para a equação acima da forma:

$$N(t) = k / [1+EXP(-a.t-b)]$$

Onde b é a constante de integração.

- O MODELO DE SUBSTITUIÇÃO

Para o modelo de substituição de energia, a substituição de uma forma de energia por outra é vista como uma competição de diferentes tecnologias disputando um dado mercado.

Desse modo, estuda-se a performance desse novo componente frente aos demais já existentes em termos percentuais. A equação para este modelo, tem a forma, [17]:

$$\text{LOG}[f/(1-f)] = c + d.t$$

Onde: f - fração percentual do novo competidor
t - tempo
c e d - são constantes

Este modelo se caracteriza por três fases:

- Crescimento
- Saturação
- Declínio

- E O MODELO BI-LOGÍSTICO

Há muitos casos em que o modelo logístico não satisfaz, em virtude da "saturação assintótica". O modelo bi-logístico procura corrigir esta distorção propondo uma solução combinada, com a curva proposta em forma de S duplo. A equação para este modelo, considerando dois pulsos em série, é dada por, [18]:

$$N(t) = k_1/[1+\text{EXP}[\text{LOG}(81).(t-t_m)/t_1]] + k_2/[1+\text{EXP}(81).(t-t_n)/t_2]$$

Onde - k1 e k2 são constantes
- t_m e t₁ períodos de tempo referentes ao primeiro ciclo
- t_n e t₂ períodos de tempo referentes ao segundo ciclo

O modelo adotado aqui, se assemelha ao modelo logístico, sem no entanto ser derivado deste. A semelhança se

restringe ao uso de equações exponenciais, (com a tendência de saturação da curva), mas a inexistência de uma assíntota previamente fixada, garante sua originalidade. Este modelo foi aplicado em vários países como no Paquistão, [73], na Líbia, [71], no Brasil, [12],[13].

A contribuição deste trabalho foi definir um parâmetro de ajuste para cada fonte de energia, a fim de que o modelo fosse ajustado aos dados históricos brasileiros, possibilitando assim, sua validação.

Nos capítulos que se seguem apresentamos uma descrição de cada uma das fontes de energia acima mencionadas. O capítulo 2 é dedicado ao estudo da Energia Elétrica, o capítulo 3 ao do Petróleo, o capítulo 4 ao do Gás Natural, o capítulo 5 ao Álcool, o capítulo 6 a Madeira e ao Carvão Vegetal, o capítulo 7 ao Carvão Mineral, o capítulo 8 ao Xisto Betuminoso. No capítulo 9 apresentamos O Modelo Matemático, no capítulo 10 A Análise e Discussão dos Resultados Obtidos, e finalmente no capítulo 11 a Conclusão deste trabalho, As Referências Bibliográficas e o Programa em linguagem FORTRAN, são apresentados em anexo.

2.0 - ENERGIA ELÉTRICA

2.1 - HISTÓRICO

A energia elétrica começou a ser usada comercialmente no Brasil em 1879, no mesmo ano que nos U.S.A., pela Central do Brasil gerada por meios mecânicos. Nesse mesmo ano era acendida a primeira lâmpada através do acionamento de um dínamo na Escola de Minas e Metalurgia de Ouro Preto - MG. Ainda no mesmo ano o Imperador iluminava com sessenta (60) lâmpadas uma exposição industrial.

As primeiras hidrelétricas foram construídas em Minas Gerais. A de Diamantina em 1883, a de Nova Lima em 1887, e a de Marmelos em Juiz de Fora em 1889 com capacidade de 252 KW, gerando energia para serviços públicos, [9].

Em 1887 era instalada a primeira Termelétrica no Rio de Janeiro iluminando diversas ruas com o uso de cem (100) lâmpadas.

Em 1901 é inaugurada a usina de Paraíba, no Rio Tietê-São Paulo, com capacidade de 2 MW, volume excepcional para a época. Nessa época a eletricidade era usada praticamente para iluminação e transporte. Sendo a primeira linha de bondes elétricos inaugurada em 1883 em Niterói-Rio de Janeiro e em 1900 a Light iniciara o transporte por eletricidade, operando a linha Barra Funda.

Em 1908, usina de Fontes (RJ) de 24 MW, atendendo o Distrito Federal e alguns municípios do Rio de Janeiro. E em

1923, a usina dos Pombos na divisa de Minas Gerais e Rio de Janeiro, atendendo a demanda até o início da II Guerra Mundial. Logo depois ampliada a usina de Fontes com a elevação da barragem de 28 m, aumentando sua capacidade para 190 MW. Para atender a demanda de São Paulo foi construída uma usina em Cubatão, atual Henry Borden com capacidade de 44 MW, em 1926.

Em 1945 é criada a CHESF, Cia. Hidrelétrica do São Francisco para atender as necessidades de geração e distribuição de energia para todo o Nordeste. Em 1949 são iniciadas as obras da Usina de Paulo Afonso, propiciando a instalação no país da primeira unidade industrial para produzir componentes pesados eletro-mecânicos para atender as hidrelétricas, diminuindo assim a dependência externa .

As águas do São Francisco foram represadas em 1954, entrando em operação a primeira casa de força subterrânea do Brasil com duas (02) unidades de 60 MW cada, esta obra demarca claramente a presença estatal no setor energético do país, [9].

No Estado de São Paulo havia um estrangulamento para suprir a eletrificação da Estrada de Ferro Sorocabana. Inicia-se assim em 1949, as obras da hidrelétrica de Salto Grande (68 MW).

Em 1950 é criada a CIBPU - Comissão Interestadual da Bacia do Paraná, destinada ao estudo e planejamento dos problemas sócio-econômicos comum aos estados possuidores de áreas na Bacia Paraná-Uruguai.

Em 1954 entra em operação a Termelétrica de Piratininga-São Paulo, de propriedade da canadense Light, de 450 Mw.

Em 1959, o potencial instalado Nacional era de 4000 MW,

sendo que em 1948 era de 1700 MW. Nesse ano já se cogitava da construção de uma usina Nuclear brasileira, sendo previsto uma unidade de 150 MW, para suprir São Paulo e Rio de Janeiro, com 50% de participação Nacional. Entra em operação a segunda casa de força de Paulo Afonso com 360 MW. Em face da demanda crescente de energia, iniciaram-se estudos da hidrelétrica de Ilha Solteira, Jupia e também o embrião da Itaipu Binacional. O setor elétrico apresenta-se com destaque na I Feira de Mecânica Nacional com o país tendo alcançado alto índice técnico, comparado aos similares estrangeiros.

Em 1960 é criado o Ministério das Minas e Energia cujo objetivo era o estudo e o despacho de todos os assuntos relativos à mineração e a produção de energia. A eletrificação rural ganha novo impulso. A disponibilidade de energia elétrica a baixos custos era condição necessária para o desenvolvimento econômico nacional. Surge sistema interligado Sul-Sudeste.

Em 1961 é criada a Eletrobrás - Centrais Elétricas Brasileiras S.A., projeto que representava importância fundamental para o setor elétrico brasileiro, cujos objetivos eram : valorização de estudos, projetos, construção e operação de usinas produtoras e de linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica.

O grande hiato na geração de energia no Brasil era o Nordeste e a CHESF, para suprir este hiato necessitavam de grandes investimentos. Entra em debate a questão da frequência no país que em São Paulo era de 60 HZ e no Rio Grande do Sul de 50 HZ.

Em 1964, com a ascensão do Regime Militar, o Ministério das Minas e Energia aprovava uma nova política de energia elétrica, tendo os seguintes destaques:

01 - Manutenção da concentração de recursos na energia hidráulica para produção de eletricidade;

02 - Prosseguimento do aproveitamento das reservas de carvão no Sul do País como fonte suplementar para produção de eletricidade;

03 - Concentração das atividades na área da energia na pesquisa, na prospecção, produção de isótopos, formação de técnicos e havendo recursos, a construção de uma usina Átomoelétrica;

04 - A redução da programação de usinas termelétricas que queimavam óleo combustível ao limite inferior de potência.

Também uma das metas do novo governo era a estatização das concessionárias de energia elétrica.

No ano de 1965 entra em pauta a implementação de tarifas realistas e corte de subsídios para o setor. Para conter as importações de petróleo propõem-se a substituição do óleo por xisto betuminoso ou por carvão. Previa-se também a interligação do sistema NE-SE via Paulo Afonso e NE-Norte via Usina Boa Esperança no Rio Parnaíba, [19]. Neste ano as usinas privadas respondiam por 56% do fornecimento global de energia do país, 42% da produção e 38% da potência instalada.

Em 1966 é criada a CESP - Centrais Elétricas de São Paulo, resultado da unificação de onze (11) companhias de energia elétrica.

Em 1967, o Ministro das Minas e Energia, Mauro Thibau, anunciava que o Brasil possuía um dos maiores potenciais

hidráulicos do mundo, da ordem de 75 mil MW de potência contínua, o suficiente para atender uma demanda de 150 mil MW, sendo 56% na região Centro sul e 44% na Bacia Amazônica. O plano decenal do governo para o setor energético definia algumas prioridades como: unificação da frequência em 60 HZ, interligação dos principais sistemas, aproveitamento das reservas de carvão do Sul, ampliação do sistema gerador, utilização dos derivados do petróleo para geração elétrica condicionada às instalações de emergência. O comitê de Estudos Energéticos da Região Centro-Sul analisava a viabilidade de execução do projeto de Ilha Grande, no Rio Paraná, que pretendia substituir ITAIPU por um conjunto de três (03) usinas em território Nacional : Ilha Grande (3910 MW), Salto de Santa Maria (5170 MW) e Acaraí (5170 MW) somando 15.050 MW de potência instalada.

A General Electric entregava à FEPASA, a primeira locomotiva elétrica de fabricação nacional.

Em 1968 entrava em operação a linha de transmissão de 345 KW, 437 KM, interligando a usina de transmissão de furnas ao Estado da Guanabara. O governo paulista anuncia as empresas vencedoras da concorrência para construção da Usina de Ilha solteira, 3.2 mil MW, sendo : Pentaconsort formado pelas empresas Hitachi, Toshiba, Brown Boveri e Asea e o European Consortium, que reunia a GIE, Siemens, Slosthom, Sfac, AEG-Telefunken, Voith , Escher Wyss e Coensa ; sob protestos da ABINEE que sentia aliada dos processos de licitação para fornecimento de equipamentos a hidrelétricas. A Argentina protestava contra o fechamento da barragem de Jupia, alegando uma possível agressão à vazão do Rio Paraná. A demanda de energia crescia a altas taxas, 10% em 1968 e

13% em 1969 ; enquanto que o potencial instalado crescia de 6,84 mil MW em 1964 para 10,136 mil MW em 1969. No Rio Grande do Sul tinha início a mudança de frequência para 60 HZ. Entrava em funcionamento o quarto maior "Linhão" do mundo, o de Jupia, com 548 Km.

No início da década de '70, o País vive momentos eufóricos marcados pelo "Milagre Econômico" . Nesse contexto várias usinas são anunciadas com grandes investimentos no setor como : Usina Nuclear de Angra do Reis de 500 MW e custo estimado em 150 milhões de dólares; linha de transmissão Figueira-Xavantes interligando SP-PR; "Linhão" ligando Urubupungá a São Paulo; início de obras em Itaipu Binacional; Usina de Marimondo (1400 MW) no Rio Grande por Furnas; Jaguará, Água Vermelha, Porto Colômbia, São Simão, Sobradinho dentre outras.

Em 1973, o conflito Árabe-Israelense representaria o fim do petróleo barato, levando o País a buscar outras fontes alternativas , além da hidrelétrica, a produção de xisto, a energia nuclear, etc., e também viabilizando Itaipu.

No ano de 1974, com a posse do novo General-Presidente, Ernesto Giesel e o novo Ministro das Minas e Energia, Shiegeaki Ueki, o setor elétrico ganha novas diretrizes e planos de investimentos como : estudos para transmissão de energia a longas distâncias em linhas de extra-alta tensão, visando o aproveitamento do potencial da Amazônia; estudos da usina protótipo de Irati, no Paraná, usando xisto betuminoso; prioridade na geração de energia de origem hidráulica e redução na de origem térmica; triplicação da potência de Angra I,

passando a 1878 MW. O potencial da Amazônia, segundo a Eletronorte, estava em torno de 80 mil MW.

Em 1975, começa a funcionar a primeira usina piloto para a produção de concentrado de urânio (Yellow Cake) da América Latina, em Poços de Caldas - MG. O Brasil firma acordo com a Alemanha Ocidental para a compra de oito (08) reatores nucleares, incluindo transferência de tecnologia, especialmente no ciclo do combustível para enriquecimento e processamento de urânio.

A Eletrobrás proibia a CESP executar obras de construção de usinas fora do Estado de São Paulo. Entra em pauta o projeto Tucuruí, mesmo que os japoneses voltassem atrás no projeto de exploração da bauxita e produção de alumínio no Pará. O Presidente da Eletrobrás, Mário Bhering, afirmava que o Brasil tinha o segundo plano hidrelétrico do mundo, superado apenas pela URSS.

Novas usinas são liberadas como : Emborcação, no Rio Paranaíba (1200 MW); Nova Ponte , no Rio Araguari (350 MW); Aimorés, no Rio Doce (400 MW), todas da CEMIG e ainda a de Itaparica no Rio São Francisco (2000 MW), da CHESF.

Os técnicos do governo previam que na década seguinte o setor elétrico teria um déficit, especialmente na Região Sudeste .

Surge um projeto para interligação de todo o sistema Nacional através das linhas de transmissão do NE-Norte e Sul-Sudeste. O Presidente da Eletrosul, Thompson Flores, rejeitava a instalações de usinas nucleares no País, pois a Região Sul possuía grandes reservas de carvão e a térmica a carvão era bem mais barata do que a nuclear. A CESP iniciava levantamentos para

aproveitamento de pequenas quedas d'água (de 1 a 20 m) para geração de energia, com usinas do tipo bulbo, [20].

A Eletrobrás desenvolvia estudos para implantação de usinas maremotrizes no País. Com a inauguração da Usina de Marimbondo, no Rio Grande, Furnas marcava uma iniciativa pioneira; a energização do sistema de transmissão era de 500 KV, a mais alta da América Latina.

Em 1977, o presidente americano Jimmy Carter, posicionava-se contra o programa nuclear brasileiro. O desenvolvimento da tecnologia de urânio, a construção de reatores e o reprocessamento de combustíveis representavam uma nova era com a possibilidade do País tornar-se uma potência industrial. Era aprovado o projeto Ipiranga que previa o desenvolvimento de fontes alternativas de energia como a Eólica, Gaseificação do carvão, Hidrogênio, Aproveitamento do Esgoto e do Lixo, Gaseificação da Lenha e Usinas Maremotrizes. O Brasil encontra-se entre os quatro Países mais desenvolvidos no campo da geração hidrelétrica igualando-se aos U.S.A., URSS e Canadá. Projetava-se para o ano 2000 uma capacidade geradora de 180 mil MW, sendo 61% de origem hidrelétrica.

Em 1978, o governo reafirma o acordo Brasil - Alemanha para a construção de oito (08) usinas e o enriquecimento de urânio. Alguns técnicos do setor energético do Rio de Janeiro calculavam que o potencial hidrelétrico brasileiro poderia chegar a 465 mil MW, caso fossem considerados os pequenos aproveitamentos. Um consórcio de empresas brasileiras vence uma concorrência internacional para construir a segunda hidrelétrica do mundo, denominada Guri, na Venezuela, de 09 mil MW. A CESP

opunha-se ao projeto Itaipu, defendendo que ao invés de supermotorização da usina (com o acréscimo de duas máquinas) deveriam ser construídas 14 usinas reversíveis na Serra do Mar, visando ao atendimento dos déficits previstos de abastecimento de eletricidade .

Em 1979 o programa Nuclear volta em discussão sendo para alguns uma espécie de plano suicida, com custos astronômicos , visando obter mais conhecimento da tecnologia como meio de afirmação da soberania brasileira ao invés da produção de energia elétrica em caráter suplementar.

A Unicamp desenvolvia um novo processo para produção de água pesada, utilizando a excitação eletromagnética com raios laser .

A crise de petróleo, a derrubada do Xá da Pérsia e a consequente alta do preço do barril chegavam até o Brasil com uma projeção de futuro bastante sombria e o governo instituiu a economia de guerra . Novamente as fontes alternativas entram em voga como: reservas de carvão do sul do País e o uso da biomassa (bagaço, carvão vegetal, etanol, lenha, metanol e óleos vegetais). A Eletrobrás estima o potencial firme brasileiro em 209 mil MW.

No início da década a crise força ao adiamento das usinas nucleares, o sistema energético ameaçado de perder sua confiabilidade com a ocorrência de um blecaute, mesmo assim o início de novas usinas é adiado em virtude de os bancos estrangeiros não se mostrarem dispostos a aumentar seu grau de investimentos no País. É lançado o plano 2000, prevendo um consumo de energia per capita de 548 mil KWh, com alterações

qualitativas na economia e no padrão de vida do brasileiro, [21].

Um novo sistema de tarifas é implantado com tratamento diferenciado para os períodos secos e úmidos, dentro e fora de ponta de carga (horosazonal), diariamente entre as 17 e 21 h. Os consumidores foram divididos em sub-grupos, conforme sua tensão. No sub-grupo A1 aqueles com tensão acima de 230 KV, no A2 de 83 a 138 Kv, no A3 de 20 a 69 KV e no A4 de 2,3 a 13,8 KV.

A horosazonal foi criada como tentativa de eliminar do horário de ponta de carga os maiores consumidores, dispensando investimentos em transmissão e distribuição na hora de atender as ampliações do mercado. Em função da recessão e da entrada de novas usinas em operação, o DNAEE registrava um excedente de 2,6 mil MW ou 3,5 a 4 mil MW firmes, energia efetivamente produzida pela usina, conforme a CNE. Ora com o excedente de energia elétrica, as concessionárias buscavam novos consumidores para o seu produto, oferecendo por exemplo (EGTD), Energia Garantida por Tempo Determinado, cujas tarifas eram bastante inferiores.

Em 1983, o perfil de tarifas para a cotação 1 US\$ = Cr\$ 474,29, era o seguinte: Classe A1 a 3,8 milésimos de dólar por Kw e 12,32 milésimos de dólar por KWh; na classe A2 a 4,13 por KW e 13,52 por KWh; classe A3 5,6 milésimos de dólar por KW e 14,11 por KWh; A4 a 5,32 por KW e 19,15 por KWh; enquanto o consumidor residencial da classe B1 pagava 77,6 milésimos de dólar por KWh e o setor rural a 31,9 por KWh e a iluminação pública a 21,41 por KWh, [9].

A tarifa de energia elétrica nacional era inferior a de outros países, o que propiciava a competitividade de produtos

brasileiros no mercado internacional.

Em 1984 entrava em operação as usinas de Itaipu e Tucuruí, projetos de grande envergadura e inovadores como os geradores e as linhas de transmissão em CC de Itaipu, enquanto Tucuruí representava o desafio da grande barragem em plena selva Amazônica com possibilidade de atrair novos investimentos e novas tecnologias para a região. No final da 1985 registrava-se um blecaute em dez (10) unidade da federação, era suspenso o fornecimento de Energia Garantida por Tempo Determinado (EGTD) e instituí-se o horário de verão a partir de novembro daquele ano, [22]. Elabora-se um plano de recuperação do setor elétrico com aumento do potencial instalado de 45 mil MW para 57,5 mil MW em 1989. As tarifas passaram a ser reais depois do aumento no final de 1985. No ano de 1986, quando o setor elétrico esboçava uma reação, é decretado o Plano Cruzado congelando preços, salários e tarifas. Por outro lado, os países da OPEP encharcavam o mercado internacional com petróleo, de modo que os energéticos concorrentes se inviabilizassem como o Pró-Álcool e a prospecção em lâminas de água profundas no mar.

Em 1987 surge o Plano 2010, da eletrobrás, que previa um consumo de energia elétrica de 678,6 TWh em 2010 a uma taxa de crescimento de 5,5% em '87; 8,1% em '88; 7,6% em '89; 7,2% em '90; 6,2% no quinquênio 90/95; 5,5% no período 95/2000 e 4,9% na década seguinte. Previa-se também uma redução nas taxas de elasticidade, crescimento do PIB versus expansão de energia elétrica, sendo 1,19% no período 70/75; 1,07 em 85/90 e reduzindo a 0,91% entre 2005/2010, [23].

Surge também o PROCEL - Programa Nacional de Conservação

de Energia Elétrica, que pretendia uma economia da ordem de 4.484 GWh em 1990 para 88.114 GWh em 2010, em virtude da necessidade de recursos da ordem de US\$ 6 bilhões anuais para manter o mercado atendido até 2010.

O racionamento de energia atinge o Nordeste, com alguns políticos pressionando para que fechasse temporariamente a ALUMAR do Maranhão, com carga de 450 MW, igual a do Estado de Pernambuco.

Em 1988, o programa nuclear volta a ordem do dia. O presidente José Sarney anuncia que os técnicos da CNEN, ligado a área militar do programa nuclear paralelo, haviam conseguido enriquecer urânio a 1,2%, utilizando instalações, equipamentos e pessoal nacional, pelo processo de ultracentrifugação, ao invés do sistema Jet Nozzle herdado do acordo com a Alemanha. Outro encrave a expansão do setor elétrico refere-se a concessão de financiamento por parte do BIRD, em razão das incertezas do programa nuclear e também com relação as hidrelétricas previstas para a Amazônia e também a remuneração adequada das empresas de energia elétrica, [24]. Dentre essa usina se destacando a de Kararaô (11 mil MW) no Rio Xingú, a um custo de US\$ 5,8 bilhões, representando US\$ 520 por KW instalado, a de Jarina (620 MW), Krokaimoro (1,5 mil MW), Ipixuna (1,9 mil MW), Babaquara (6,8 mil MW), [25].

As pressões internacionais e nacionais, de ecologistas a indigenistas, levaram a contenção das obras de aproveitamento hidrelétrico na Amazônia, em fase aos riscos do meio ambiente. Nesse contexto houve uma espécie de valorização das

usinas atômicas , bem como das termelétricas a lenha e a carvão mineral, bem como as que utilizam resíduo asfáltico, ao lado das refinarias da Petrobrás e também o incentivo à auto-geração e a co-geração no âmbito da iniciativa privada, [26].

A partir de 1990 como o aprofundamento da recessão houve uma certa contenção no consumo e com a entrada de algumas hidrelétricas no sistema, o setor elétrico sentiu um certo alívio. O consumo total de energéticos em 1992 foi um pouco menor que em 1989. Em relação ao setor elétrico, trabalha com uma folga da ordem de 2 mil MW. Com a previsão de operação de outras usinas em construção e com a implementação da cogeração, principalmente no setor sucro-alcoóleiro e metalúrgico-siderúrgico, os técnicos do setor estão prevendo uma oferta de energia estável para os próximos cinco anos, desde que o país não volte a crescer aceleradamente, [27], [28], [29].

2.2 - PARQUE HIDRELÉTRICO BRASILEIRO

O consumo total de energia elétrica no Brasil foi de 230 bilhões de KWh em 1992, [30], sendo 97% de origem hidráulica. As termelétricas se destinam a abastecimento isolado ou à complementação do sistema quando da ocorrência de períodos hidrológicamente desfavoráveis ou problemas de atendimento localizado.

O sistema elétrico nacional é dividido em três partes : Sistema Sul/sudeste/Centro-Oeste, Sistema Norte/Nordeste e os Sistema isolados da Região Norte, [19].

Principais características:

- Reservatórios com regularização plurianual;
- Grandes distâncias entre as fontes produtoras e centros consumidores;
- Bacias hidrográficas com diversidade hidrológica;
- Elevado grau de interligação elétrica entre sistemas de bacias ;
- Grande parte do potencial hidrelétrico ainda disponível.

A tabela 1 mostra a evolução da capacidade nominal instalada no País, cujo crescimento foi de 8,2% nas décadas de '60 e '70 e de 6,6% na década de '80, [28]. Enquanto na tabela 2 vemos as projeções, de acordo com o plano 2010, crescimento de 6,2 % no período de 90/95; 5,5% entre 95/2000 e 4,9% na década seguinte, [23].

TABELA 1
CAPACIDADE NOMINAL INSTALADA - MW (1) [23]

	HIDRÁULICA	TÉRMICA	TOTAL
1962	4.126	1.603	5.729
1966	5.524	2.042	7.566
1971	10.244	2.426	12.670
1976	17.675	3.385	21.060
1981	30.600	3.656	34.256
1986 (1)	38.682	4.483	43.165
1991	52.376	4.770	57.146

(1) Inclui capacidade total, em operação, de Itaipu.

TABELA 2
EXPANSÃO DA CAPACIDADE DE GERAÇÃO
ELÉTRICA BRASILEIRA (1000 MW) [23]

TIPO	1986	1990	1995	2000	2005	2010
Hidráulica	38,5	53,4	73,9	93,3	116,9	141,8
Térmica	4,2	5,1	7,4	9,7	13,8	18,2
Carvão	0,7	1,3	1,9	3,0	4,6	6,5
Nuclear	0,6	0,6	1,9	3,1	5,6	8,1
Outras	2,9	3,2	3,6	3,6	3,6	3,6
TOTAL	42,7	58,5	81,3	103,0	130,7	160,0

Participação (%)

TIPO	1986	1990	1995	2000	2005	2010
Hidráulica	90,2	91,3	91,0	90,6	89,4	88,6
Térmica	9,8	8,7	9,0	9,4	10,6	11,4
Carvão	1,6	2,2	2,3	2,9	3,5	4,1
Nuclear	1,4	1,0	2,3	3,0	4,3	5,1
Outras	6,8	5,5	4,4	3,5	2,8	2,2
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

A tabela 3 apresenta as principais usinas hidrelétricas com potência instalada igual ou superior a 30 MW. Representando cerca de 87,6% da capacidade das usinas hidrelétricas e 80,3% da potência total instalada no país.

TABELA 3
USINAS HIDRELÉTRICAS EM OPERAÇÃO EM 31/12/91
COM POTÊNCIA INSTALADA MAIOR OU IGUAL A 30 MW [30]

USINA	ESTADO	POTÊNCIA INSTALADA (MW)	ÁREA INUNDADA (KM2)	VOLUME DO RESERVATÓ- RIO (HM3)
Balrina	AM	250,0	2.360,0	17.436,0
Coaracy Nunes I	AP	40,0	23,0	138,5
Funil	BA	30,0	4,1	53,0
Paulo Afonso I	BA	180,0	4,8	26,0
Paulo Afonso II	BA	215,0	4,8	26,0
Paulo Afonso 2B	BA	228,0	4,8	0,0
Paulo Afonso 3	BA	800,0	4,8	26,0
Paulo Afonso 4	BA	2.460,0	16,0	128,5
Sobradinho	BA	1.050,0	4.214,3	34.115,0
Moxotó	BA/PE	400,0	93,0	1.124,0
Mascarenhas	ES	123,0	4,1	41,1
Suíça	ES	34,0	0,6	1,3
Cach. Douradq	GO	448,0	74,00	519,0
Itumbiara	GO/MG	2.280,0	798,0	17.027,0
Camargos	MG	48,0	73,4	792,0
Emborcação	MG	1.192,0	49,2	17.650,0
Furnas	MG	1.312,0	1.442,0	22.950,0
Itutinga	MG	54,5	1,6	11,4
Jaguara	MG	400,0	33,0	420,0
Marimbondo	MG	1.488,0	438,0	6.150,0
Peixoto	MG/SP	478,0	263,7	4.040,0
Nova Maurício	MG	32,10	3,4	26<4
Porto Colômbia	MG	328,0	144,0	1.524,0
Sá Carvalho	MG	48,0	0,0	20,5
Salto Grande	MG	102,0	0,0	80,0
Três Marias	MG	396,0	1.042,0	19.280,0
São Simão	MG/GO	1.680,0	674,0	12.540,0
Volta Grande	MG/SP	380,0	195,0	2.170,0
Curuá-Una	PA	30,0	78,0	530,0
Tucuruí I	PA	3.890,0	2.430,0	45.500,0
Itaparica	PE/BA	1.500,0	835,0	10.700,0
Boa Esperança	PI	216,0	363,0	5.059,0
Foz da Areia	PR	1.676,0	148,0	5.799,0
Guaricana	PR	36,0	0,9	7,0
Itaipu (Binac.)	PR (01)	6.300,0	1.460,0	29.000,0
Júlio Mesquita Fº	PR	50,0	0,5	1,5
Parigot de Souza	PR	252,0	13,1	179,0
Salto Osório	PR	1.050,0	62,0	1.124,0
Salto Santiago	PR	1.332,0	208,0	6.753,0
Fontes Novas	RJ	123,0	30,7	415,0
Funil	RJ	222,0	39,7	888,0
Ilha dos Pombos	RJ/MG	159,0	3,5	140,0
Nilo Peçanha I	RJ	380,0	3,8	398,0
Pereira Passos	RJ	100,0	1,1	86,5
Samuel	RO	86,4	560,0	3.250,0
Canastra	RS	42,5	0,0	0,4
Itaúba	RS	500,0	13,5	620,3

USINA	ESTADO	POTÊNCIA INSTALADA (MW)	ÁREA INUNDADA (KM2)	VOLUME DO RESERVATÓ- RIO (HM3)
			4,7	42,0
Jacuí	RS	180,0	149,0	1.589,0
Passo Fundo	RS	220,0	225,5	3.650,0
Passo Real	RS	140,0	0,0	0,0
Alecrim	SP	72,0	62,5	545,0
Álvaro te S. Lima	SP	144,0	11,4	0,0
Americana	SP	34,0	425,0	6.520,0
Armando Laydner	SP	97,8	2,7	25,4
A.S. Oliveira	SP	32,2	328,0	3.140,0
Barra Bonita	SP	140,8	31,1	555,0
Caconde	SP	80,4	46,5	1.423,0
Estreito	SP	1.104,0	1,1	13,5
E.da Cunha	SP	108,8	0,0	0,0
Fumaça	SP	35,2	0,0	0,0
Henry Borden	SP	880,0	113,5	985,0
Ibitinga	SP	132,0	216,5	2.750,0
N. Avandava	SP	303,0	176,0	4.730,0
Paraibuna	SP	86,0	530,0	7.400,0
Promissão	SP	264,0	0,0	0,0
Salto Iporanga	SP	36,3	647,0	11.000,0
Água Vermelha	SP/MG	1.380,0	1.200,0	21.116,0
Ilha Solteira	SP/MS	3.230,0	327,0	3.680,0
Jupiá	SP/MS	1.414,0	515,0	10.450,0
Sapivari	SP/PR	640,0	12,2	48,0
Lucas N. Garcez	SP/PR	72,0	217,0	1.918,0
Rosana	SP/PR	80,0	398,0	8.750,0
Xavantes	SP/PR	416,0		
TOTAL		45.874,9 (1)	23.841,9	

TOTAL

45.874,9 (1) 23.841,9

(1) Considera apenas a parte nacional de Itaipu.

Cumpra declarar que o valor do potencial hidrelétrico representa a parcela composta por aproveitamentos cuja avaliação técnico-econômica atendeu aos critérios vigentes quando os estudos foram realizados. Em razão disso, essa avaliação está sujeita a alterações, principalmente em decorrência dos impactos ambientais dos aproveitamentos.

A tabela 4 mostra a distribuição do potencial hidrelétrico brasileiro, em Energia Firme, por bacia hidrográfica, e a tabela 5 mostra a distribuição por estados.

TABELA 4
POTENCIAL HIDRELÉTRICO BRASILEIRO (MW)
Energia Firme (MW Ano) - Situação em 31/12/91 [30]

ESTÁGIO\ =>	OPERAÇÃO E CONSTRUÇÃO	INVENTÁRIO/ VIABILIDADE/ PROJETO BÁSICO	ESTIMADO	TOTAL
BACIA				
Amazonas	191,5	16.662,2	37.173,5	54.027,0
Tocantins	3.515,5	9.531,1	1.549,4	14.596,0
Atlant. N-NE(1)	140,0	94,6	1.329,0	1.563,6
São Francisco	5.707,0	2.673,0	1.270,0	9.650,5
Atlant. Leste(1)	909,7	5.579,9	1.327,0	7.816,6
Paraná	18.715,2	6.045,8	5.426,1	30.187,1
Uruguai	141,7	6.268,0	1.355,4	7.765,1
Atlant. Sudeste(1)	743,8	765,1	1.931,0	3.439,9
TOTAL	30.064,4 (23,3 %)	47.619,7 (36,9 %)	51.361,9 (39,8 %)	129.046,0 (100 %)

- (1) .Atlântico N-NE - Compreende as bacias dos rios que deságuam no Oceano Atlântico ao Norte da Bacia Amazônica e entre a foz do rio Tocantins e a do rio São Francisco;
- .Atlântico Leste - Compreende as bacias dos rios que deságuam no Oceano Atlântico entre a Foz do rio São Francisco e a divisa RJ/SP;
- .Atlântico Sudeste - Compreende as bacias dos rios que deságuam no Oceano Atlântico ao Sul da divisa RJ/SP.

2.3 - POTENCIAL HIDRELÉTRICO DA AMAZÔNIA

O potencial das bacias dos rios Amazonas e Tocantins é de 68.000 MW firmes, que representam 53% do potencial brasileiro, 69% ainda não aproveitados e cerca de 6% do mundial estimado em 1.100.000 MW ano.

Em virtude desses dados, o Brasil dificilmente poderá abrir mão dos recursos hidroenergéticos da região Amazônica. O

TABELA 5
POTENCIAL HIDRELÉTRICO BRASILEIRO
Potência Instalada (MW)
Situação em 31/12/91 [30]

EST.	APROVEITADO		DISPONÍVEL		TOTAL GERAL POR ESTADO
	Construção	Operação	Inventário/ Viabilidade/ Proj. Básico	ESTIMADO	
AC	-	-	-	1.093,0	1.093,0
AL	1.500,0		2.665,0	17,2	4.182,2
AM	-	260,0	763,1	19.322,0	20.345,1
AP	0=	40,0	100,0	2.537,0	2.677,0
BA	10,0	6.156,0	5.407,5	994,1	12.557,6
CE	-	4,4	8,3	-	12,7
DF	-	19,0	-	-	19,0
ES	-	183,6	249,9	875,9	1.059,5
GO	1.777,6	2.436,1	4.241,2	4.285,8	12.740,7
MA	-	1,0	1.327,0	452,0	1.779,0
MG	900,0	10.238,4	10.423,0	4.250,8	24.912,2
MS	1.569,0	2.353,3	484,8	1.131,6	5.538,7
MT	243,0	35,6	778,1	17.669,0	17.947,6
PA	350,0	3.920,0	34.530,6	21.360,0	60.160,6
PB	0	3,5	2,1	5,5	11,1
PE	-	970,0	2.267,0	24,0	3.261,0
PI	-	216,0	60,0	104,2	380,2
PR	2.292,0	(1)11.407,4	6.626,5	2.618,3	22.944,2
RJ	-	995,1	3.206,9	428,1	4.630,1
RN	-	-	2,2	-	2,2
RO	129,6	86,4	1.429,4	13.675,0	15.320,4
RR	-	-	872,0	4.306,0	5.178,0
RS	-	1.111,1	6.638,5	4.319,9	12.069,5
SC	-	101,8	5.625,8	2.361,8	8.089,4
SE	1.500,0	-	2.665,0	-	4.165,0
SP	2.573,0	8.498,1	3.218,5	1.141,00	15.430,6
TO	00-	20,3	4.885,0	50,0	4.926,1
TOTAL	12.844,2	48.147,1	98.447,4	101.994,0	261.432,7

(1) Computada 50% da potência instalada de Itaipu.

grande desafio que se apresenta é definir que parcela desse potencial poderá ser efetivamente aproveitada sem produzir efeitos ambientais julgados inaceitáveis pela sociedade e também os projetos não poderão se limitar a concepção de usinas para suprimentos de grandes centros de consumo, sem a consideração de

benefícios para os estados e regiões onde se situa o potencial .

Cumprе ressaltar que o próprio setor elétrico pode se tornar um grande aliado dos que defendem a preservação da cobertura florestal da região, pois o desmatamento contribui para o agravamento das estiagens e das enchentes, exigindo a construção de reservatórios e vertedouros maiores, tornando as obras mais onerosas. A remoção da vegetação acentua o processo de erosão da bacia de drenagem acelerando o assoreamento do reservatório e a abrasão das turbinas.

Um outro desafio se apresenta para o aproveitamento hidrelétrico da região Norte. Como essa energia irá ser transmitida até os centros consumidores da região Sudeste ? Esta resposta pode ser dada de duas formas :

01 - Usando tecnologia existente no País, como as linhas de transmissão de Itaipu a São Paulo, transmissão em corrente contínua e tensão de mais ou menos 600 KV ou a transmissão em corrente Alternada a um tensão de 800 KV; neste processo o custo aproximado está entre US\$ 13,4 e US\$ 15,4 por MWh.

02 - Sistema de transmissão em corrente Alternada e tensão de 1000 KV correspondente a um custo de 4% superior ao processo anterior.

A tabela 6 nos fornece as áreas a serem inundadas quando da formação dos reservatórios das usinas hidrelétricas. Nota-se que apenas 2% da região Amazônica seria inundada , [30].

A tabela 7 nos mostra as áreas exportadoras de energia, os Centros Consumidores, bem como as distâncias , ano de operação previsto e a capacidade requerida em MW para cada centro

consumidor, [31].

TABELA 6
ESTIMATIVA DE ÁREAS A SEREM INUNDADAS
NA FORMAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS, [30]

ÁREAS INUNDADAS							
REGIÃO	ÁREA TOTAL 6 (10ha)*	USINAS EM OPERAÇÃO E CONSTRUÇÃO 6		USINAS PROJETADAS (ANO 2000) 6		POTENCIAL TOTAL 6	
		(10 ha)	(%)	(10 ha)	(%)	(10 ha)	(%)
Amazônia	500	0,6	0,1	1,3	0,3	10,0	2,0
Outras Regiões	350	2,3	0,6	3,9	1,1	4,2	1,2
TOTAL	850	2,9	0,3	5,2	0,6	14,2	1,7

2

* ha = 10.000 M

TABELA 7
TRANSMISSÃO DE ENERGIA NA AMAZÔNIA, [31]

ÁREA DE GERAÇÃO	CENTROS CONSUMIDORES	DISTÂNCIAS KM	ANO PARA INÍCIO DE OPERAÇÃO	CAPACIDADE(MW)
		2400	2000	4200
	Belo Horizonte	2600	2005	4200
	Rio de Janeiro	2300	2005	4200
Marabá	São Paulo	2200	2005	4500
	Recife			
		2800	2005	4800
Cuiabá	São Paulo			

2.4 - USINAS HIDRELÉTRICAS REVERSÍVEIS

Em 1991, a Eletrobrás elaborou um trabalho "Levantamento do Potencial de Usinas Hidrelétricas Reversíveis". Este trabalho realizado em escritório, levantou o potencial e estimou o custo de implantação de aproveitamento em locais adequados para usinas

reversíveis (UHR) nas Regões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil, tendo como critérios balizadores o tempo de utilização (TU) de 14 horas, compatível com a operação em ciclo semanal, módulos de potência (MP) de 2.000 MW para a Região Sudeste e 1.000 MW para o Sul e Nordeste e custo máximo de US\$ 600.00 por KW , [30].

Os reservatórios de armazenamento têm capacidade limitada e, em geral, permitem que a usina opere como geradora apenas durante 4, 8 ou 10 horas continuamente. As usinas reversíveis operam num ciclo diário ou semanal. Quando do término do ciclo, o volume do reservatório, deve estar de volta ao valor inicial. Outra limitação a ser considerada é assegurar-se sempre que as potências de bombeamento e geração sejam compatíveis com as correspondentes capacidades efetivas disponíveis, [32].

A tabela 8 apresenta os valores do potencial e dos custos distribuídos por região geográfica e por estado, levando-se em conta que tais dados são preliminares , pois precisam ser reconsiderados sob uma mesma avaliação futura.

2.5 - PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS(PCH)

A maior parte do potencial hidrelétrico não aproveitado é constituída de usinas de pequenas e médio porte e por aproveitamentos na Amazônia, [20].

A tecnologia de projeto e fabricação dos equipamentos, inclusive turbinas, é de domínio de pequenas fabricantes nacionais, também na automação das usinas na busca de benefícios técnicos e econômicos , [33].

Esse segmento é um campo propício para a entrada do

capital privado nacional, pois conta com apoio financeiro de agências como : FINEP, FINAME, BNDES, Banco do Brasil, etc .Cumpre destacar que as PCHs, apesar de não suprirem grandes blocos de energia elétrica, constituem uma excelente alternativa para o atendimento de pequenos mercados isolados na Região Norte, aumento da confiabilidade dos sistemas e para auto-produção de energia.

TABELA 8
POTENCIAL DE USINAS REVERSÍVEIS, [30]

REGIÃO/ESTADO	Nº DE PROJ.	POTÊNCIA TOTAL (MW)	CUSTO (US\$/kW) REF. DEZEMBRO/91		
			MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
SUDESTE					
Rio de Janeiro	122	249.036	410,9	668,2	1.007,5
Minas Gerais	106	161.763	431,1	677,2	994,1
Espírito Santo	84	96.171	431,1	779,7	1.008,4
São Paulo	68	199.700	496,6	-	839,1
SUB-TOTAL	380	706.670	-	-	-
SUL					
Santa Catarina	79	211.013	494,0	699,4	994,3
R.G. do Sul	40	45.351	551,0	742,5	995,5
Paraná	18	60.278	513,1	669,1	942,7
SUB-TOTAL	137	316.642	-	-	-
NORDESTE					
Ceará	44	116.252	536,4	747,0	986,1
Bahia	45	103.750	509,1	705,4	986,3
Pernambuco	17	59.089	626,9	778,4	909,9
Paraíba	5	22.000	555,0	696,8	794,7
R.G. Norte	8	18.775	638,9	751,0	862,1
Alagoas	3	5.648	758,5	883,3	959,4
Piauí	2	5.853	776,2	861,0	912,1
Sergipe	1	707	856,3	856,3	856,3
SUB-TOTAL	125	332.074	-	-	0 -
TOTAL GERAL	642	1.355.386			

2.6 - TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA

As tarifas de eletricidade em vigor possuem dois componentes básicos na definição do seu preço :

- Componente relativo à demanda de potência (KW);
- Componente relativo ao consumo de energia (KWh).

No horário das 17:00 às 22:00 horas ocorre um maior consumo, horário de ponta, e é justamente o período em que as redes de distribuição assumem maior carga, atingindo o pico as 19:00 horas, variando um pouco de acordo com a região .

O perfil de consumo de energia elétrica ao longo do ano apresenta também variações, sendo que os meses de maior consumo são justamente aqueles onde o nível dos reservatórios das usinas estão mais baixos, denominando período seco, que vai de Maio a Novembro e período úmido Dezembro a Abril do ano seguinte.

Assim, o fornecimento de energia elétrica no período seco tende também a ser mais oneroso, pois leva a necessidade de se construir reservatórios maiores, e eventualmente, operar usinas térmicas para completar o suprimento .

Devido a esses fatores, foi concebida a Estrutura Tarifária Horo-Sazonal - Tarifas Azul e Verde, que compreende a sistemática de aplicação de tarifas a preços diferenciados de acordo com o horário do dia (Horário de ponta e fora de ponta) e períodos do ano (seco e úmido).

Esta diferenciação tarifária estimula o deslocamento de grandes cargas para horários fora de ponta, bem como orienta o consumo de energia para períodos do ano em que os reservatórios

estejam plenamente abastecidos e, assim propiciando ao consumidor uma economia em virtude desse deslocamento.

Segmentos Horo-Sazonais são as combinações dos intervalos de ponta e fora de ponta com os períodos úmidos e secos, definidos a seguir :

- PS -> Horário de ponta em período seco ;
- PU -> Horário de ponta em período úmido;
- FS -> Horário fora de ponta em período seco ;
- FU -> Horário fora de ponta em período úmido;

Condições de aplicação das tarifas :

Tarifa convencional: é aplicada as unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 69 KV e com demanda menor do que 500 KW.

- Tarifa Azul - Admite os seguintes critérios :

a) Aplicação Compulsória :

- As unidades consumidoras atendidas em tensão igual ou superior a 69 KV.
- As unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 69 KV com demanda superior a 500 KW , desde que não façam opção pela Tarifa Verde .

b) Aplicação Opcional :

- As unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 69 KV com demanda de potência entre 50 KW e 500 KW.
- Tarifa Verde - É oferecida sempre em caráter opcional aos consumidores atendidos em tensão

inferior a 69 KV com demanda a partir de 50 KW.

A tabela 9, a seguir apresenta os valores de energia elétrica para os diversos grupos a preços de 19/05/1993 para o Estado de Minas Gerais US\$ 1.00 = Cr\$ 37.040,00.

TABELA 9
PREÇOS DA ENERGIA ELÉTRICA [33]

CONSUMIDOR	DEMANDA (US\$/MW)		CONSUMO (US\$/MW)				
	PONTA	FORA	PS	FS	PU	FU	
C O N V A S (2,3 - 13,8kV)							
		2,94			43,08		
	A3a0(30 - 44kV)	3,05			44,67		
A4 (2,3 - 25KV)		4,50			46,75		
V E R D E A Z U L A S (2,3 - 13,8kV)							
A3a(30 - 44kV)							
		8,71	2,59	125,95	13,34	124,87	11,79
		8,06	2,69	131,61	13,83	129,45	12,22
A4 (2,3 - 25KV)		4,13	137,73	14,47	135,47	12,79	
AS (2,3 - 13,8kV)							
A3a (30 - 44kV)							
		7,77	2,59	28,05	13,34	25,96	11,79
		8,06	2,69	29,08	13,83	26,91	12,22
A4 (2,3 - 25KV)		4,12	30,43	14,47	28,16	12,79	
AS (2,3 - 13,8kV)							

Dentro do quadro de tarifas devemos ressaltar a posição do diretor do DNAEE. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, Sr. Gastão Luís de Andrade Lima. Segundo ele a tarifa média encontra-se em torno de US\$ 36/MWh, com defasagem de 95% em relação ao custo, enquanto a tarifa necessária para o equilíbrio do setor é de US\$ 70/MWh.

Na década de '70 a tarifa média era de US\$ 90/MWh, e na década de '80 a US\$ 70/MWh.

Ainda, segundo o diretor do DNAEE são necessários investimentos da ordem de US\$ 34,4 bilhões para o período de 1993/97, [34].

2.7 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

O Brasil apresenta um crescimento de energia elétrica crescente, o que contrasta com os dados de aferição do PIB que apresenta queda nos anos de 1983 a 1986 em relação a 1982 e voltando a cair em 1991 e 1992 em relação a 1990.

A tabela 10 mostra este perfil de consumo de energia elétrica total, o consumo percentual nos setores residencial, comercial, público, agropecuário, transportes e também no setor industrial, bem como os valores do PIB ao ano.

TABELA 10
COMPOSIÇÃO SETORIAL DO CONSUMO DE
ELETRICIDADE E O PIB CORRESPONDENTE AO ANO, [3]

ANO	CONSUMO FINAL (GWh)	SETOR ENERG	RESID	COM	PÚBO	AGROP	TRANSP	INDUS	PIB*[35]
1977	88839	3,6	19,3	11,9	9,0	1,2	0,8	54,3	176332
1981	126232	3,6	19,8	11,5	8,8	2,0	0,7	53,6	262282
1985	173564	3,6	18,8	10,6	8,3	2,6	0,7	55,4	223635
1989	212381	3,1	20,6	10,6	8,1	3,0	0,6	53,9	447644
1990	217657	3,1	22,4	10,9	8,3	3,1	0,5	51,6	477476
1991	225372	3,5	22,6	10,8	8,3	3,2	0,5	51,0	403667
1992	230395	3,3	22,6	11,3	8,5	3<3	0,5	50,5	447320

* EM US\$ milhões.

2.8 - ENERGIA NUCLEAR

2.8.1 - INTRODUÇÃO

A energia elétrica de origem nuclear é obtida pelo processo de fissão nuclear, que consiste na propriedade de certos isótopos do urânio (ou de Tório) de se dividirem em fragmentos com liberação de grande quantidade de energia e com a emissão de neutrons que alimentam a reação em cadeia.

As principais reservas de urânio no Brasil estão localizadas em Poços de Caldas - Minas Gerais, na Bahia e no Ceará. Já as jazidas de Tório estão em Araxá - Minas Gerais, e nas areias monazíticas no estado do Espírito Santo.

O Brasil possui apenas uma usina nuclear em funcionamento, Angra I, em Angra do Reis - Rio de Janeiro, sendo que as diretrizes do atual governo orientam no sentido da conclusão da Angra II, prevista para 1998, [25], e não dar andamento na construção da Angra III, [36].

2.8.2 - A ENERGIA NÚCLEO-ELÉTRICA NO MUNDO

A energia nuclear gera hoje 17% de eletricidade no mundo, em 32 Países. Em 1992 operavam 411 reatores nucleares produzindo 320 GW de potência. Estão sendo construídas 71 novas plantas para gerar 60 GW (GigaWatts) e há projetos de outras 59 plantas para gerar mais 47 GW.

Os U.S.A. contam com o maior número de reatores

nucleares, seguida da França, antiga U.R.S.S., Japão e Alemanha .
 Em termos percentuais, a França conta com maior contribuição de energia nuclear para a geração elétrica, 75% .

A figura 1 mostra a produção de núcleo-eletricidade nos principais países do mundo em MW e a figura 2 mostra a contribuição percentual dos mesmos países.

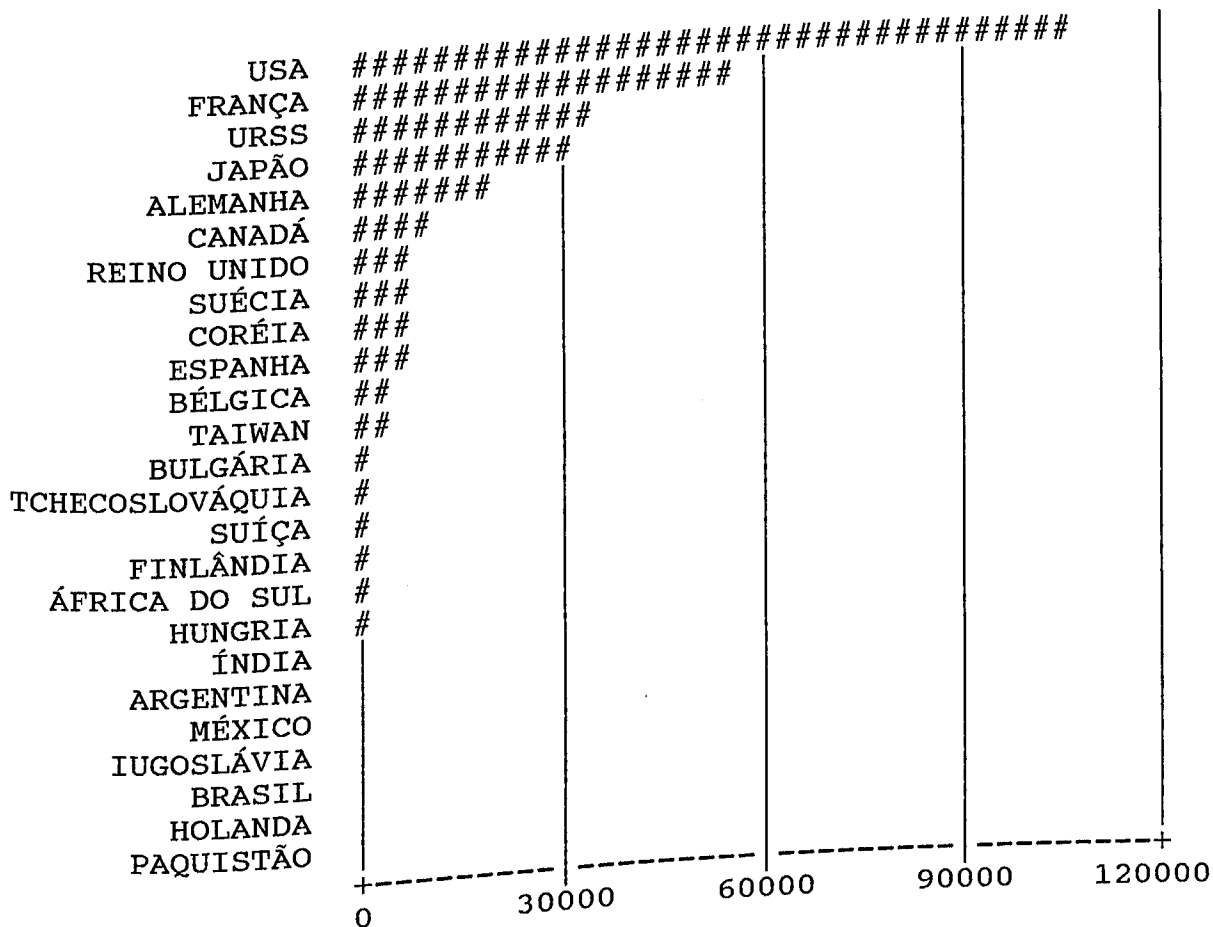


Figura 1 - PRODUÇÃO NÚCLEO-ELÉTRICA EM VÁRIOS PAÍSES (MW) [37]

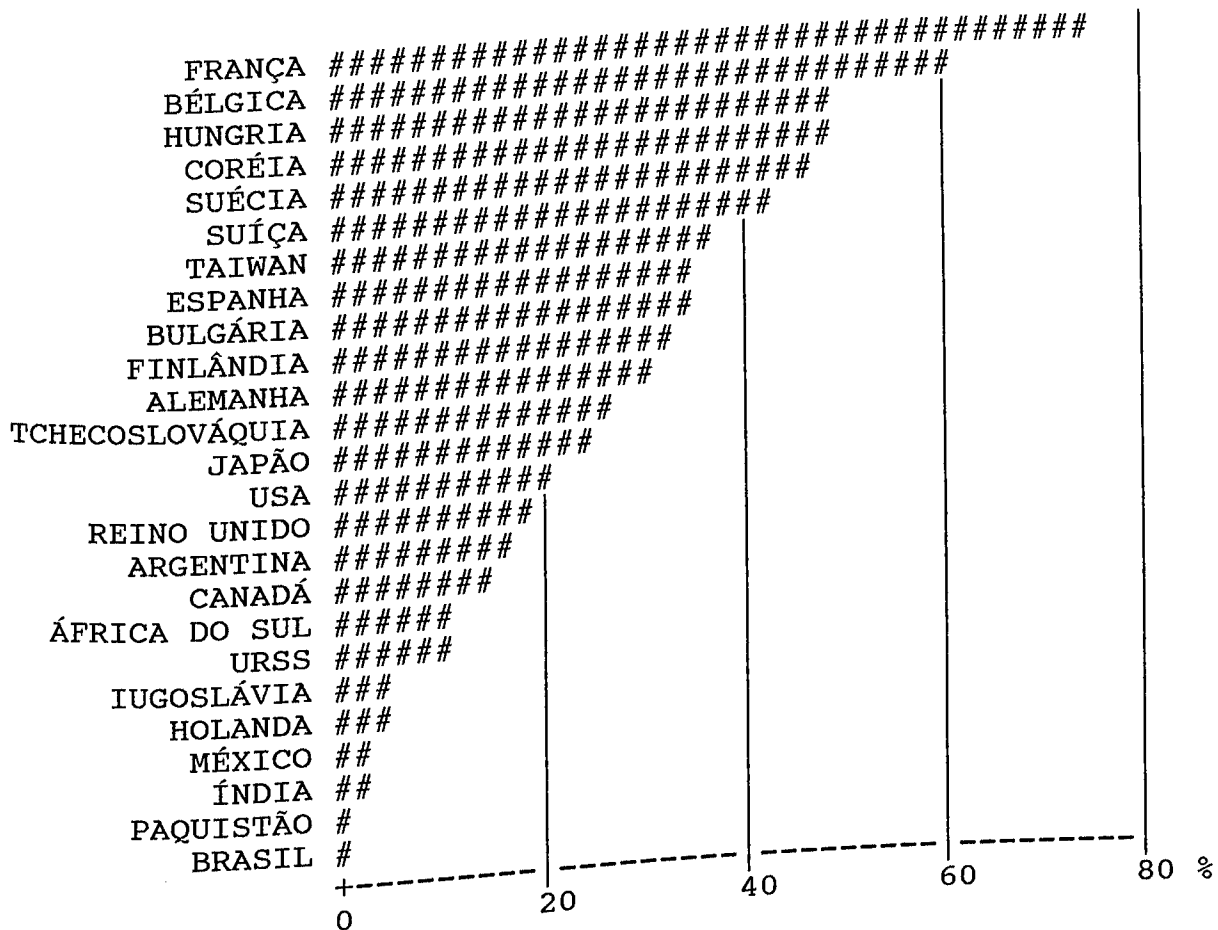


Fig. 2 - PORCENTAGEM NÚCLEO-ELÉTRICA EM VÁRIOS PAÍSES (MW), [37]

Os tipos de reatores nucleares para produção núcleo-elétrica mais comuns são o de água pressurizada (PWR), 57% dos reatores do mundo; o de água em ebulição (BWR), 21% ; reatores refrigerados a gás (GCR), 9,2% ; reatores de água pesada (PHWR) 7,3% ; reatores refrigerados a água e moderados a grafite (LWGR ou RBMK - Chernobyl), 3,6% ; reatores breeders refrigerados a metal líquido (LMR), 1,0% .

Nota-se a predominância atual e também futura dos reatores PWR que hoje produzem 64,3% do total da energia nuclear-elétrica. Dos reatores em construção a contribuição dos

PWR é de 73,3% e dos em planejamento de 65%. Os reatores Candu ou PHWR produzidos pelo Canadá, terão sua contribuição aumentada e os reatores rápidos terão uma posição mais modesta. Os reatores BWR manterão sua posição enquanto os GSR e LWGR não serão mais produzidos no futuro.

O Canadá mantém com sucesso seu projeto inicial de reator moderado a água pesada. Devido ao baixo enriquecimento do combustível nuclear de reatores Candu, o Canadá tem conseguido vendê-lo aos países do terceiro mundo que não dispõem de tecnologia do enriquecimento, como o Paquistão, Índia, Coréia do Sul e Romênia.

Existem várias instalações do ciclo do combustível, entretanto, aquelas ligadas ao enriquecimento e reprocessamento do combustível são mais controladas e tem seu desenvolvimento dificultado pelos países centrais sob o argumento de não proliferação de armas nucleares. Consequentemente, somente esses países possuem atualmente a capacidade de produção de combustível nuclear.

A tabela 11 representa as instalações de enriquecimento no mundo enquanto a tabela 12, apresenta as instalações de reprocessamento de combustíveis existentes no mundo, [37].

As duas tecnologias predominantes de enriquecimento do urânio são por meio da difusão gasosa e da centrifugação. O processo por difusão gasosa foi o pioneiro até 1960, pelos U.S.A., perdendo espaço depois para a tecnologia de centrifugação, desenvolvida pelos países da Europa e Japão, sendo considerada a mais eficiente. O Brasil desenvolveu o processo de

TABELA 11
PRINCIPAIS PLANTAS COMERCIAIS DE ENRIQUECIMENTO
ISOTÓPICOS NO MUNDO [37]

PAÍS	PLANTA	CAPACIDADE (KS WV)	PROCESSO	ESTADO
ARGENTINA	-Pilcanyou-1	20	Difusão	Operação
	-Pilcanyou-2	100	Difusão	Construção
BRASIL	-Resende	10	Jet Nozzle	Construção
	-Lanchow	200	Difusão	Operação
CHINA	-Lanchow	200	Difusão	Operação
FRANÇA	-Triscatin	10.800	Difusão	Operação
ALEMANHA	-Gronau	400	Centrifug.	Operação
	-KFK Nozzle /Enrichement	50	Jet Nozzle	Operação
JAPÃO	-Hyuga	2	Química	Operação
	-Nyngio-Toge /(pilot)	200	Centrifug.	Operação
	-Nyngio-Toge /(demo)	50	Centrifug.	Operação
	-Rokkasho-Mura1	150	Centrifug.	Construção
	-Rokkasho-Mura2	1.350	Centrifug.	Planejamento
HOLANDA	-Almelo	1.200	Centrifug.	Operação
	-Kahuta	5	Centrifug.	Operação
PAQUISTÃO	-Kahuta	300	Helicon	Operação
ÁFRICA DO SUL	-Valindaba	850	Centrifug.	Operação
REINO UNIDO	-Capenhurst Urengo	650	Difusã*	Parado
	-Capenhurst BNFL	11.300	Difusão	Operação
USA	-Paduch	7.900	Difusão	Operação
	-Portsmouth	7.700	Difusão	Operação
	-Oak Ridge	10.000	Difusão	Operação
URSS	-Sibéria			

centrifugação no centro Experimental de Aramar em Iperó - São

Paulo.

O processo purex é a principal tecnologia adotada por todos os países no reprocessamento de combustível queimado para a

recuperação de PU e U, plutônio e urânio respectivamente.

TABELA 12
PRINCIPAIS PLANTAS COMERCIAIS DE REPROCESSAMENTO [37]

PAÍS	PLANTA	CAPACIDADE (Ton.HM/Ano)	Tipo de Combustível	ESTADO
ARGENTINA	-Ezeiza	5	Óxido	Construção
BÉLGICA	-Mol	100	Óxido	Parado
FRANÇA	-La Hague UP2	800	Óxido, MOX	Construção
	-La Hague UP3	800	Óxido	Operação
ÍNDIA	-Kalpakkan 1	125	Óxido	Operação
	-Tarapur	100	Óxido	Operação
	-Trombay	50	Óxido	Operação
	-Kapakkan 2	1.000	Óxido	Construção
ITÁLIA	-Saluggia	10	Óxido	Operação
JAPÃO	-Rokkasho-Mura	800	Óxido	Construção
REINO UNIDO	-Dounreay	8	FBR, MOX	Operação
	-Sellafield (Magnox)	1.500	U metal	Operação
	-Sellafield (THORP)	1.200	Óxido	Construção

A França, Inglaterra e Japão pretendem utilizar combustível nuclear de óxido misto, isto é, (U-PU) O₂ em reatores PWR e BWR futuros e já existentes. O PU produzido em reatores nucleares substitui no combustível nuclear o U²³⁵ como material físsil aumentando bastante a capacidade de produção de energia das usinas de urânio existentes. Sem o uso do plutônio, estas reservas são capazes de manter o parque de reatores mundiais atual por aproximadamente 70 anos, diminuindo com a entrada de novas plantas. Com a utilização do PU e reatores breeders, as reservas atuais poderiam manter os reatores atuais

por mais 1000 anos. Nesse caso há um esforço de utilização de PU em reatores PWR através de combustível de óxidos mistos (U-PU) 02. É também no desenvolvimento de reatores rápidos breeders para ainda uma maior e mais eficiente utilização do PU.

Para atingir tais objetivos, França e Inglaterra, desenvolveram instalações de reprocessamento para alimentar seus reatores nucleares. As plantas de La Hague UP2 e UP3 da França serão capazes de fornecer combustível para 70 a 80 reatores por ano. Esses países pretendem vender serviços de reprocessamento para o exterior. O Japão está construindo sua planta de reprocessamento e importa PU da Europa e está em negociações para adquirir PU da Rússia.

De certa forma França e Japão caminham para a independência energética via energia nuclear.

A tabela 13 nos mostra os reatores em operação nos diferentes países, a potência instalada, o percentual da eletricidade total e também os reatores em construção .

TABELA 13
PERFIL DA ENERGIA NUCLEAR NO MUNDO
EM 31/12/89. [38]

	REATORES EM OPERAÇÃO	POTÊNCIA GERADA ([W)	PERCENTAGEM DE ELETRICIDADE	REATORES EM CONSTRUÇÃO
AMÉRICA DO NORTE E CENTRAL				
Canadá	18	12.185	15,6	4
Cuba	0	0	0	2
México	1	654	-	1
U.S.A.	110	98.331	19,1	4
AMÉRICA DO SUL				
Argentina	2	935	11,4	1
Brasil	1	626	0,7	1
EUROPA				
Bélgica	7	5.500	60,8	0
Bulgária	5	2.585	32,9	2
Tchecoslováquia	8	3.264	27,6	8
Alemanha Oriental	6	2.102	10,9	5
Finlândia	4	2.310	35,4	0
França	55	52.588	74,6	9
Hungria	4	1.645	49,8	0
Itália	2	1.120	-	0
Holanda	2	508	5,4	0
Romênia	0	0	0	5
Espanha	10	7.544	38,4	0
Suécia	12	9.817	45,1	0
Suíça	5	2.952	41,6	0
Reino Unido	39	11.242	21,7	1
Alemanha Ocidental	24	22.716	34,3	1
Iugoslávia	1	632	5,9	0
ÁSIA				
China	0	0	0	3
Índia	7	1.374	1,6	7
Irã	0	0	0	2
Japão	39	23.300	27,8	12
Paquistão	1	125	0,2	0
Coréia do Sul	9	7.220	50,2	2
Taiwan	6	4.924	35,2	0
U.R.S.S.	46	34.230	12,3	26
ÁFRICA				
África do Sul	2	1.842	7,4	0
			-	96
TOTAIS	426	318.271		

3.0 - O PETRÓLEO NO BRASIL

3.1 - EXTRAÇÃO DE PETRÓLEO

Os tipos de extração do petróleo podem ser de natureza primária, secundária e terciária. Ela pode ser considerada primária se for feita com o auxílio do processo natural do reservatório. A porcentagem de petróleo que pode ser extraída desta forma varia de campo para campo, dependendo de fatores como a porosidade da rocha e a viscosidade do petróleo e também falhas na estrutura rochosa. Estima-se em 25 % a taxa global de recuperação para a extração primária.

A extração secundária ocorre quando da necessidade do bombeamento de água ou gás para dentro do reservatório, de forma a aumentar ou manter a pressão, sua eficácia é bastante variável e alguns campos respondem bem, outros não. A taxa de recuperação média nesse caso passa para 32 %.

A extração terciária, por sua vez, consiste em diminuir a viscosidade do petróleo para que ele se desprenda e flua com maior facilidade dos poros da camada rochosa. Isso é feito por meio de aquecimento a vapor ou a diluição com produtos químicos.

3.2 - A PETROBRÁS

No Brasil, Petrobrás (Petróleo Brasileiro S.A.), empresa controlada pelo Governo Federal, criada pela lei 2004 em

03 de Outubro de 1953, que estabeleceu o monopólio estatal no setor petrolífero. O monopólio da empresa abrange a pesquisa, a lavra das jazidas, a refinação do petróleo nacional e estrangeiro e o transporte marítimo e por meio de condutos do petróleo bruto e seus derivados. As áreas não monopolizadas são apenas a indústria petroquímica e a distribuição e comercialização de derivados de petróleo, embora a Petrobrás também participa nesses setores.

A Petrobrás ocupa o 18º lugar entre as empresas petrolíferas do planeta e a 10ª em número de funcionários (50.000). [41]

É no planejamento que a Petrobrás tem as piores expectativas, sobretudo pela troca constante de seus diretores, seis (06) presidentes e vinte e sete (27) nomeações para diretoria nos últimos três (03) anos. Há cerca de duzentos (200) projetos arquivados por falta de investimentos, o que se fossem colocados em prática dariam a auto-suficiência em cinco (05) anos.

Com a proximidade da revisão constitucional, as multinacionais já deram início aos lobbies para derrubar o monopólio estatal do petróleo, salientando que a produção da Petrobrás está estagnada e que o Governo Federal deveria se preocupar com as questões como moradia, educação, saúde e infraestrutura e deixando o petróleo a cargo das empresas privadas (diga-se "As Sete Irmãs").

Como se não bastasse essa pressão internacional, a Petrobrás é também refém do Governo Federal em relação aos preços, na visão equivocada de que o represamento das tarifas no

setor de energia possa conter a inflação. Esse represamento fez com que a gasolina custe hoje apenas 45% do valor de 1980. Com isso o consumo é estimulado e o desperdício induzido, além de não haver pressão alguma para a produção de veículos com maior eficiência, como ocorrem no Japão, Alemanha e França, [39].

Na tabela 14 comparamos a estrutura do preço de um litro de gasolina ao consumidor nos U.S.A. e no Brasil, [40].

TABELA 14 - ESTRUTURA DE PREÇOS

	Refinador	Distribuidor	Impostos
U.S.A	70,0 %	03,1 %	23,0 %
BRASIL	24,9 %	12,0 %	36,5 %

A Petrobrás recebeu no ano de 1992, o mais importante prêmio internacional do setor por sua contribuição a tecnologia de exploração em águas profundas, recorde mundial de 781 metros, e foi também a empresa do ramo que mais cresceu de 1987 a 1991 dentre as 50 maiores no mundo.

3.3 - O PETRÓLEO E O BALANÇO DE PAGAMENTOS

Em meados da década de '70, o Brasil passou a adotar uma política de contenção das importações, proibindo a entrada de produtos com similares nacionais. Isso em virtude do peso que o petróleo acarretava no balanço de pagamentos, como vemos na figura 3.

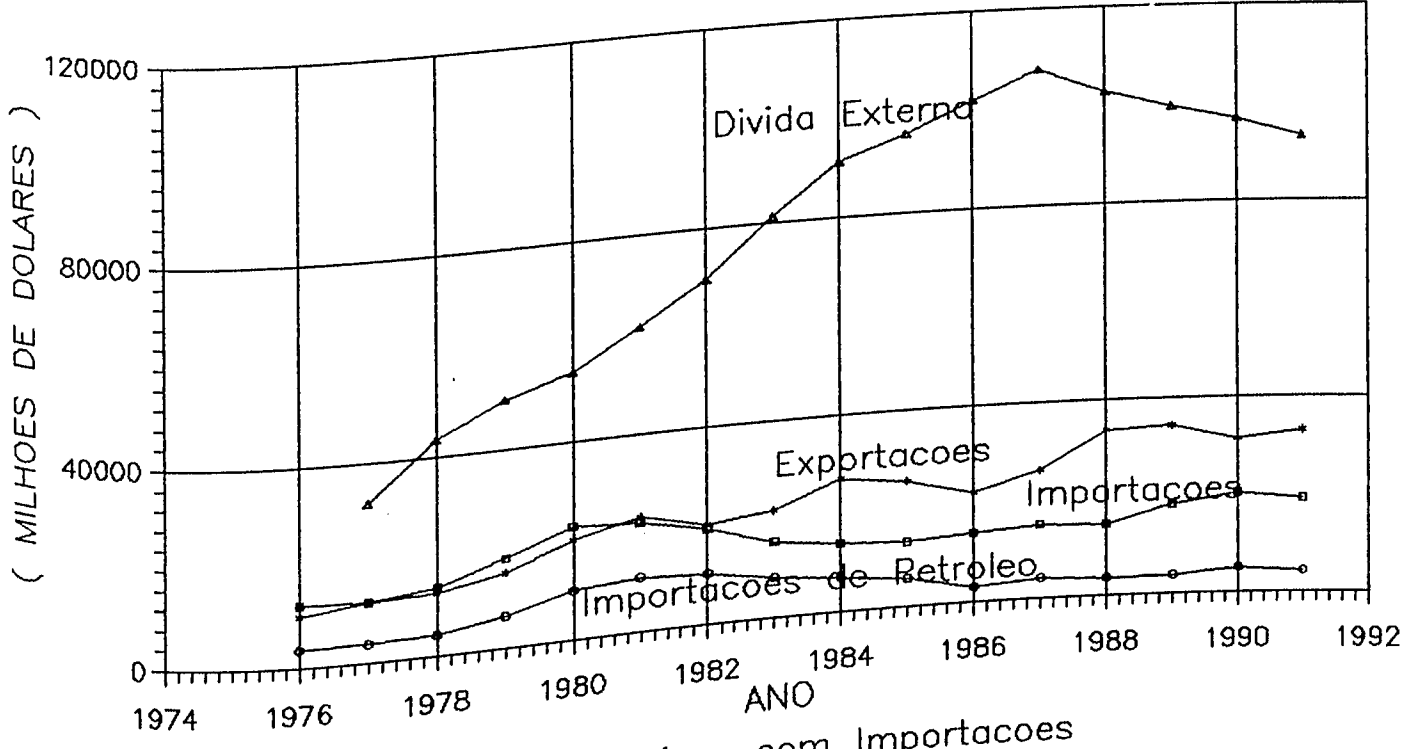


Fig. 3 - Gastos em Divisas com Importacoes de Petroleo 30

A figura 4 nos mostra a evolução do consumo dos derivados de petróleo, onde verificamos uma acentuada queda no consumo da gasolina e do óleo combustível e um aumento no consumo de óleo diesel e GLP. Comparando essas tendências com a figura 5, que nos mostra a evolução dos preços dos derivados de petróleo, verificamos que há uma relação inversamente proporcional entre preços e consumo.

Devemos considerar também que a queda do consumo de gasolina se deve também a entrada de carros movidos a álcool no início da década de '80. Ver figura 5.

A Petrobrás tem procurado aumentar a produção com a descoberta de novos campos petrolíferos como na Bacia de Campos no Rio de Janeiro, perfuração de novos poços como o de Parecis - MT, etc, [41]. Esse esforço tem-se refletido no aumento da produção nacional de petróleo, tabela 15, passando de 170.000 barris diários na década de '70 a 563.000 em 1985 e hoje na casa de 650.000 barris diários, reduzindo significativamente a dependência externa.

A tabela 16 nos mostra a evolução das reservas brasileiras de petróleo e nos dá também o número de poços produtores de petróleo bruto e gás natural. Verificamos um aumento significativo de nossas reservas devido a descoberta de novos campos produtores na bacia de Campos - R.J., principalmente Albacora e Marlim.

Tabela 15

Produção de Óleo por Estado (bbl x 10⁶ / dia) [42]

Ano	Bahia	Sergipe	Alagoas	Espírito Santo	Rio Grande do Norte	Ceará	Rio de Janeiro (Campos)	Outros
73	136,2	31,7	1,7	0,6	0	0	0	0
79	82,2	45,2	3,0	5,9	10,3	0	16,0	0
85	84,1	54,1	10,3	20,1	33,5	23,7	337,2	0,8
86	79,2	49,3	11,4	18,0	44,0	21,5	349,0	0,12
87	79,9	49,1	10,1	14,3	51,2	17,4	344,0	0
88	78,3	48,3	10,0	16,6	60,7	16,6	325,0	0,2

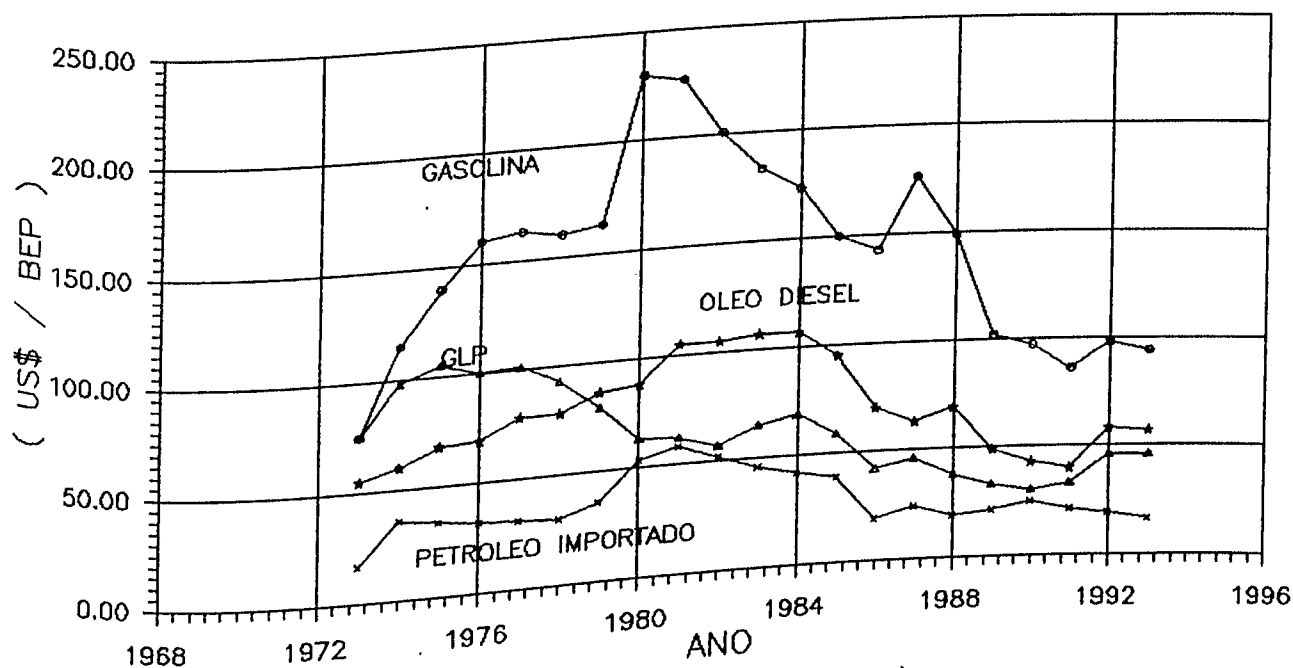


Fig. 4 - Preços dos Derivados do Petróleo (Dólares Constantes de 1993)

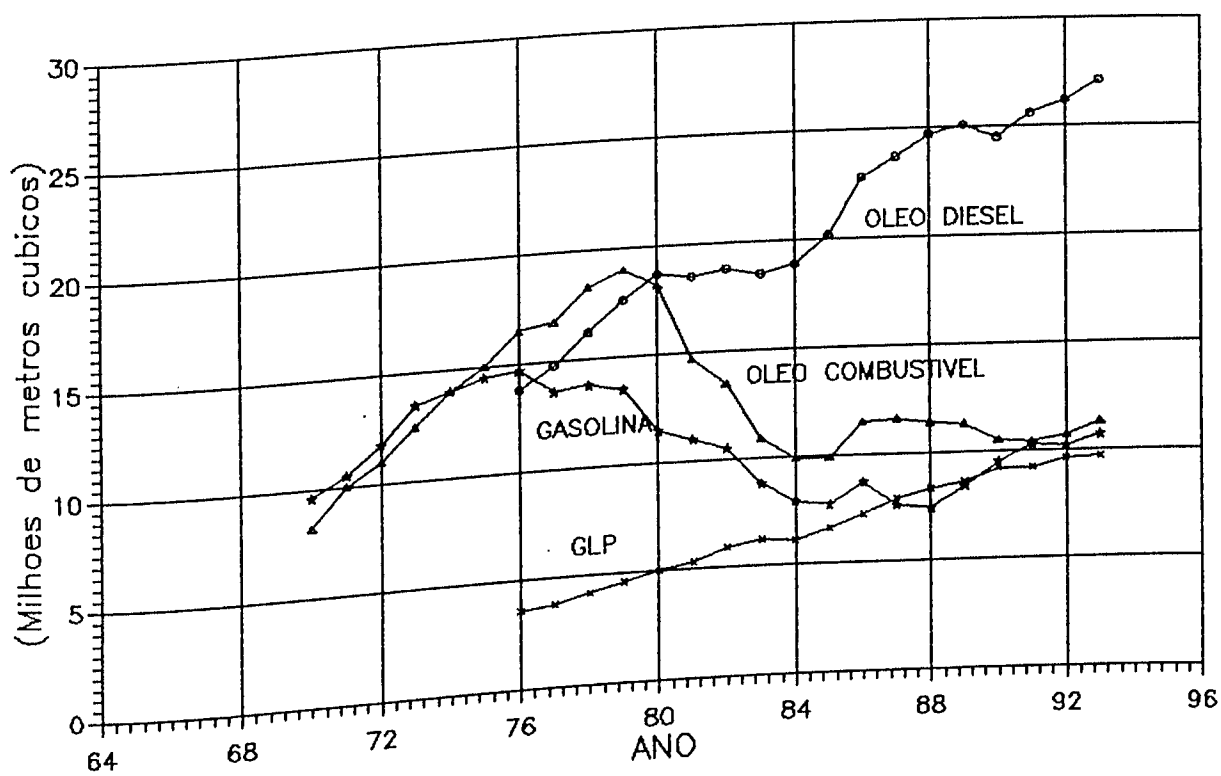


Fig. 5 - Consumo dos Derivados de Petroleo

Tabela 16

Reservas e Poços Produtores de Petróleo, [42]

	Nº de Poços Produtores		Reservas x 10 ⁶ bbl
	TERRA	MAR	
1978	-	-	1143
1979	-	-	1264
1980	1496	382	1338
1981	1650	385	1495
1982	2228	416	1735
1983	2671	483	1874
1984	3261	543	2035
1985	3239	534	2194
1986	3384	547	2340
1987	4848	731	2550
1988	4938	649	2816
1992	-	-	3620 [43]

3.4 - ECONOMIA E CONSERVAÇÃO

No campo da conservação dos derivados do petróleo, várias frentes têm sido tentadas pelo Governo Federal, [36],

como:

- Incentivar e promover o Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural - CONPET, visando implantar programas de melhoria de eficiência

no uso desses energéticos e reduzir o crescimento de seu consumo.

- Promover uma política de preços realistas, que preserve o equilíbrio econômico financeiro dos agentes do setor e elimine gradualmente os subsídios ainda existentes, observado os preços internacionais de médio prazo.

- Desequalizar os preços dos derivados de petróleo e do álcool carburante a partir das bases de distribuição e introduzir mudanças na sistemática de preços do GLP, visando que as forças de mercado venham a reger seus preços finais ao consumidor.

- Analisar e propor formas de atrair a participação de capitais privados no setor petróleo, naquelas atividades que sejam permitidas, ou que venham a ser permitidas pela constituição.

- Melhorar a qualidade dos derivados de petróleo especialmente quanto a seus efeitos nos motores e das suas emissões.

- Reduzir a vulnerabilidade do País em relação as importações de petróleo pelo aumento da produção nacional para o nível de um milhão de barris por dia em 1995 e 1,5 milhões no ano 2.000.

- Melhorias na eficiência da combustão principalmente em caldeiras, com instalação de dispositivos de controle dos gases de saída da chaminé, [44].

4.0 - GÁS NATURAL

4.1 - PRODUÇÃO DE GÁS NATURAL

O gás natural constitui uma mistura de hidrocarbonetos como metano, etano, propano, butano, hexanos e pequenas quantidades de compostos parafínicos mais pesados.

O gás natural ocorre em estruturas subterrâneas semelhantes as que contém petróleo e os métodos de prospecção e extração são bastante semelhantes. Existem quantidades variáveis de gás em quase todos os campos de petróleo, em solução com este ou formando uma camada acima do petróleo. Quando está dissolvido o gás é extraído necessariamente junto com o petróleo e quando o gás está na camada superior raramente é extraído até que todo o petróleo do campo tenha sido retirado. Cerca de 40% das reservas mundiais são de gás associado e os 60% restantes são de gás não associado ao petróleo.

4.2 - RESERVAS DE GÁS NATURAL NO BRASIL

As estimativas das reservas recuperáveis de Gás Natural estão sujeitas a incertezas em virtude de boa parte delas estarem na forma de capa de gás dos campos de óleo, as quais podem estar sob programa de reinjeção para aumento da recuperação de óleo e por conseguinte não estão dispostas para o consumo, [45].

A análise econômica e o desenvolvimento produtivo das

reservas de gás natural dependem de certos fatores como tipos de reservatórios, volume das reservas, potencial de produção, localização, composição e características do mercado consumidor. As reservas de gás natural no Brasil são dadas na figura 6.

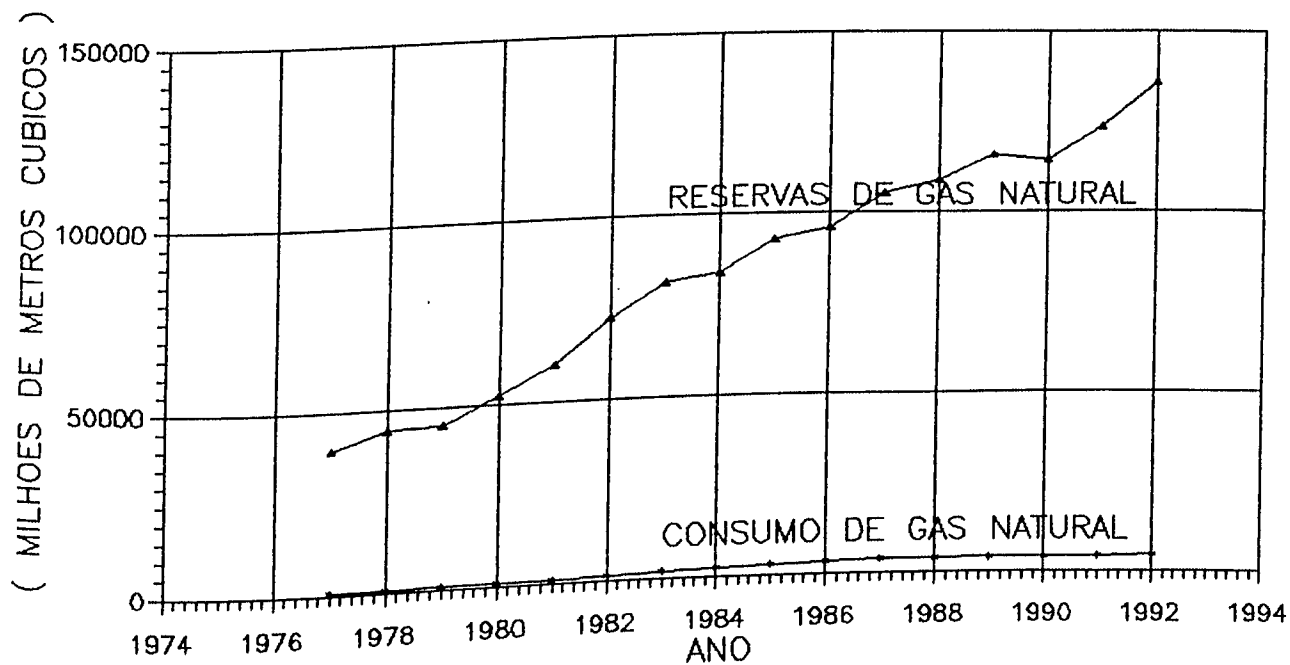


Fig. 6 - Reservas e consumo de Gas Natural

4.3 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE GÁS NATURAL

O gás natural participa pouco na matriz energética nacional, apenas 2,3% do total. Na região metropolitana de São Paulo o seu uso não excede 0,6% do total da energia consumida. A tabela 20 nos mostra a evolução do consumo de gás natural no Brasil.

a

4.4 - TRANSPORTE DE GÁS NATURAL

O transporte de gás natural é feito em geral diretamente do produtor ao consumidor através de gasodutos. Só os mercados que podem ser ligados de forma econômica a depósitos de gás natural podem usá-lo em grande escala, através de gasodutos. A despesa na construção de uma rede de gasodutos só é justificada quando existem grandes reservas e uma demanda assegurada.

Uma alternativa aos gasodutos é o transporte de gás natural liquefeito (GNL) por grandes navios. O gás é liquefeito, transportado em navios especiais refrigerados a - 161 °C e regaseificado nos terminais de recebimento. Há perdas da ordem de 25% da energia primária no processamento além do risco de explosão do navio durante o transporte, o que causaria sérios prejuízos materiais e ambientais.

Atualmente 97% da comercialização do gás natural é feita por gasodutos com cerca de 1,4 milhões de km de linhas de gás entre gasodutos, linhas de transmissão e distribuição.

4.5 - GÁS NATURAL E MEIO AMBIENTE

As características do Gás Natural fazem dele um substitutivo ideal para todos os combustíveis tradicionais. Ele é amplamente usado no setor industrial, residencial, público e comercial. É ainda utilizado nos transportes, na geração de energia elétrica, e sobretudo em co-geração através da instalação de turbinas a gás que acopladas a alternadores geram eletricidade, simultaneamente com vapor, produzido pelo aproveitamento do ar quente de escape da turbina. Esse vapor pode ser usado em outro processo ou pode ser também injetado na câmara de combustão da turbina, aumentando sua potência elétrica e eficiência, [8].

A eficiência dos sistemas de combustão à base de gás natural é, em geral maior, porque este energético permite maior flexibilidade de regulação e controle dos equipamentos e pequeno conteúdo de impurezas que originam problemas de desgaste e corrosão.

O gás natural pode ser um substituto importante dos combustíveis líquidos, pois reduz sensivelmente a emissão de poluentes, é 21% mais barato que o óleo diesel, o seu uso aumenta a vida útil do motor, reduzindo os custos de manutenção e o consumo de óleos lubrificantes.

O GNA (Gás Natural Automotivo) é distribuído pelas concessionárias estaduais (CEG/COMGAS). O GNA é conduzido por uma pequena linha até os postos de compressão, equipados com compressores de grande porte que o transformam em Gás Natural Comprimido (GNC). A eles são ligados os equipamentos que

enchem tanques dos ônibus ou dos táxis. Para armazenar o GNC sob alta pressão, os veículos carregam cilindros de aço sem costura, providos de uma válvula de segurança, em vez dos tanques tradicionais.

Além do uso de gás natural em veículos, procura-se a sua viabilização par auto-produção de energia elétrica e também por co-geração, [46].

4.6 - PROCESSAMENTO DE GÁS NATURAL

O tratamento do Gás Natural compreende a remoção dos compostos de enxofre, especialmente do ácido sulfídrico, devido sua alta toxicidade e seu poder corrosivo quando em contato com a água. Outra impureza presente no gás natural é o CO₂, que precisa ser removido para aumentar o poder calorífico do gás natural e para evitar a formação do gelo quando este vor submetido a processos criogênicos, visando sua liquefação.

Os processos mais usados no tratamento do gás natural são os que usam solventes químicos (aminas e carbonetos de potássio quente) ou solventes físicos como o sulfinox, selenox, solvente flúor, entre outros. Existem outros processos como destilação e de leito fixo (principalmente para remoção de compostos de enxofre) também tem sido empregados.

4.7 - PROPOSTAS DE COMISSÃO DE REEXAME DE MATRIZ

ENERGÉTICA NACIONAL

A comissão supracitada foi constituída pelo decreto nº 99503 de 02/09/1990 e fez s seguintes recomendações em 04/07/1991 para o Gás Natural, [36] :

- Analisar em profundidade a demanda e a oferta do gás natural nas diversas regiões do país e propor um programa para a expansão de sua utilização ;

- Incrementar a oferta de gás natural, inclusive, analisando a viabilidade das formas de implantação conjunta entre a Petrobrás, os estados e a iniciativa privada de projetos de importação de Gás Natural da Bolívia e da Argentina para as regiões Sudeste e Sul ;

- Promover o aproveitamento do gás natural de Urucu, na Amazônia, para o atendimento a região de Rondônia e Acre, inclusive para a geração de energia elétrica ;

- Analisar o efeito do deslocamento do óleo combustível pelo uso do gás natural, propondo soluções inclusive quanto a produção de coque de petróleo.

5.0 - ÁLCOOL

5.1 - HISTÓRICO

O carro a álcool veio consolidar o PROÁLCOOL, mas a sua penetração no mercado não se deu de forma imediata. Na verdade o uso do álcool como combustível, não era inédito pois em 1929 em Recife, já circulavam cerca de 500 automóveis pelo "USGA", em combustível produzido pela Usina Serra Grande de Alagoas, tendo 75% de álcool e 25% de éter, [6].

O primeiro veículo a álcool foi um FIAT 147, em 1979, destinado a frotas cativas, para em 1980 estar disponível ao público. A figura 7 nos mostra a produção anual de veículos a álcool.

O PROÁLCOOL foi responsável pela geração de uma nova tecnologia nacional desde novas variedades de cana-de-açúcar, aproveitamento de sub-produtos das destilarias, projetos de máquinas, equipamentos agrícolas e industriais, engenharia de motores e peças para veículos, controle de emissões e consumo de combustível, aplicações na álcool-química e a setores de ponta como a engenharia genética.

A eficiência do programa se verifica em todos os setores, principalmente devido a queda dos preços do petróleo em meados da década de '80.

Podemos comparar os dados no início do PROÁLCOOL com os verificados em 1985 para uma usina com capacidade nominal de 120 mil litros/dia, conforme mostra a tabela 17 .

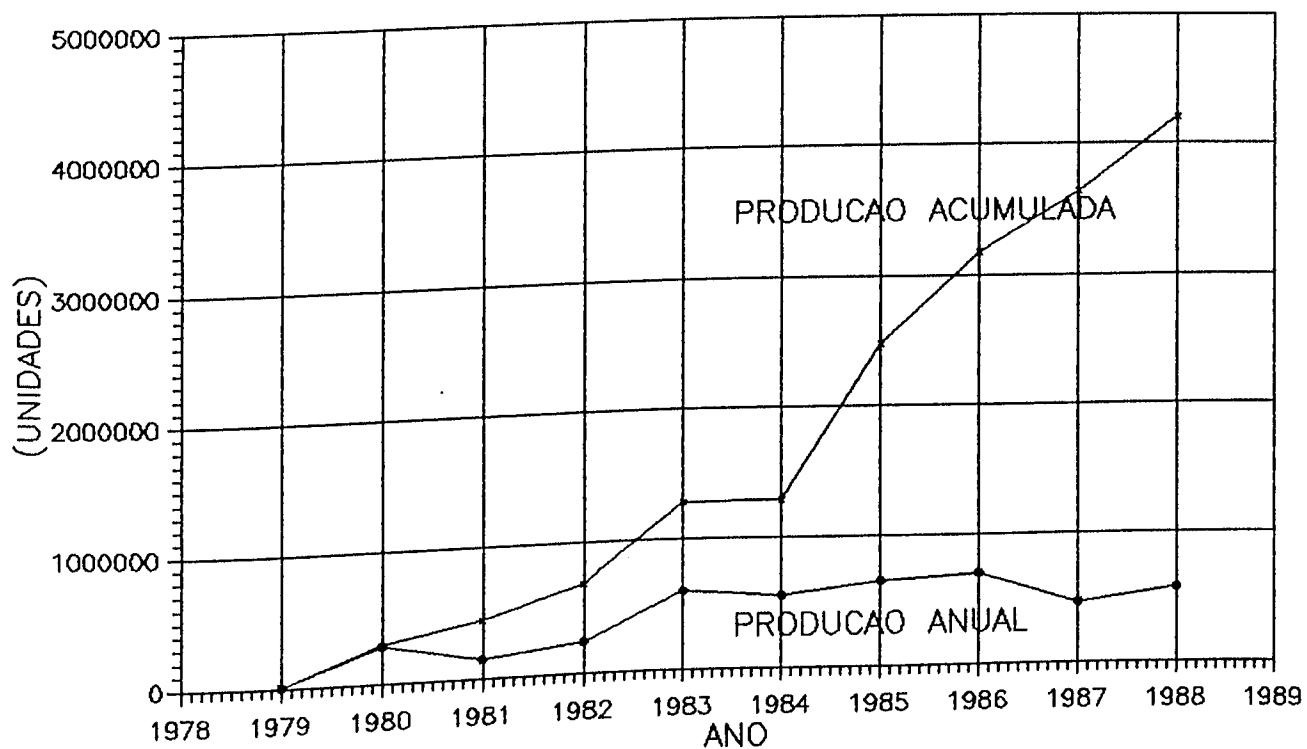


Fig. 7 - Producao Anual de Veiculos a Alcool

TABELA 17
Evolução do Rendimento das Destilarias [53]

	1975	1985
- Capacidade de Moagem tons. de cana/dia	2.100,00	3.800,00
- Rendimento de extração das moendas % de açúcar na cana	92,00	94,00
- Rendimento Global litros álcool/ ton. cana	64,00	79,00
- Consumo-Vapor na desti - lação (kg vapor/Lt.água)	3,40	1,90
- Consumo de água - litro água/litro álcool	45,00	40,00
- Consumo de energia elétrica KWh/litros álcool	0,18	0,15
- Geração de vapor Kg. bagaço / Kg. vapor	14,00	10,00
- Rendimento agroindustrial litros álcool / hectare plantado .	2.600,00	3.811,00

Além desses fatores devemos ressaltar também a economia de divisas que o PROÁLCOOL propiciou a nação . O país investiu US\$ 6,5 bilhões, nos primeiros 10 anos do programa, enquanto que o mesmo gerou um faturamento de US\$ 20 bilhões de dólares distribuídos entre : US\$ 6,8 bilhões aos produtores de cana; US\$5,4 bilhões às indústrias de álcool ; US\$ 2,4 bilhões recolhidos como taxas e impostos; US\$ 1,4 bilhões cobrindo custos de fretes e US\$ 4,0 bilhões como superávit da conta de álcool ao sistema carburante do país. Além da economia de US\$9,0 bilhões que seriam gastos na importação de petróleo.

5.2 - PRODUÇÃO DE ÁLCOOL

O álcool é uma substância orgânica que se obtém pela destilação de certos produtos fermentáveis como substâncias açucaradas ou amiláveis, ou mediante processos sintéticos a origem quase exclusiva de todo o álcool é a decomposição do açúcar (glicose) no Brasil proveniente da cana-de-açúcar e em alguns casos isolados usando a mandioca e sorgo. Segundo os diversos processos, o álcool anidro, ou o álcool hidratado.

O álcool anidro é o etanol praticamente isento de água, com teor alcoólico acima de 99,6 ° GL a 20 °C. Apesar de tecnicamente mais indicado para operar em motores de ciclo OTTO, tem um custo maior de produção. É álcool misturado à gasolina.

O álcool hidratado carburante é o etanol cujo teor alcoólico não é inferior a 91,1 ° GL segundo medida padrão estabelecida pelo INPM.

O processo de fabricação do álcool consiste na preparação do mosto, onde se mistura de forma controlada, caldo de cana com vários graus de pré-tratamento físico-químico, melaço com uma pureza de açúcar variável e eventualmente água de boa qualidade química e microbiológica.

A proporção entre os componentes é definida pelo teor de açúcar, que por sua vez determina o teor alcoólico final. Este mosto alimenta as dormas, contendo fermento tratado, na seção de fermentação. Completado o volume útil da dorma aguarda-se a obtenção do teor alcoólico máximo e seu conteúdo é enviado à seção de centrifugação onde são separadas duas correntes, uma

mais pesada, que contém leveduras e a outra mais leve que contém a maioria do álcool produzido.

A fase leve é enviada a seção de destilação enquanto que a fase pesada retorna a seção de fermentação.

Na destilação o vinho já preparado das leveduras é aquecido inicialmente pelos vapores alcoólicos e pelo efluente da destilação (vinhaça), recebendo em seguida aquecimento por vapor. Com o aquecimento é preparada numa primeira coluna (A), uma mistura já purificada de água e álcool, em proporções aproximadamente iguais, denominada flegma, que é em seguida concentrada em uma segunda coluna (B), sendo aí produzido o álcool hidratado. Caso haja interesse, esse álcool que ainda contém aproximadamente 4% em volume de água é enviado a uma terceira coluna onde é desidratado com auxílio de benzeno, produzindo o álcool anidro, [6].

5.3 - OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

Na lavoura espera-se a médio prazo, um aumento na produtividade agrícola em consequência da absorção de tecnologia já desenvolvida, devendo o rendimento médio passar para 84,8 toneladas de cana/hectare nos próximos anos, no Estado de São Paulo. Algumas unidades cooperadas da COPERSUCAR já alcançou rendimento de 94 toneladas/hectare. É esperada também uma redução das diferenças de produtividade entre as unidades mais eficiente e a menos eficiente, com redução do coeficiente para menos de 10%, [47].

No setor da indústria tais fatores conduzem a

possibilidades de ganhos de eficiência :

- Aumento na eficiência de conversão de açúcares da cana em álcool;

- Aumento na capacidade de produção dos equipamentos já existentes;

- Redução na utilização de insumos.

É possível obter elevação substancial de eficiência simplesmente com a incorporação adequada das tecnologias existentes.

Considerando os vários setores da indústria, a tabela 18 nos mostra o ganho que seria possível em recuperação dos açúcares da cana, caso as unidades produtoras se aproximassem dos valores observados nas unidades mais eficientes.

TABELA 18

Eficiência Anual nas Usinas COPERSUCAR [47]

OPERAÇÃO	RECUPERAÇÃO MÉDIA (%)	MÁXIMA (%)
Lavagem	98,0	98,0
Extração	93,9	96,5
Tratamento	99,0	99,5
Fermentação	86,7	90,5
Destilação	96,0	99,0
GERAL	76,0	84,5

Com relação ao ganho de eficiência dos equipamentos e instalações podemos citar :

- Extensão do período de safra;
- Adaptação das moendas para o sistema Copersucar, elevando a capacidade de moagem em 45%;
- Melhor uso das colunas de destilação, adequação de periféricos e uso da coluna C para produção de álcool hidratado pode aumentar a capacidade de produção em 50% em média.
- Também na fermentação pode-se conseguir ganhos consideráveis seja no processo contínuo ou em batelada.

No que se refere a utilização dos insumos podemos conseguir ganhos significativos na redução do consumo de vapor para 420 Kg./ toneladas de cana ou menos, propiciando um excedente de bagaço no futuro a co-geração.

A tabela 19 nos mostra a produtividade média na várias regiões brasileiras, enquanto a figura 8 apresenta a evolução do rendimento de produção agroindustrial no Brasil, medido em termos de litros de álcool produzido por hectare de cana cultivada.

TABELA 19

Produtividade Média na Produção de Álcool [48]

REGIÃO	AGRICULTURA ton/ha.	INDUSTRIAL litros/ton	TOTAL litros/ha
Nordeste	47.0	63.5	2964.5
Centro-Oeste	46.7	69.5	3245.7
Sudeste	57.3	73.8	4228.7
Sul	63.0	69.0	4365.9
BRASIL	53.9	70.7	3810.7

5.4 - CUSTO DE PRODUÇÃO DO ÁLCOOL

No início do PROÁLCOOL, este combustível era produzido a US\$ 70/ barril. Hoje os custos médios para o Estado de São Paulo estão em torno de US\$ 40/ barril. E se incorporadas as tecnologias já disponíveis, citadas no item anterior, estes custos poderiam ser reduzidos para um valor entre US\$ 35 e US\$ 32 o barril ou US\$ 0,22 e US\$ 0,20 por litro.

Além, do mais o ganho de produtividade tem sido de 4% ao ano e não há indícios de saturação, [7].

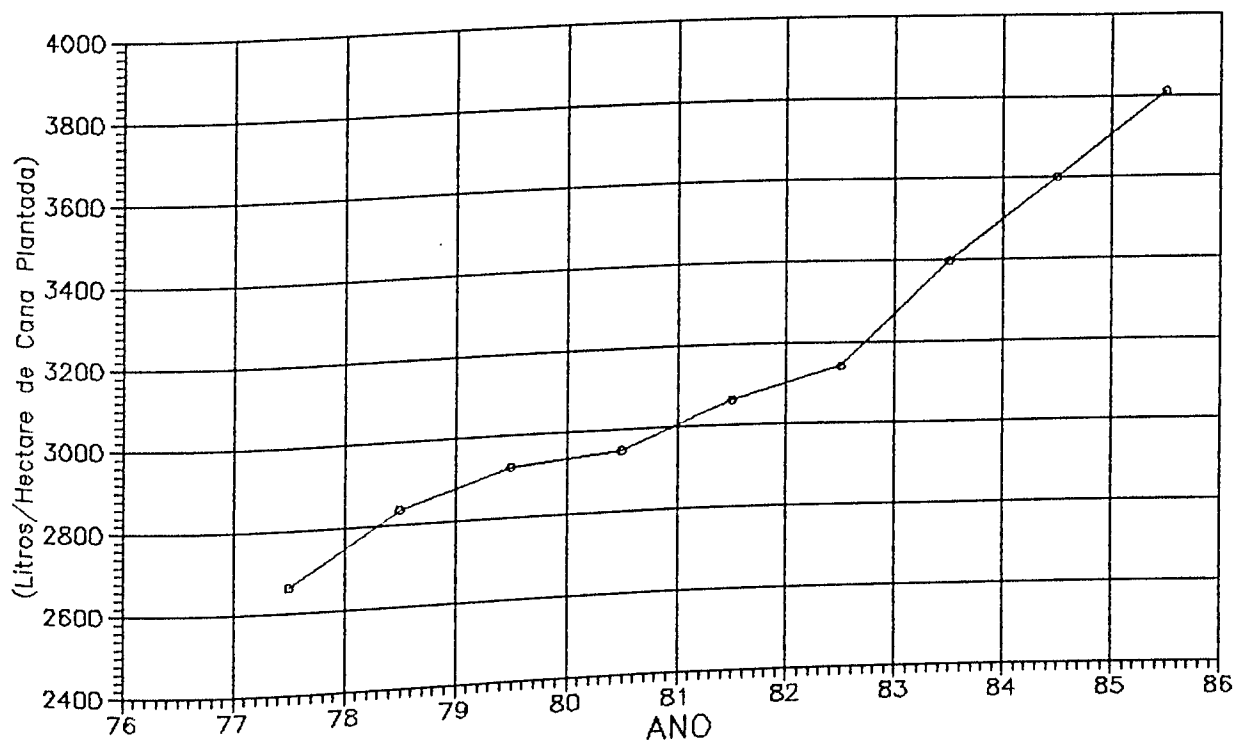


Fig. 8 - Rendimento Agrindustrial

Existem vários estudos levantados sobre o custo do álcool. Dentre os fatores que influenciam na grande disparidade entre os institutos podemos citar:

- Oscilações no cálculos da paridade Real / Dólar;
- Variações regionais em relação ao custo da mão-de-obra e ao valor da terra ;
- Crescente produtividade do setor ;
- Uso dos sub-produtos como fonte de remuneração complementar.

5.5 - ÁLCOOL E MEIO AMBIENTE

Se por um lado o álcool veio para atenuar os gastos do País nas divisas com importações e propiciar uma melhor qualidade do ar nas grandes cidades pela mistura a gasolina e substituição do chamado chumbo tetraetila, por outro lado, os sub produtos precisam ter uma atenção maior dos industriais e das autoridades no sentido de diminuir seus efeitos sobre o meio ambiente.

A queima da cana nos momentos da colheita tem significativo impacto sobre a atmosfera, aumentando as concentrações de CO, CO₂ e NO, hidrocarbonetos e partículas em suspensão. A queima é feita para facilitar a colheita manual e aumentar na extração do caldo. Procura-se realizar a queima quando os ventos estão em sentido oposto a concentrações urbanas, de modo a evitar a dispersão de cinzas e fuligem. A médio prazo prevê o desenvolvimento de máquinas apropriadas para a colheita da cana não queimada e também o cultivo de variedade com hábito de despalha manual, principalmente para as áreas de topografia

irregular.

A lavagem da cana consiste na aplicação de grandes volumes de água sob pressão no colchão da cana, removendo a matéria estranha acompanhada a cana-de-açúcar. Os efluentes líquidos são inadequados para lançamento direto em cursos d'água e seguem para o tratamento, com posterior veiculação ou o lançamento do efluente tratado em rios.

Segundo a Copersucar, apenas 12% das águas de lavagem de cana das unidades cooperadas não recebem tratamento adequado.

A torta-de-filtro tem sido aplicada na lavoura, contudo para maiores quantidades de matéria orgânica por unidade de área, recomenda-se a estabilização dos resíduos orgânicos por reação aeróbica, através da compostagem, torta-de-filtro com bagaço, por exemplo.

O vinhoto é um resíduo de produção do álcool, na proporção de 12 litros para cada litro de álcool destilado. O vinhoto é um grave poluente quando desprezado nos cursos d'água, mas sua utilização na lavoura, restitui íons de potássio e de nitrogênio ao solo, além de matéria orgânica o vinhoto reduz a acidez do solo, possibilitando economia de calcário.

Outra tendência para o vinhoto é sua utilização para geração de biogás, que pode ser usado como combustível gasoso em substituição ao óleo combustível. A produção de biogás se dá em biodigestores, onde, através de digestão anaeróbica as matérias orgânicas fermentam, resultando nos gases, que compõem de 60% de metano e 40 % de dióxido de carbono.

O bagaço é um sub produto usado nas caldeiras como

combustível, para gerar vapor consumo no processo industrial, ou para gerar energia elétrica, também usada no processo ou com o objetivo de cogeração. O bagaço é empregado também na produção de aditivos, matéria-prima no setor de papel e celulose, na alimentação animal através do bagaço termo hidrolisado.

A queima do bagaço gera o arraste de um material não queimado, conhecido como fuligem, que polui a usina e suas vizinhanças. Para reter essa fuligem existe equipamento próprio como o retentor de fuligem por via úmida, que reduz a emissão de sólidos em suspensão. Além da fuligem, deve-se procurar aumentar a eficiência da combustão para diminuir a liberação de produtos indesejáveis como COx, SOx, NOx, etc.

5.6 - COGERAÇÃO

Cogeração é um termo usado para designar os processo de produção combinados de calor e potência, com uso sequencial da energia liberada por uma mesma fonte combustível. A atratividade da tecnologia de cogeração reside nas altas eficiências globais de conversão, da ordem de 75 a 95%. Ademais é uma opção descentralizada de geração de energia elétrica, em que podem ser identificadas vantagens de ordem política, econômica e social.

A partir de 1990, a metade dos novos acréscimos de potência instalados nos E.U.A. foram provenientes de processos de cogeração de energia, [55].

É conveniente a viabilidade imediata de uma fração expressiva do potencial de geração a partir do bagaço com a definição de condições econômico-fi-anceiras justas as empresários canavieiros, que assegurem interesses de médio prazo

tanto do setor elétrico quanto do setor sucro-alcooleiro.

A par dessas questões , outras assumem importância de implementação como :

- criação e regulamentação da atividade de "Produtores Independente de Energia" ;
- priorização de projetos de maior eficiência energética;
- tratamento fiscal e tributário diferenciado;
- critérios diferenciados para financiamentos de investimentos na cogeração.

Assim, o papel da cogeração é o de assegurar maior economicidade, além de permitir maior eficiência no uso de insumos energéticos, valorizando as fontes renováveis, aumentando a autonomia do suprimento reduzindo desperdícios e minimizando impactos ambientais, [56].

5.7 - EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE ALCOOL E BAGAÇO DE CANA NO BRASIL

Os produtos derivados da cana-de-açúcar têm assumido uma posição de destaque na matriz energética nacional, atrás apenas da energia hidráulica, petróleo e da lenha, se bem que esta última em ritmo decrescente de participação. Por outro lado os produtos da cana-de-açúcar podem ter sua participação ampliada a medida que s sistemas de cogeração começarem a ser implementados.

A evolução do consumo e produção do álcool, é

apresentado na figura 9 onde observamos uma defasagem na produção frente ao consumo nos anos de 1988 a 1990, período em que tal produto teve seu consumo contingenciado e houve necessidade de importação para suprir a demanda interna, [3].

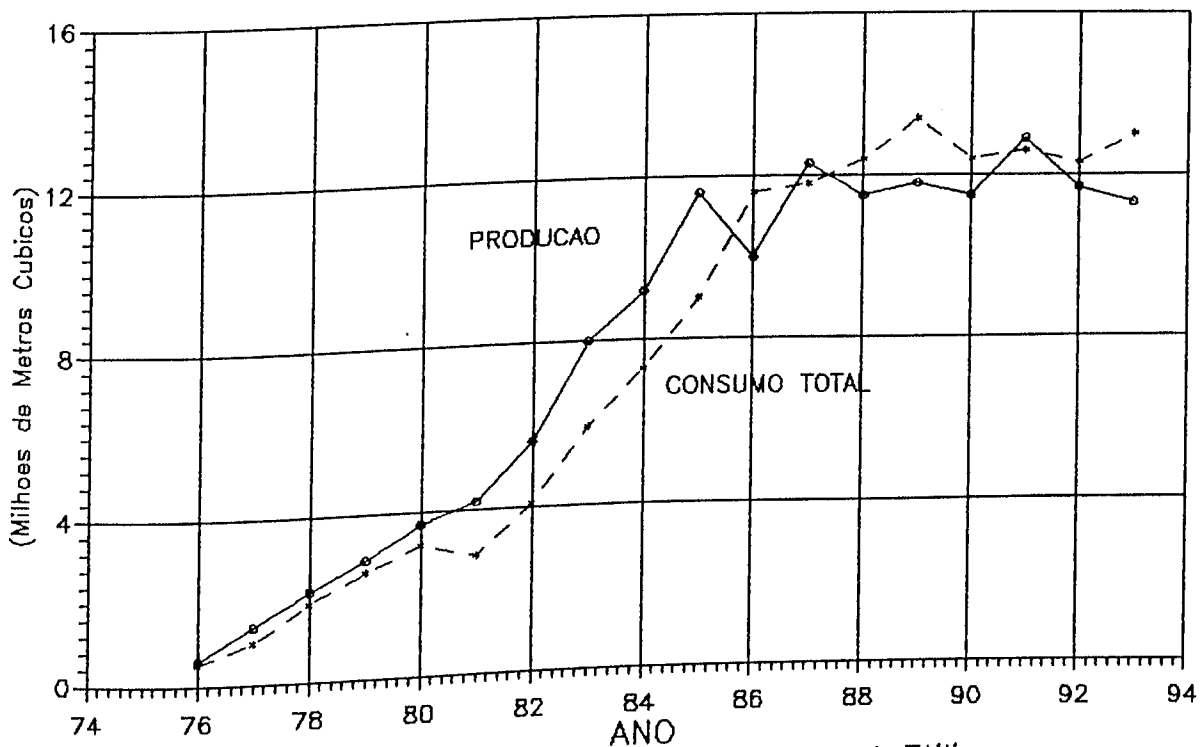


Fig. 9 - Produção e Consumo de Alcool Etílico

6.0 - MADEIRA E CARVÃO VEGETAL

6.1 - HISTÓRICO

A madeira é uma substância compacta e sólida que compõe as raízes, o tronco e os galhos das árvores e dos arbustos; com o passar do tempo, endurece e seca. A madeira do tronco das árvores é feita de diversas camadas, as quais é dado o nome de anéis de crescimento, cada anel corresponde mais ou menos, a um ano de vida da árvore. Assim para sabermos a idade da árvore, basta observarmos através do tronco, de quantos anéis ele é composto.

A parte exterior do tronco dá-se o nome de casca ou córtice, é também denominada camada cortical que serve para proteger o vegetal contra as intempéries. Da casca dá-se o nome de líber; alburno é a camada de lenha que fica entre a casca e o cerne, que é a parte interna do tronco das árvores, situada entre a casca e a medula, sendo esta a parte mais central do tronco e é esponjosa e mole.

Anualmente o líber se transforma em alburno, e este em cerne, que é a melhor porção do tronco utilizado para fins industriais.

O carvão vegetal, também chamado de carvão de madeira, resultante da combustão incompleta da madeira por falta de oxigênio. O seu poder calorífico é cerca de 8.000 Kcal/kg.

Cerca de 70% do carvão vegetal produzido hoje provem de florestas nativas e os restantes 30% de florestas plantadas. Noventa e cinco por cento (95%) desse carvão é consumido pelas indústrias siderúrgicas, metalúrgicas e de

fundição.

O principal tipo de forno usado para carbonização da madeira é o chamado forno rabo quente. Construído em tijolos, tem forma aproximada de um bico de elipsóide, é de fácil operação e de construção barata.

Nas áreas reflorestadas tem sido usado fornos de concepção mais avançada que permitem grandes volumes de madeira e munidos de equipamentos destinados a recuperar grande parte dos voláteis. São conjuntos de grandes baterias, cuja localização visa a minimizar os custos com transporte.

6.2 - COMPOSIÇÃO DA MADEIRA

A madeira é um recurso renovável, composta basicamente de polímeros naturais na seguinte proporção, [57]:

- celulose43 a 49% ;
- hemicelulose.....28 a 33% ;
- lignina24 a 30% .

Essas quantidades variam segundo o tipo , espécie e idade da madeira. Existem outros compostos na madeira denominados "extrativos", encontrados sobretudo na casca : óleos, resinas, fenóis, feninos, graxas e corantes.

Os principais constituintes dos polímeros que compõem a madeira são o carbono, hidrogênio e oxigênio .

Os valores médios, variando conforme a análise

elementar da madeira, espécie, tipo de terreno e idade, são os seguintes :

- Hidrogênio..... 6,0 % ;
- Carbono50,0 % ;
- Nitrogênio..... 0,1 % ;
- Oxigênio43,5 % ;
- Cinzas 0,4 % .

6.3 - REFLORESTAMENTO NO BRASIL

A tabela 20 indica o avanço do reflorestamento no Brasil e sua concentração nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Mato Grosso do Sul .

Nas outras regiões, o reflorestamento é pouco expressivo, destacando o estado do Pará, onde o reflorestamento ocorreu devido o impacto do Projeto Jari; enquanto que na Bahia, o reflorestamento é usado na produção de carvão vegetal para abastecer o parque siderúrgico de Minas Gerais e também para fornecer matéria-prima a indústria de papel e celulose.

Na tabela 21 podemos comparar o espaço físico ocupado com o plantio de árvores para fins de madeira, com o espaço utilizado pelas principais culturas. Verificamos o avanço das florestas plantadas que em 1984 só perde em área plantada para as culturas de milho e soja.

Tabela 20

Árvores Cultivadas Existentes nos Estados Brasileiros, [58]

ESTADO	31/12/1970		31/12/1985	
	Número (mil. árvores)	%	Número (mil árvores)	%
Rondônia	0	0,00	8	0,00
Acre	0	0,00	0	0,00
Amazonas	3	0,00	0	0,00
Roraima	0	0,00	500	0,00
Pará	69	0,00	88.131	0,91
Amapá	0	0,00	84.446	0,87
Tocantins	-	-	3.499	0,04
Maranhão	15	0,00	27.116	0,28
Piauí	2	0,00	5	0,00
Ceará	102	0,00	16	0,00
Rio Grande do Norte	40	0,00	462	0,00
Paraíba	26	0,00	1	0,00
Pernambuco	8.318	0,32	3.557	0,04
Alagoas	90	0,00	14	0,00
Sergipe	617	0,02	1.681	0,02
Bahia	111	0,00	447.680	4,62
Minas Gerais	467.239	18,07	3.011.201	31,07
Espírito Santo	26.204	1,01	171.718	1,77
Rio de Janeiro	13.632	0,52	65.883	0,68
São Paulo	937.778	36,26	1.679.537	17,33
Paraná	282.178	10,91	1.331.033	13,74
Santa Catarina	185.553	7,18	769.679	7,94
Rio Grande do Sul	643.526	24,89	1.203.052	12,41
Mato Grosso do Sul	-	-	607.698	6,27
Mato Grosso	605	0,02	19.982	0,21
Goiás	20.699	0,80	142.532	1,47
Dist. Federal	179	0,00	31.027	0 0,32
BRASIL	2.585.984	100,00	9.690.493	100,00

SECRETARIA FEDERAL DE ECONOMIA
BRASÍLIA

Tabela 21

Áreas Colhidas para Diversas Culturas
e Florestas Plantadas (em mil ha) [59]

	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Algodão	4.097	3.951	3.646	3.699	3.511	3.624	2.926	3.114
Arroz em Casca	5.992	5.624	5.452	6.243	6.102	6.025	5.108	5.351
Café	1.941	2.184	2.406	2.434	2.618	1.895	2.346	2.505
Cana-de-Açúcar	2.270	2.391	2.537	2.608	2.826	3.084	3.479	3.656
Feijão	4.551	4.617	4.212	4.643	5.027	5.926	4.064	5.320
Mandioca	2.176	2.149	2.111	2.016	2.067	2.122	2.061	1.816
Milho	11.797	11.125	11.319	11.451	11.520	12.620	10.706	12.018
Soja	7.070	7.782	8.256	8.774	8.501	8.203	8.137	9.241
Trigo	3.153	2.811	3.831	3.122	1.920	2.828	1.879	1.742
Floresta Plantada	3.466	3.976	4.345	4.808	5.050	5.473	5.715	5.091

6.4 - PRODUTIVIDADE DAS FLORESTAS PLANTADAS

A produtividade de uma floresta depende de vários fatores, como o solo, clima, espécie plantada, tipo de adubação, espaçamento entre árvores, dentre outros. A produtividade brasileira tem aumentado significativamente nos últimos anos, devido às pesquisas realizadas junto a escolha da espécie e tipo de manejo convenientes para cada área.

A tabela 22 dá a idéia desta evolução para uma floresta plantada no oeste da Bahia .

Tabela 22

Evolução da Produtividade Florestal [60]

ANO	PRODUTIVIDADE (STM / ha. ANO) ³
INICIAL	08
1983	27
1987	30
1990	35

* 01 stm³ corresponde ao volume de 01 m³ ocupado por madeira empilhada.

Os fatores citados acima, viabilidade segundo o clima e perspectivas de evolução futura com a continuidade dos investimentos em pesquisa tornam difícil a avaliação futura de florestas plantadas em um horizonte de médio prazo. A tabela 23 abaixo contém valores que apontam essa tendência.

Tabela 23

Estimativa de Produtividade de Florestas Plantadas [61]

LOCAL	NATUREZA DO DADO (1)	PRODUÇÃO ³ (M/Ha.ANO)(2)	FONTE
MG	P	32,3	[90]
BA	P	33,3	[90]
CE (seco)	P	14,7	[90]
NE	X	23,0	[89]
NE (úmido)	E	44,0	[91]
NE (sub-úmido/úmido)	E	33,0	[91]
NE (sub-úmido/seco)	E	28,0	[91]
NE (semi-árido)	E	15,0	[91]
NE árido	E	06,0	[91]
MG	P	16,6	[92]
MG	X	33,2	[92]

* (1) P= floresta existente, em produção.
 X= plantação experimental.
 E= estimativa para médio prazo.

* (2) m³ sólido - os dados originais em stm³ foram convertidos à razão de 1,52 stm³ = 1 m³ sólido.

6.5 - REFLORESTAMENTO EM OUTROS PAÍSES

O cultivo de florestas para obtenção de madeira é uma atividade econômica importante em vários países, entretanto a tecnologia tem sido voltada para o cultivo de florestas com fins para indústrias moveleira, para construção civil e para produção de papel e celulose. Nesse sentido, a utilização da biomassa como insumo energético é encarada como atividade secundária, resultante do aproveitamento de resíduos da atividade principal. Na Suécia, em 1987, houve produção de 59.000 GWh de energia a partir de resíduos florestais, rejeitos líquidos de indústrias de papel e celulose, cascas de árvores e serragens. Esta energia foi produzida sob a forma de vapor e de eletricidade, e sinaliza a existência de um imenso potencial para auto-produção e cogeração nesse setor no Brasil.

A tabela 24 dá uma idéia dos custos na formação de florestas em vários países. Em alguns casos as plantações são experimentais.

Tabela 24

Custo de Biomassa Florestal [62]

LOCAL	CUSTO (US\$(1987)/GJ)
Suécia	2,4 a 3,4
Finlândia	3,1
Havaí	1,4 a 2,0
Índia	1,4 a 1,9
Tailândia	1,7 a 1,9
Brasil (MG)	1,4 a 1,5
Haiti	1,4
Filipinas	1,0

6.6 - EVOLUÇÃO DA OFERTA DE LENHA E CARVÃO VEGETAL

Os produtos da biomassa florestal, lenha e carvão vegetal, ocupam a 3ª posição no ranking dos energéticos no Brasil, perdendo espaço apenas para a hidreletricidade e para o Petróleo.

6.7 - A MADEIRA COMO COMBUSTÍVEL

A madeira quando usada como combustível, apresenta certas vantagens quando comparada com os combustíveis tradicionais, como :

- recurso natural renovável ;
- emprega mão-de-obra não qualificada, gerando empregos fixando o homem no campo;
- possibilidade de utilização de terras impróprias para

a agricultura ;

- armazenagem simples ;
- não contribui com relação ao efeito estufa;
- possui baixo teor de cinzas e enxofre ;
- contribui para a substituição de derivados de

petróleo ;

- produto nacional ;

Como desvantagens da utilização da madeira como combustível temos que levar em conta o longo período de maturação, projeto sujeito a intempéries naturais , baixa densidade energética e com manuseio mais complexo que os combustíveis convencionais.

O poder calorífico superior (PCS) da madeira, que corresponde a totalidade do calor liberado na combustão e varia de acordo com a composição química, está em torno de 4.500 a 5.000 Kcal/kg.

O poder calorífico inferior (PCI) corresponde ao PCS deduzido o calor necessário para vaporizar a umidade própria do combustível e umidade resultante da combustão do hidrogênio, equivale à quantidade de calor útil liberado na queima de um combustível.

Assim para uma madeira com 35% de umidade, 6% de hidrogênio e PCS=4.500 Kcal/kg., corresponde a um PCI= 2524 Kcal/kg, [61].

Estes dados revelam a importância da umidade no poder calorífico da madeira. O limite de umidade na madeira situa-se em torno de 65%, mas para o aproveitamento eficiente este valor deve ser inferior a 45%. Por essa razão, a madeira extraída de

uma floresta deve ser mantida algum tempo em estoque , para secagem natural.

6.8 - CONVERSÕES TÉRMICAS DA MADEIRA

As conversões térmicas são alterações na estrutura química da madeira causadas pela elevação acentuada da temperatura. Essas conversões são realizadas com o objetivo de transformar a biomassa em um combustível adequado ao consumo, manuseio, armazenagem e transporte.

Essas conversões transformam a madeira em calor, gás combustível, carvão vegetal, ou em produtos químicos como o metanol, etc.

Para fins energéticos, as principais transformações são:

- Queima Direta, Carbonização, Gaseificação e Hidrólise.

A queima consiste na combustão da madeira em fornalha. O calor obtido serve para a secagem ou aquecimento para geração de vapor. É o processo mais difundido no Brasil e a produção de equipamentos para este fim é inteiramente nacional.

A carbonização consiste em transformar a madeira em carvão vegetal, através da secagem e pirólise, possibilitando uma melhor relação poder calorífico/peso. Esse carvão é consumido por empresas siderúrgicas em alto-fornos. Algumas empresas têm desenvolvido técnicas aprimoradas na produção do carvão e aproveitando o alcatrão, sub-produto da carbonização, que se lançado na atmosfera torna-se poluente e se recuperado pode substituir os óleos combustíveis.

A gaseificação transforma a madeira em combustível

gasoso para ser usado em queimadores de fornos, geradores de vapor, turbinas e motores, além de constituir insumo para a produção de gás de síntese do metanol, ácido acético, amônia, dentre outros.

É o processo que apresenta maior diversificação de uso, entretanto a oferta de equipamentos é ainda insuficiente e os gaseificadores que existem no mercado são de pequeno porte, na faixa de 5 Gcal/h. As instalações em uso são voltadas para a produção de vapor.

A hidrólise é um processo que consiste no ataque de uma solução ácida sobre os componentes celulósicos da madeira, os quais são convertidos em açúcares. Após a separação da lignina insolúvel, a solução de açúcares é submetida a fermentação para produzir etanol, liberando dióxido de carbono.

6.9 - O MEIO AMBIENTE E O USO DA MADEIRA

Os impactos ambientais provenientes do uso da biomassa florestal para fins energéticos dependem de diversos fatores como natureza da biomassa, região de implantação, escala do empreendimento etc.

O cultivo da biomassa florestal pode gerar um desequilíbrio na produção de alimentos. através do deslocamento de áreas que seriam para esse fim. Outro fator é que essas florestas demandam grandes áreas e um tempo prolongado para produção.

As emissões de Co₂ a partir da produção de energia elétrica pela biomassa florestal não deve provocar maiores

consequências ao meio ambiente, desde que se faça um balanço de todo o ciclo, desde a implantação da floresta, esses níveis de emissão podem ser até reduzidos pelos seguintes fatores :

- Se a biomassa é produzida e renovada, não haverá acréscimos de CO₂ na atmosfera ;

- A implantação de novas florestas pode extrair significativas quantidades de carbono, se a floresta for constituída de árvores de crescimento rápido e de longa vida, assim há uma extração de CO₂ da atmosfera;

- Em países onde ocorre o desmatamento predatório, a implantação de florestas contribui para atenuar o acréscimo de CO₂;

- A localização da usina no centro da floresta ajuda a diminuir os níveis de CO₂ liberados na gaseificação/ combustão .

As emissões de NO_x não chegam a causar problemas no caso da biomassa florestal em virtude da temperatura dos gases ser relativamente baixa devido ao seu baixo poder calorífico, insuficientes para promover a dissociação de NO₂. Este efeito é ainda minimizado pela injeção de vapor, resultando numa combustão de baixo NO_x.

Quanto às emissões de SO_x, estas são praticamente insignificantes, devido aos ínfimos teores de enxofre presentes nos gases da madeira. Nesse caso a chuva ácida é um fenômeno que deixa de existir quando se utiliza esse processo.

Além desses fatores, devemos considerar também que se tem sobre a criação de novos empregos , que o uso da madeira para fins energéticos pode propiciar. Esse volume de mão-de-obra não especializada é da seguinte ordem, [63].

- Área Florestal : 0,025 a 0,030 empregos / ha;
- Área de Conversão de Energia (Implantação): 1,02 empregos/MW;
- Área de Conversão de Energia (Operação e Manutenção): 0,35 empregos/MW, [61].

7.0 - CARVÃO MINERAL

7.1 - HISTÓRICO

Analisando a evolução do consumo dos principais energéticos no mundo, vemos que o carvão teve sua participação reduzida em termos percentuais, mas sua utilização quantitativa teve um aumento de 45 quads em 1937 para 96 quads em 1988, conforme mostra a tabela 25.

Tabela 25

Consumo de Energia no Mundo (Excluída a Biomassa)[8]

Energético	1937		1988	
	quads	%	quads	%
Carvão	45	74	96	30
Petróleo	12	20	121	38
Gás Natural	03	05	65	20
Hidroeletricidade	01	01	22	07
Nuclear	-	-	17	05

15
- 1 Quads (quadriilhão, 10¹⁵ BTU).

7.2 - RECURSOS E RESERVAS DE CARVÃO

O carvão mineral tem uma insignificante participação na estrutura de consumo de energia do país, apenas cerca de 2% do

total de energia primária.

Por outro lado, como verificamos na tabela 26, as reservas de carvão equivalem a mais de 50% do total de recursos e reservas energéticas brasileiras não renováveis, o que não corresponde, evidentemente, às suas potencialidades. Esse paradoxo se deve em parte ao seu elevado custo (subsidiado até meados de 1993), alto teor de inertes, afastamento de suas reservas em relação aos principais centros consumidores, etc.

Tabela 26

Reservas Energéticas brasileiras não Renováveis [3]

	3 10 TEP	%
Petróleo	410.780	8,3
Gás Natural	119.815	2,4
Xisto	487.126	9,8
Carvão Mineral	2.571.000	51,7
Energia Nuclear	1.347.780	27,0
Turfa	40.092	0,8
Total.....	4.976.593	100,0

A distribuição das reservas acima segundo os Estados produtores, estão localizadas principalmente no Rio Grande do Sul com 91% dos recursos totais; Santa Catarina com 8,5% e Paraná e São Paulo com menos de 0,5%; como podemos verificar na tabela 27.

Tabela 27

6

Reservas de Carvão Mineral por Estado (10 TEP) [64]

ESTADO	MEDIDA	INDICADA	INFERIDA	TOTAL	%
RS	1786,46	3544,01	15437,53	20768,00	91,04
SC	379,31	859,07	702,86	1941,24	8,51
PR	32,04	57,74	5,00	94,78	0,41
SP	2,00	1,00	7,02	10,02	0,04
TOTAL	2199,81	4461,82	16152,41	22814,04	100,00
	9,65	19,56	70,79	100,00	

7.3 - MINERAÇÃO DO CARVÃO

O carvão apresenta na natureza sob a forma de camadas, podendo estas serem superficiais ou bastante profundas como ocorrem nas minas de Peisenberg, na Alemanha, a 1.100 m, [65].

As condições dessas jazidas determinam o tipo de mineração a ser empregado, como :

- Mineração a céu-aberto;
- Mina de encosta;
- Mina de subsolo.

Na mina a céu-aberto, o carvão encontra-se na superfície da terra, logo abaixo desta. A sua retirada é por meio de explosivos e carregado por escavadeiras em caminhões. Logo a seguir o carvão é levado ao lavador para beneficiamento. Considera-se uma mina de céu-aberto até uma profundidade média de 30 m.

A mina de encosta é aplicável às jazidas que afloram nas encostas dos montes, tornando desnecessária a abertura de

poços. Pode ser usado juntamente à mina de céu-aberto, até o limite da espessura econômica.

A mina de subsolo é o tipo de mineração mais difícil. Nessas minas as escavações podem ser feitas por meio de : poço vertical e plano inclinado. O sistema de transporte é feito por meio de transportadoras de arrasto, Shuttlecar, correias transportadoras e locomotivas para o carregamento até a boca da mina.

7.4 - BENEFICIAMENTO DO CARVÃO

O beneficiamento do carvão é necessário para promover a separação dos materiais desejáveis e indesejáveis existentes no carvão, resultando daí o produto final ou carvão lavado e o rejeito.

Existem vários processos de beneficiamento, sendo que a maioria destes utiliza a diferença de densidade entre a matéria mineral e a carborosa para a separação de frações ricas em carbono.

Os equipamentos mais usados no beneficiamento gravimétrico dos carvões são os jigues, mesas vibratórias, separadores de meio denso, ciclone autógenos ou hidrociclones. Destacando entre esses, os ciclones de meio denso e os jigues, dentre os mais usados.

7.5 - FORMAS DE UTILIZAÇÃO DO CARVÃO MINERAL [66]

O carvão como fonte energética pode ser usado por queima direta (combustão), gaseificação e liquefação.

A queima direta ou combustão é a forma mais antiga,

mais difundida e a de menos custo. A combustão pode se dar em grelhas fixas ou móveis, para aplicações de pequeno e médio porte (até 50t/h de vapor); combustão em forma pulverizada onde o carvão finalmente pulverizado através de queimadores, é empregado em termelétricas e caldeiras acima de 50 t/h de vapor; e a combustão em leito fluidizado que consiste na queima do carvão em leito de material inerte suspenso pelo ar de combustão, a velocidade do ar deve ser suficiente para manter as partículas em movimento, estabelecendo um leito com aspecto semelhante ao de um líquido em ebulição.

A gaseificação é a técnica utilizada para conversão do carvão em combustível gasoso e transporte mais fácil. Os agentes gaseificantes principais são o oxigênio, ar, vapor d'água, hidrogênio, dióxido de carbono ou misturas destes com o carvão, formando uma mistura de gases compostos de H₂, CO, CO₂, CH₄, H₂, etc.

A liquefação do carvão é a conversão do carvão em produtos liquefeitos, que apresentam mais fácil aplicação e transporte mais adequado, podendo vir a se constituir, a longo prazo, numa alternativa para os derivados do petróleo.

Outro emprego do carvão é na indústria siderúrgica na forma de carvão metalúrgico ou coque. O coque nacional é misturado ao importado para redução do ferro-gusa. As principais jazidas brasileiras estão localizadas na Camada Barro Branco em Santa Catarina e nas de Morungava, Chico Omã e Santa Terezinha no Rio Grande do Sul. A produção nacional de coque é muito pequena, menos de 10 % do total consumido.

A utilização do carvão mineral, apenas 20% do consumo

total de fontes primárias de energia, não coaduna com as potencialidades em termos de reservas existentes, conforme vemos na tabela 28, visto que estas reservas representam mais da metade do conjunto dos combustíveis fósseis.

TABELA 28

COMPOSIÇÃO RECURSOS/RESERVAS ENERGÉTICAS

BRASILEIRAS NÃO RENOVÁVEIS - SITUAÇÃO EM 31/12/92 [3]

	RECURSOS/RESERVAS 3 (10 TEP)	%
PETRÓLEO	410.780	8,3
GÁS NATURAL	119.815	2,4
ÓLEO DE XISTO	487.126	9,8
CARVÃO MINERAL	2.571.000	51,7
ENERGIA NUCLEAR	1.347.780	27,0
TURFA	40.092	0,8
TOTAL	4.976.583	100,0

Se por um lado procuramos estimular o uso do carvão, devemos considerar o custo social que esta alternativa acarreta. Por conseguinte, não significa que devemos abandonar o carvão e considerá-lo de importância secundária, mas faz-se necessário implementar as pesquisas nas áreas de gaseificação e liquefação para torná-lo competitivo com outras fontes e também melhores os atuais níveis de emissões, principalmente SOx, para sua viabilização, para geração termelétrica no Sul do país, onde parece ser a sua maior tendência de utilização, [67], [68].

8.0 - XISTO

8.1 - HISTÓRICO

O xisto é a denominação genérica dada às rochas rudimentares oleígenas que contém disseminado na matriz mineral, argilosa ou calcária, um complexo orgânico que se decompõe termicamente produzindo hidrocarbonetos similares aos derivados do petróleo e do gás natural, como óleo de xisto e gás de xisto.

O xisto é classificado em betuminoso e pirobetuminoso. O xisto betuminoso contém disseminada em seu meio mineral, matéria orgânica quase fluída, podendo o óleo ser extraído por meio de solventes comuns. Já no xisto pirobetuminoso, os hidrocarbonetos possuem alto peso molecular sendo sólido à temperatura ambiente, de modo que só transformam em betume quando aquecido a altas temperaturas.

Em 1941, a Companhia Nacional de Óleos Minerais (PANAL), iniciou a produção de óleo combustível, parafina e gás combustível. No ano de 1946, a PANAL, com ajuda do Governo Federal, projetou uma instalação para produzir 6.000 barris/dia de óleo, no Vale do Paraíba em São Paulo.

Em 1954, com a fundação da PETROBRÁS e da SIX (Superintendência da Industrialização do Xisto), os estudos geológicos passavam a ser conduzidos com seriedade e método, chegando a conclusão que os estudos e exploração do xisto na formação de Irati, no Paraná, eram prioritários.

A seguir, a sequência cronológica de Implantação do Processo Petrosix na formação de Irati :

- . 1958 - Concepção do processo e avaliação econômica preliminar ;
- . 1959 - Testes em escala de bancada ;
- . 1960/1961 - Construção e operação da planta piloto de retortagem e combustão;
- . 1961 - Abandono do processo de combustão;
- . 1962/1965 - Operação da planta piloto de retortagem e otimização do processo;
- . 1964/1965 - Projeto da Unidade de Demonstração - UPI Unidade Protótipo de Irati;
- . 1966/1971 - Construção da UPI ;
- . 1972/1975 - Operação da UPI e otimização do Processo Petrosix;
- . 1976 - Operação da UPI como unidade comercial, [69]

No momento, encontra-se em fase de conclusão pela SIX, o Módulo Industrial de Xisto, em São Mateus do Sul - Paraná, que deverá produzir anualmente 1.310.000 barris de óleo e uma capacidade instalada para 50.000 barris de óleo por dia.

8.2 - RESERVAS DE XISTO

As principais jazidas brasileiras são as de xisto permiano na Formação Irati pertencente à Bacia Sedimentar do Paraná, que vai desde o Centro-Leste do Mato Grosso até o Uruguai, numa faixa de mais de dois (02) mil quilômetros.

A outras jazidas são :

- Xisto Terciário do Vale do Paraíba - São Paulo;

- Xisto Cretáceo do Macaú - Bahia ;
- Xisto Permiano da Formação Santa Brígida - Bahia;
- Xisto Cretáceo em Araripe - Ceará ;
- Xisto Cretáceo Alagoas;
- Xisto Cretáceo na Formação Codó - Maranhão;
- Xisto desoniano na Formação Curuá, no Pará, Amazonas e Amapá. Acredita-se que seja essa formação na Amazônia a maior reserva de xisto do mundo.

A tabela 29 abaixo quantifica as reservas brasileiras para capeamento até 45 m. pelo critério Petrobrás, que consiste em:

- condições favoráveis para mineração a céu-aberto, com capeamento máximo de 45m.;
- ausência de falhas estruturais significativas ;
- teor médio de óleo no mínimo de 7%, considerando as camadas combinadas ;
- propriedades adequadas para processamento considerando o Processo Petrosix, numa escala de produção de 50.000 barris/dia, em 30 anos.

Tabela 29

Reservas Brasileiras de XISTO - Formação de IRATI[10]

EST.	Área	Cobertura Inferior a 30 m				Cobertura inferior a 45 m			
		Óleo 6 10 b	GLP 6 10t	Gás Com. 9 10m3	Enxofre 6 10 t	Óleo 6 10 b	GLP 6 10t	Gás Com. 9 10m3	Enxofre 6 10t
PR	S.Mateus do Sul	707	9	24,1	11,0	797	5,6	27,2	12,4
	Rio Negro/ Rio Iguaçu	228	1,6	7,8	3,5	244	1,7	8,3	3,8
	Imbituba	57	0,4	1,9	0,9	80	0,6	2,8	1,3
SC	Papanduva / Três Barras	563	4,0	19,2	8,6	729	5,1	24,9	11,3
RS	S.Gabriel / Dom Pedrito	900	6,3	30,9	14,0	950	6,7	32,6	14,8
SOMA		2.455	21,3	83,9	38,0	2.800	19,7	95,8	43,6

A tabela 30 mostra o potencial de xisto comparado com as outras fontes de energia. Notamos que os recursos de xisto, considerando as reservas inferidas/inventariadas, consiste no maior potencial de fontes de energia fóssil, várias vezes superiores às de petróleo.

Tabela 30

Recursos e Reservas Energéticas Brasileiras em 31/12/91[3]

Especificação	unidades	RECURSOS E RESERVAS		Equivalência Energética 1.000 TEP
		MEDIDAS/ INDICADAS/ INVENTARIADAS	INFERIDAS/ ESTIMADAS	
Petróleo	mil m3	475439	376942	410780
Gás Natural	milhões m3	123776	84542	119815
Óleo de Xisto	mil m3	445100	9402000	382786
Gás de Xisto	milhões m3	111000	2353000	104340
Carvão Mineral- in situ	milhões t	10171	22239	2571000
Hidráulica	GW ano	77,2	51,8	196119/ano
Energia Nuclear	tU308	192540	108950	40092

8.3 - PROCESSO DE PRODUÇÃO DO XISTO - PROCESSO PETROSIX

O processo Petrosix é um sistema de grande simplicidade operacional que permite a recuperação do óleo e gás contido nos xistos.

O xisto, numa granulometria de 6,35 a 65,5 mm. , é alimentado continuamente pela parte superior da Retorta Petrosix. O xisto escoia por gravidade atravessando as zonas de secagem, aquecimento, de retortagem e resfriamento. Na zona de retortagem, o xisto sofre uma decomposição térmica (pirólise), liberando a

matéria orgânica nele contida sob a forma de óleo e gases.

O xisto exaurido da matéria orgânica retirado pelo fundo da retorta passa por um resfriamento e posterior rejeito.

8.4 - USINA PROTÓTIPO DE IRATI (UPI)

A Usina Protótipo de Irati foi construída pela Petrobrás em 1972, para testar em escala semi-industrial, o processo de obtenção de óleo de xisto denominado Petrosix. Foram gastos US\$ 68 milhões de investimentos na implantação da usina.

A UPI é a maior instalação para processamento contínuo de xisto no mundo, fator que garante à Petrobrás posição privilegiada na posse e domínio da tecnologia no gênero.

A usina está localizada em São Mateus do Sul - PR, e sua produção diária é a seguinte :

- óleo	850	bbl/dia;
- gás combustível.....	38	ton/dia;
- enxofre	18	ton/dia.

De 1981 até 1989 a produção total da UPI foi de :

- óleo	$2,8 \times 10^6$	bbl ;
- Gás Combustível	$100,9 \times 10^3$	ton;
- Enxofre	$46,3 \times 10^3$	ton ;

A partir dessa usina protótipo e com o suporte do Processo Petrosix, a Petrobrás desenvolveu o projeto básico de uma usina industrial para aproveitamento da jazida de xisto em

São Mateus do Sul.

Esta usina terá capacidade para processar, durante 30 anos, 112.000 toneladas métricas de xisto por dia de operação, 7564 toneladas métricas de óleo de xisto, além de 640 t (dia de GLP, 1265 m³/dia de nafta, 1242 t/dia de gás combustível e 990 t/dia de enxofre .

A capacidade instalada final do projeto será de 49000 barris por dia. Essa obra foi iniciada em 1983 e hoje encontra-se 85% do conjunto concluído.

O xisto não chega a ser uma fonte de energia alternativa , pois os indígenas já o utilizavam, muito antes do petróleo ser descoberto.

Esse recurso apresenta para o Brasil em um grande trunfo, quando comparamos com outros energéticos. Vemos que é nossa maior fonte de energia fóssil e o país não aproveita nada dessa energia.

Há experiências em outros países como na ex-URSS e Marrocos que utilizam a queima direta do xisto para geração termelétrica.

Outra oportunidade para o xisto é o comércio da tecnologia com outros países em virtude do Processo Petrosix ser inédito no mundo.

Há também experiências da mistura de xisto com outros energéticos como o carvão, lenha, turfa e outros. Essa pode ser uma tendência para a Amazônia. No lugar de hidrelétricas de baixa queda, estuda-se o uso do xisto e turfa para geração termelétrica, principalmente na margem esquerda do Amazonas .

Finalmente queremos salientar a necessidade de implementar mais pesquisas para que possamos produzir óleo de xisto a preços competitivos com o petróleo, representando mais uma opção energética e diminuindo nossa dependência externa.

09 - MODELO MATEMÁTICO

Com o intuito de prever o comportamento das fontes de energia no Brasil, formulamos um modelo matemático a partir do que já havia sido desenvolvido na Universidade de Miami (EUA). O modelo matemático apresentado a seguir é essencialmente, uma adaptação à nossa realidade.

Além das previsões de demanda e oferta de energia, o modelo fornece também, projeções do crescimento populacional brasileiro e do produto interno bruto (PIB). Nele são incluídos a população, a demanda de energia (fóssil, elétrica, álcool, etc.), o produto interno bruto, a importação de energia fóssil, os preços mundiais de energia, a poluição atmosférica e a qualidade de vida, como parâmetros construtivos.

Nas sub-seções seguintes, são apresentadas as relações entre os parâmetros acima mencionados.

9.1 - POPULAÇÃO

Ao p#população do Brasil, como em muitos países em desenvolvimento, cresceu a taxa média de 1,8 % ao ano na década de '80. Nos anos 90, a taxa de crescimento prevista é de 1,6%, declinando nas décadas seguintes, [70]. Conhecendo-se um valor inicial da população e sua taxa de crescimento, pode-se estima-la em um tempo futuro pela seguinte relação, [11] :

$$Q_n = (Q_{n-1}) \cdot \text{EXP}[\text{LOG}(2) \cdot (D_{tn}) \cdot (W_n) / (O_{qo})] \quad (1)$$

Onde:

- Q_n = população no ano t_n
- Q_{n-1} = população no ano t_{n-1}
- D_{tn} = $(t_n) - (t_{n-1})$
- W_n = modificador de crescimento de população para o intervalo de tempo D_{tn}
- O_{qo} = tempo para dobrar o crescimento inicial da população.

Os valores iniciais da população, tempo para dobrar o crescimento inicial da população e ano inicial são os seguintes:

$$t_0 = 1950$$

Para o Brasil, [79] :

$$Q_0 = 51,9 \text{ milhões de habitantes}$$

$$O_{qo} = 45 \text{ anos.}$$

Devido a política de controle de natalidade a população brasileira tende a diminuir sua taxa de crescimento com o decorrer do tempo, como já ocorreu em alguns países industrializados. Por levarmos isso em conta, a taxa de crescimento populacional usada foi de 1.6% para a década de '90, ou seja, 0,4% a menos que a estimativa do IBGE (1991), [79].

A partir dos dados históricos, buscou-se definir uma equação que melhor representasse a variação do crescimento populacional brasileiro. Assim, chegou-se a uma expressão de variação anual para O_{qo} .

$$Oqo(n) = 25,456 + 0,0413106.n + 0,00903234.n^2 + 0,00116458.n^3 + 5,75466.10^{-6}.n^4 \quad (2)$$

A figura 10 apresenta o comportamento da equação acima.

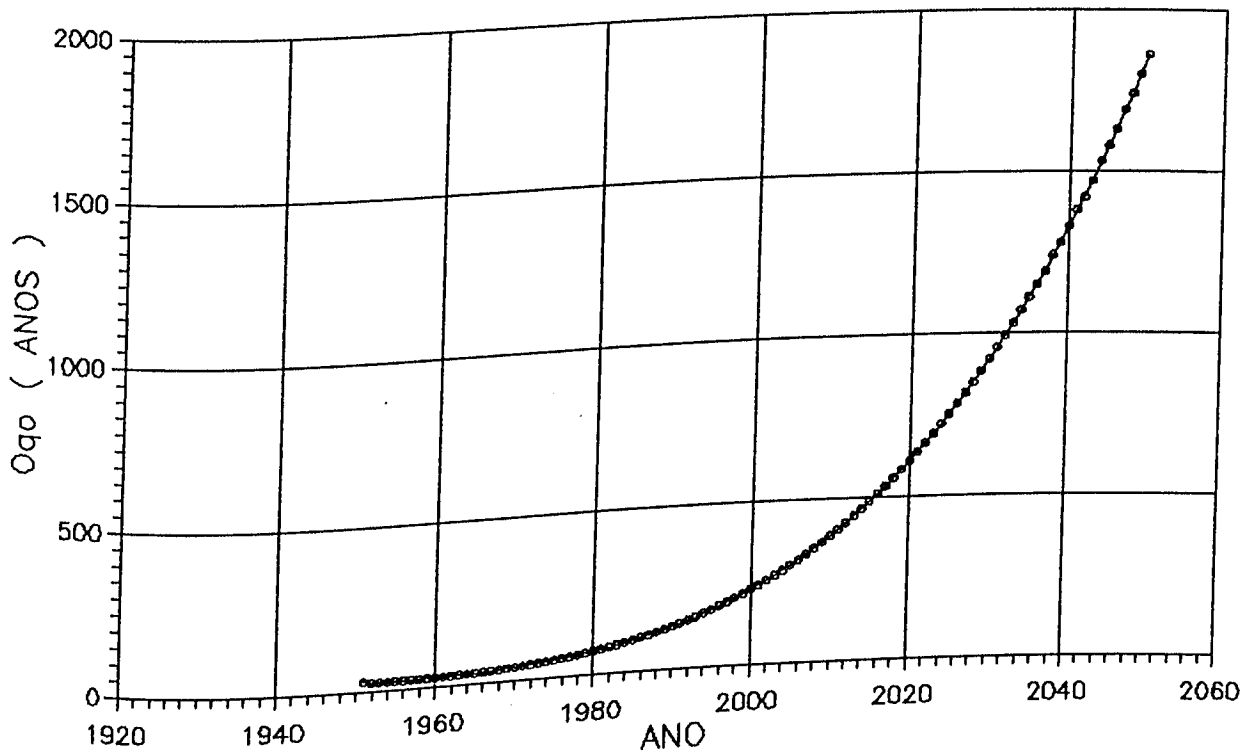


Fig. 10 - Oqo (Tempo de Dobramento da Populacao)

Observando a equação, nota-se que Oqo é uma função sempre crescente, logo a população brasileira tende a se estabilizar. Isto viria a ocorrer por volta de 2.060 com uma população em torno de 250 milhões de habitantes. Podemos notar também que para a população de 1990 vir a dobrar, levaria em torno de 130 anos, o que difere significativamente da referência [12], que prevê um período de 45 anos. Essa discrepância reflete a tendência dos dados históricos.

Para o mundo:

$Qwo = 2,49$ bilhões de habitantes, [81].

$Oqwo = 35$ anos.

O modificador de crescimento Wn é uma função adimensional dado pela razão entre o tempo para dobrar o crescimento inicial da população do ano inicial e de um ano qualquer n . A finalidade da introdução do modificador de crescimento é alterar $Oqwo$ a cada ano, tornando-se assim uma quantidade que varia com o tempo e que depende das oscilações nas condições sócio-econômicas.

População, consumo de energia, produto bruto e poluição são importantes indicadores das condições sócio-econômicas de uma nação. Como o modificador de crescimento é uma quantidade adimensional, devem também ser adimensionalizados os indicadores acima citados, de maneira a tornar o modelo matematicamente consistente. Portanto, teremos:

$$Qrn = Qn/Qo \quad (3)$$

$$Grqn = GnQo/GoQn \quad (4)$$

Razão populacional,

Razão do produto bruto por capita,

Razão de poluição,

$$Prn = Pn/Po \quad (5)$$

Onde G, é o Produto Interno Bruto, e P a poluição.

Deve-se notar que a taxa de consumo de energia não foi incluída para a derivação da expressão do modificador, uma vez que a energia varia na mesma razão do produto interno bruto.

A equação,

$$Wn = A - B.(Grn)^a .(Prn)^b .(Qrn)^c - C/[(Grqn)^a .(Prn)^b .(Qrn)^c] \quad (6)$$

Onde A, B, C, a, b, e c são constantes adimensionais, calculadas por El Jrushi usando dados estatísticos disponíveis para o mundo inteiro e algumas sub-regiões, é a melhor correlação entre Wn e os parâmetros acima. Ela é apresentada e justificada na referência [71]. A seguinte equação foi adaptada por Verizoglu para o modificador de crescimento de população mundial, [11].

$$WWn = 1.3 - 0.22.(Grqw)^{0,1} .(Prw)^{0,5} - 0,08/[(Grqw)^{0,1} .(Prw)^{0,5}] \quad (7)$$

Como a equação acima foi derivada usando dados do mundo como um todo, sua aplicação a um determinado país conduz a uma super ou sub-estimativa dos parâmetros do país em relação às mundiais. Assim, a equação 7 foi alterada de forma a ser aplicável ao Brasil. Obteve-se a partir dos dados estatísticos disponíveis para o país a equação abaixo.

$$Wn = 1,3 - 0,081.(Grq)^{0,1} .(Pr)^{0,5} - 0,219/[(Grq)^{0,1} .(Pr)^{0,5}] \quad (8)$$

9.2 - DEMANDA DE ENERGIA

Segundo Ferguson, [72], cada pessoa dispõe de um montante máximo de bens que pode gastar em cada período de tempo, qual seja sua renda monetária.

Quando ocorre o aumento na renda de uma pessoa, ela normalmente procurará despendê-la de modo a maximizar sua satisfação. No início, com uma renda menor, ela destinaria seus gastos a produtos básicos como os alimentos, vestuário e outros. Mas à medida que sua renda vai aumentando, ela não a gastará toda comprando cada vez maiores quantidades dos mesmos produtos que sempre demandou. Desta forma, ela começa a adquirir outros tipos básicos na quantidade máxima para sua satisfação. Ela tentaria ampliar seu conforto doméstico através do consumo de energia, da aquisição de eletrodomésticos mais sofisticados, carros novos, viagens, etc..., impulsionando assim diversos setores da economia. Isto implicaria no surgimento de novos empregos, necessidade de maiores quantidades de insumos, o que elevará demanda de produtos de outros setores, logo gerando mais empregos. Assim, a renda de outros consumidores se ampliaria e eles também gastariam mais.

Desta forma, o desenvolvimento econômico, ao aumentar as rendas individuais, provoca uma ampliação nas diversas demandas nacionais. Isto acarretará crescentes níveis de consumo de energia porque, como foi mostrado, haverá expansão nos setores industrial e de transporte, uma maior mecanização da agricultura e um aumento da procura por eletrodomésticos devido a melhoria do poder aquisitivo. A demanda de energia aumentaria à uma proporção

maior que o crescimento da população devido ao desejo das pessoas em melhorar seus padrões de vida. Desta forma, o crescimento da demanda de energia se relaciona ao crescimento populacional e ao desejo das pessoas em melhorar seus padrões de vida. Assim, o tempo para dobrar o crescimento da demanda de energia (Oet) pode ser expresso da seguinte maneira, [11] :

$$1/O_{et} = 1/O_e + 1/O_q \quad (9)$$

onde: O_e = tempo para dobrar o padrão de vida
 O_q = tempo para dobrar o crescimento populacional

A equação para Oet em função dos dados históricos, a partir de 1950, foi desenvolvida e ajustada de modo a satisfazer as condições do algoritmo, nos forneceu a seguinte expressão:

$$O_{et}(n) = 39,4596 - 0,447499.n - 0,00372294.n^2 + 0,000239057.n^3 \quad (10)$$

A figura 11 representa melhor a expressão acima, onde percebemos que o valor de Oet decresce e depois volta a subir, sendo a primeira etapa decorrente do desenvolvimento econômico e do progresso tecnológico e o aumento posterior devido ao fato que depois de atendida às necessidades básicas da população a demanda energética passe a ser menor. O decréscimo nas taxas demográficas também é um outro fator que influencia o valor de Oet.

O tempo inicial para dobrar o crescimento populacional para o Brasil é dado pela equação (2) e para o mundo 42 anos. O tempo inicial para dobrar a demanda de energia para o Brasil é dado por

$O_{et} = 37$ anos, enquanto que para o mundo é de 42 anos.

Espera-se que o consumo de energia seja fortemente influenciado pelo modificador de crescimento populacional. A relação entre o consumo de energia no ano t_n , E_n , e no ano t_{n-1} , E_{n-1} pode ser expresso como, [11] :

$$E_n = (E_{n-1}) \cdot \text{Exp}[\text{LOG}(2) \cdot (D_{tn}) \cdot (W_n) \cdot (1/(O_{et} \cdot V_{en}) + 1/(O_{qo} \cdot V_{qn}))] \quad (11)$$

Os valores iniciais O_{eo} , O_{qo} , E_o são correspondentes ao ano de 1950.

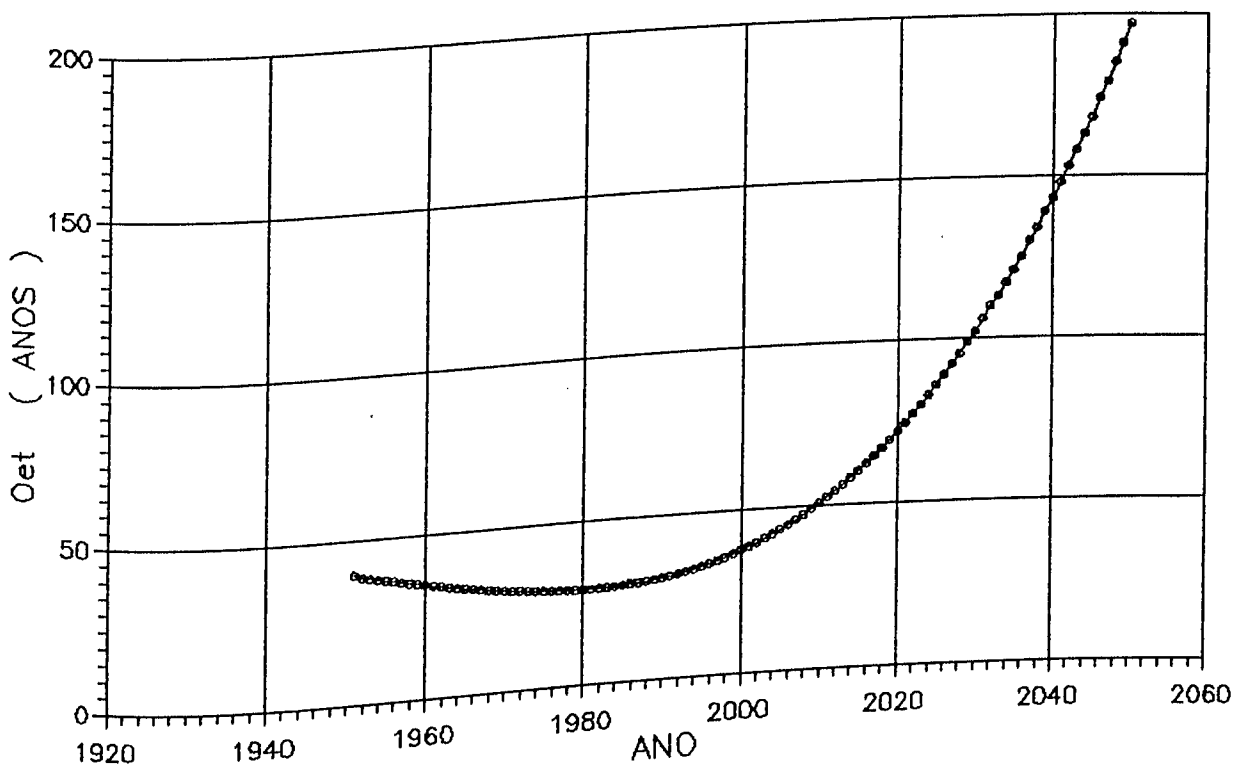


Fig. 11 - O_{et} (Tempo de Dobramento da Demanda de Energia)

A demanda inicial de energia para o Brasil é dada por $E_o = 1,54$ EJ, enquanto que para o Mundo é : $E_{wo} = 72,0$ EJ; portanto o Brasil era responsável por aproximadamente 2,2% da demanda mundial de energia, no ano de 1950 passando a 3% em 1990, [3], [73].

V_{qn} e V_{en} são os modificadores adimensionais, dos tempos para dobrar O_{qo} e O_{eo} , respectivamente. Como a população aumenta, a necessidade de energia devido ao aumento populacional deve crescer a uma taxa menor do que o crescimento populacional desde que o número de lares e de escritórios por pessoa decresça proporcionalmente. Portanto, o modificador V_q é função leve da razão populacional, logo:

$$V_{qn} = (Q_{rn})^x \quad (12)$$

onde x é assumido como um número muito pequeno ($x < 0,1$), [11].

O tempo para dobrar o crescimento da demanda de energia devido aos esforços para melhorar o padrão de vida tende a diminuir com o decréscimo da capacidade de produção das fontes de combustíveis fósseis. Isto implicaria em mais energia para extração de combustível destas fontes. Tenderia também a diminuir com o acréscimo do consumo de energia per capita. V_{en} , pode ser correlacionado através da seguinte fórmula, [11] :

$$V_{en} = (C_{rn})^Y (R_{rn})^Z / (E_{rqn})^V \quad (13)$$

onde C_{rn} é a razão entre os preços de energia fóssil e renovável
 $R_{rn} = R_n/R_o$ é a razão entre as fontes de

reservas fósseis

$Erqn = En.Qo/Eo.Qn$ é a demanda de energia per capita normalizada em relação ao seu valor inicial.

Os expoentes y , z e v são assumidos como muitos pequenos ($< 0,1$).

Além das previsões do consumo total de energia, também nos interessava fazer projeções de cada um dos energéticos em particular. O modelo matemático proposto foi aplicado a cada um deles tendo-se o cuidado de ajusta-lo aos dados históricos. Desta forma foi introduzido em cada equação um coeficiente que ajusta a expressão aos dados históricos, esse coeficiente em virtude da variação dos dados é uma expressão, cujo grau de simplicidade depende da oscilação do consumo do energético em cada ano.

Assim as expressões para o consumo de cada energético são as seguintes:

(1) - Energia Elétrica

$$ELn = ELRn \cdot ELn-1 \cdot EXP(Bn-1 \cdot An-1) \quad (14)$$

Onde:

ELn Consumo de energia elétrica no ano tn

$ELRn = 1.04741 - 0.0005945544 \cdot n$ Coeficiente de

ajuste aos dados históricos

$ELn-1$ Consumo de Energia Elétrica no ano

anterior

$Bn-1 = LOG(2) \cdot DT \cdot Wn-1$

$DT=1$ variação do tempo em anos

Wn-1 modificador populacional

$$An-1 = 1/(Oqn-1.VQn-1) + 1/(Oen-1.VEn-1)$$

Oqn-1 tempo para dobrar a população

VQn-1 fator que depende do crescimento populacional

Oen-1 tempo para dobrar a demanda de energia

VEn-1 fator que depende do crescimento da demanda de energia

(2) - Lenha e Carvão Vegetal

$$CVn = CVRn.CVn-1.EXP(Bn-1.An-1) \quad (15)$$

Onde:

CVn consumo de lenha no ano T(n)

$$CVRn = 0.96339 - 0.001269.n + 4.4246.10^{-5}.n^2 - 2.84.10^{-7}.n^3$$

CVn-1 consumo de lenha no ano anterior

(3) - Produtos da Cana-de-Açúcar

$$ALn = ALRn.ALn-1.EXP(Bn-1.An-1) \quad (16)$$

Onde:

ALn consumo dos produtos da cana no ano Tn

$$ALRn = 4,824/n - 0,1477.n^{0,5} + 2,2.10^{-5}.n^2 + 0,484.LOG(n)$$

ALn-1 consumo dos produtos da cana no ano anterior

(4) - Petróleo

$$PEn = PERn.PEn-1.EXP(Bn-1.An-1) \quad (18)$$

Onde:

PEn consumo de petróleo no ano Tn

$$PER_n = 1,0501 - 0,00256.n + 3,822.10^{-5}.n^2 - 1,7701.10^{-7}.n^3$$

PE_{n-1} consumo de petróleo no ano anterior

(5) - Gás Natural

$$GN_n = GNR_n.GN_{n-1}.EXP(Bn-1.An-1) \quad (19)$$

Onde:

GN_n previsão de consumo de gás natural

$$GNR_n = 0.209.LOG(n) - 8,93.10^{-6}.n^2 + 5.51/n + 154,79.n^{-4,5}$$

GN_{n-1} previsão de consumo de gás natural obtida no ano anterior

(6) - Carvão Mineral

$$CM_n = CMR_n.CM_{n-1}.EXP(Bn-1.An-1) \quad (20)$$

Onde:

CM_n previsão de consumo de carvão mineral

$$CMR_n = 0,996006 + 2,42132.10^{-5}.n$$

CM_{n-1} previsão de consumo de carvão mineral no ano anterior

(7) - Combustíveis Fósseis

$$EE_n = EER_n.EE_{n-1}.EXP(Bn-1.An-1) \quad (21)$$

Onde:

EE previsão de consumo dos combustíveis fósseis

$$UER_n = 0,9677 + 0,00322.n - 6,705.10^{-5}.n^2 + 3,921.10^{-7}.n^3$$

EE_{n-1} previsão de consumo dos combustíveis fósseis no ano anterior

(8) - Outras fontes de Energia

$$OUn = OURn.OUn-1.EXP(Bn-1.An-1) \quad (17)$$

Onde:

OUn consumo das outras fontes de energia

$$OURn = 0,1649.LOG(n) + 2,6378.I^{-0,5} + 18,5912.n^{-2,5}$$

OUn-1 consumo das outras fontes no ano anterior

9.3 - PRODUTO INTERNO BRUTO

O Produto Nacional Bruto, PNB, é uma medida da produção total de bens e serviços finais de uma nação a preço de mercado. Aceita-se também defini-lo como sendo a medida da renda e da atividade econômica da nação. Ele possui uma taxa, em geral levemente superior à taxa de crescimento de consumo de energia. Pode-se atribuir esta diferença ao contínuo progresso tecnológico no melhoramento das eficiências de conversão de energia e também a produtividade humana. A relação entre o produto Gn no ano tn e no ano tn-1, Gn-1 pode ser expressa pela seguinte expressão exponencial, [11] :

$$Gn = Gn-1.Exp[LOG(2).(Dtn).(Wn). \\ (1/(Oen.Ven) + 1/(Oqn.Vqn) + 1/(Ogn.Vgn))] \quad (22)$$

onde Ogo é a componente inicial do tempo para dobrar o crescimento do PIB devido às melhorias tecnológicas. É relacionado aos tempos para dobrar a população, demanda de

energia e produto bruto.

A expressão para Ogn também obtida por meio dos dados históricos disponíveis, e ajustada ao algoritmo nos forneceu a seguinte expressão :

$$Ogn = 37,14 - 0,861.n + 0,0227.n^2 - 0,000532.n^3 + 5,0408.10^{-6}.n^4 \quad (23)$$

A figura 12 apresenta o comportamento de Ogn, dada acima, onde vemos que há um decréscimo com um posterior período de crescimento contínuo.

Isto porque o Brasil é um país em desenvolvimento, onde as necessidades básicas da população ainda não foram atendidas. A porção crescente da curva se verifica num estágio posterior, com uma elevação do padrão de vida e uma tendência a estabilização do crescimento populacional.

Um produto bruto maior pode promover pesquisas e atividades de desenvolvimento, favorecendo portanto, o seu contínuo crescimento. Desta forma, o modificador do tempo para dobrar o produto bruto, Vg, pode ser expresso da seguinte maneira:

$$Vgn = 1/(Grqn)^u \quad (24)$$

Onde o expoente u é também assumido como sendo muito pequeno ($u < 0,1$).

Para o Brasil: Ano de 1950.

- Produto Nacional bruto inicial $\rightarrow G_0 = 65$ bilhões de dólares.

- Tempo para dobrar o crescimento da renda per capita

Ogo = 37 anos

Para o Mundo: Ano de 1950.

- Produto Bruto inicial \rightarrow $G_{wo} = 2,12$ trilhões de dólares.
- Tempo para dobrar o crescimento da renda per capita mundial = 42 anos

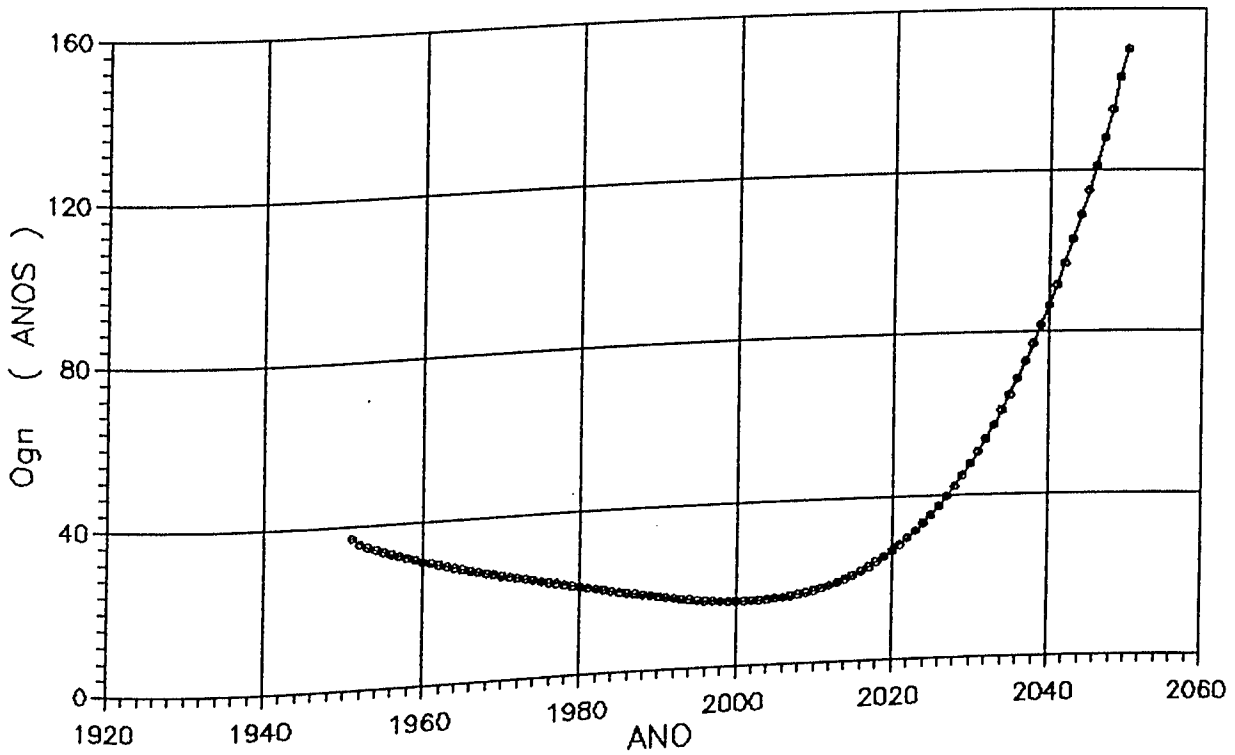


Fig. 12 - Ogn (Tempo de Dobramento do PIB Brasileiro)

9.5 - POLUIÇÃO

Atualmente a poluição do ar é causada principalmente pelo uso de combustíveis fósseis. Conforme Veziroglu e Basar [80], a equação relacionando a poluição ao consumo de combustível fóssil, pode ser escrita como abaixo:

$$P_n = U * (F_{dn}) \quad (25)$$

onde P_n é a quantidade de poluição no n-ésimo ano. U é a poluição por unidade de energia fóssil consumida.

Os valores de U são:

$$U = 19,0 \text{ Kg/GJ}$$

9.6 - QUALIDADE DE VIDA

A qualidade de vida se eleva com o aumento da produção bruta e das reservas energéticas. Todavia, ela decresce com o aumento da população e dos níveis de poluição. Usando-se estes fatores na forma adimensional, o indicador de qualidade de vida, L_{rn} , pode ser expresso por :

$$L_{rn} = G_{rn} \cdot R_{rn} / Q_{rn} \cdot P_{rn} \quad (26)$$

onde $G_{rn} = (G_n / G_0)$ é o produto bruto normalizado em relação ao seu valor inicial e $R_{rn} = (R_n / R_0)$ é a reserva de combustível fóssil em relação ao seu valor inicial.

Um algoritmo, codificado em linguagem Fortran, foi

implementado para o cálculo dos diversos parâmetros usados no modelo. O computador IBM 3090 da Universidade Federal de Uberlândia, foi usado para este fim. Usando os dados iniciais apresentados na tabela 31 e 32, calculou-se os parâmetros de energia, população e PIB para o Brasil e buscou-se correlacionar esses parâmetros com os dados históricos brasileiros. Assim podemos prever o comportamento do sistema energético nacional nos anos vindouros.

TABELA 31
DADOS INICIAIS PARA O BRASIL [3],[59]

<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>VALOR</u>	<u>UNIDADE</u>
População	51.9 E+6	habitantes
Demanda de energia (Eo)	1.54 E+9	GJ
Produto Nacional bruto (Go)	65.0 E+9	US\$
Produção de energia fóssil (Fpo)	0.26 E+9	GJ
Reservas de combustível fóssil (Ro)	5.50 E+10	GJ
Produção de Poluição (po)	0.73 E+9	Kg
Tempo para dobrar a população (Oqo)	25	anos
Tempo para dobrar o crescimento do consumo de energia (Oet)	39	anos
Tempo para dobrar o produto nacional bruto per capta	37	anos

TABELA 32

DADOS INICIAIS PARA MUNDO [13]

<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>VALOR</u>	<u>UNIDADE</u>
População (Qo)	2.49 E+9	habitantes
Demanda de energia (Eo)	0 73.9 E+9	GJ
Produto Nacional bruto (Go)	3.1 E+12	US\$
Produção de energia fóssil (Fpo)	24.6 E+9	GJ
Reservas de combustível fóssil (Ro)	4.31 E+12	GJ
Produção de poluição (Po)	0.53 E+12	KG
Tempo para dobrar a população (Oqw)	25	anos
Tempo para dobrar o crescimento do consumo de energia (Oewt)	39	anos
Tempo para dobrar o produto nacional bruto per capita	40	anos
Preço do combustível fóssil (Cfo)	8.0	\$/WJ
Preço da energia composta (Cco)	8.34	\$/GJ

10 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

A figura 13 mostra a evolução da população brasileira enquanto que a figura 14 nos mostra o comportamento das taxas de crescimento populacional. A partir das figuras verificamos que desde a década de '60 houve um declínio acentuado nas taxas de aumento demográfico provocado sobretudo pela urbanização crescente da população e por um controle rígido de natalidade.

Mesmo assim, a população brasileira tem crescido, passando a 167 milhões de habitantes no ano 2.000 e 218 milhões em 2.025, valores bem modestos comparados com os dados do IBGE que prevê uma população de 246 milhões para 2.025. Notamos também que a população brasileira passa a crescer bem menos a partir de 2.020 com taxas inferiores a 1,0% e com tendência estabilização a partir de 2.050, isto é, com taxas de crescimento próximas a 0% (zero).

As previsões catastróficas de Malthus, no século XIX, não se configuram para o Brasil, pelo menos no futuro, isto em virtude da estabilização da população e sendo o país provedor de muitos recursos naturais. Naturalmente a população passará a usufruir desses recursos com a crescente industrialização e melhoria de vida, como veremos adiante.

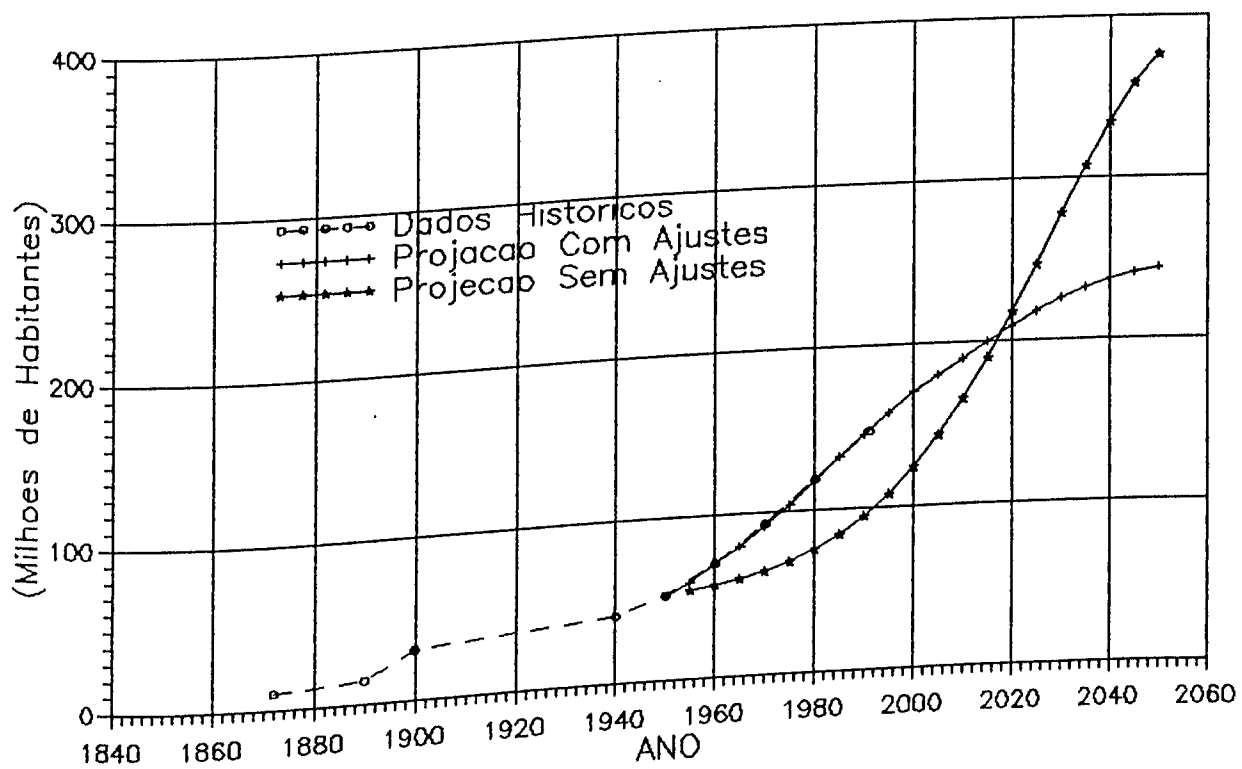


Fig. 13 -- Projeco'es da Populacao Brasileira

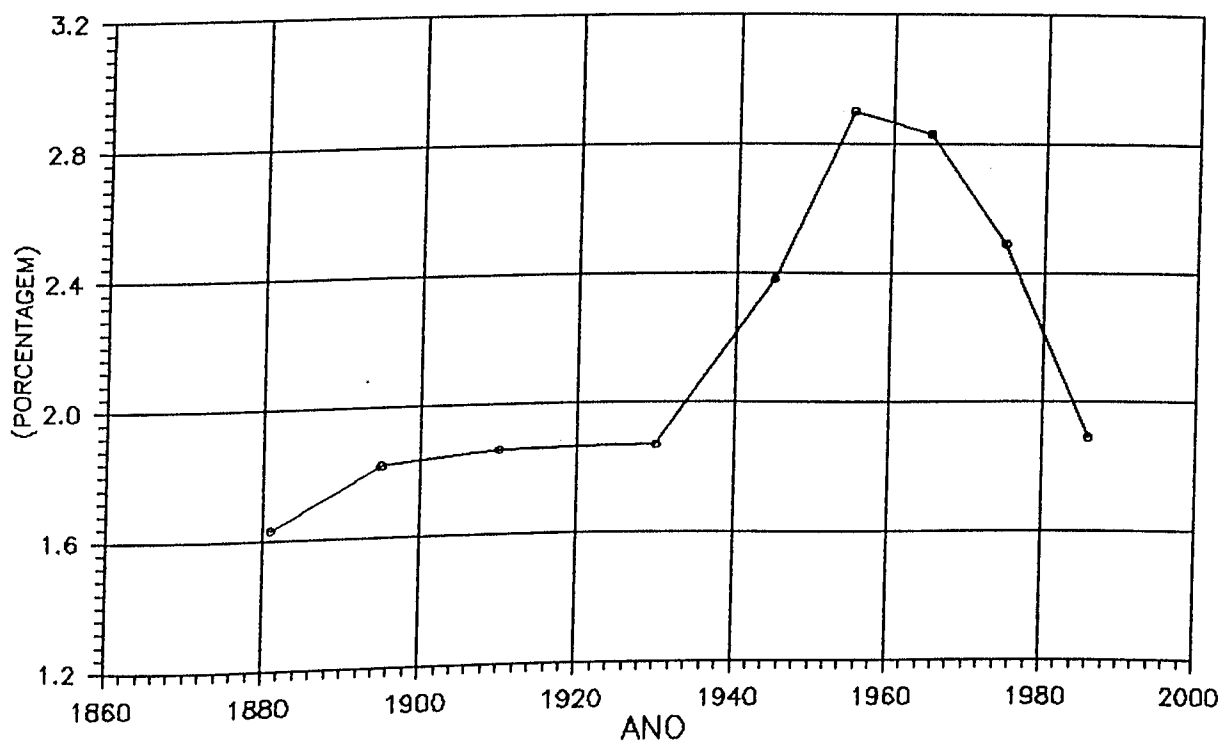


Fig. 14 - Taxas de Crescimento da Populacao Brasileira (Valores Historicos) 54

Com relação ao PIB (Produto Interno Bruto), devemos considerar que o critério de medição do PIB para o Brasil deverá mudar, devido as conversões da moeda nacional para o dólar. A tendência é que os valores do PIB reflitam o poder de compra no país de referência e não na conversão de moeda. Por esta metodologia o PIB brasileiro passaria de US\$ 447 bilhões, em 1992, para US\$ 750 bilhões aproximadamente. Assim salientamos que nossas previsões se baseiam nos critérios até então em curso na medição do PIB, uma vez que o país ainda não possui esses valores atualizados.

A figura 15 apresenta a evolução do PIB brasileiro passando a US\$ 1240 bilhões em 2.010 e US\$ 2230 bilhões em 2.020, com taxas de expansão da ordem de 4% na década de '90 e 6,5% a partir do terceiro milênio. Acompanhando o PIB, a renda per capita cresce também alcançando a dos países do Mediterrâneo como a Espanha, a Grécia e Portugal.

O crescimento da renda per capita difere do aumento do PIB, visto ser aquela, o resultado do quociente entre o PIB e a população em cada ano. Assim a renda per capita crescerá a taxas de 2,3% até o ano 2.000 e de 4,5% nos anos seguintes. A taxa de 2,3% na atual década reflete sobretudo a estagnação na economia nos anos de 91 e 92 onde tivemos crescimento negativo para o PIB comparado como ano de 1.990. A figura 16 evidencia este comportamento.

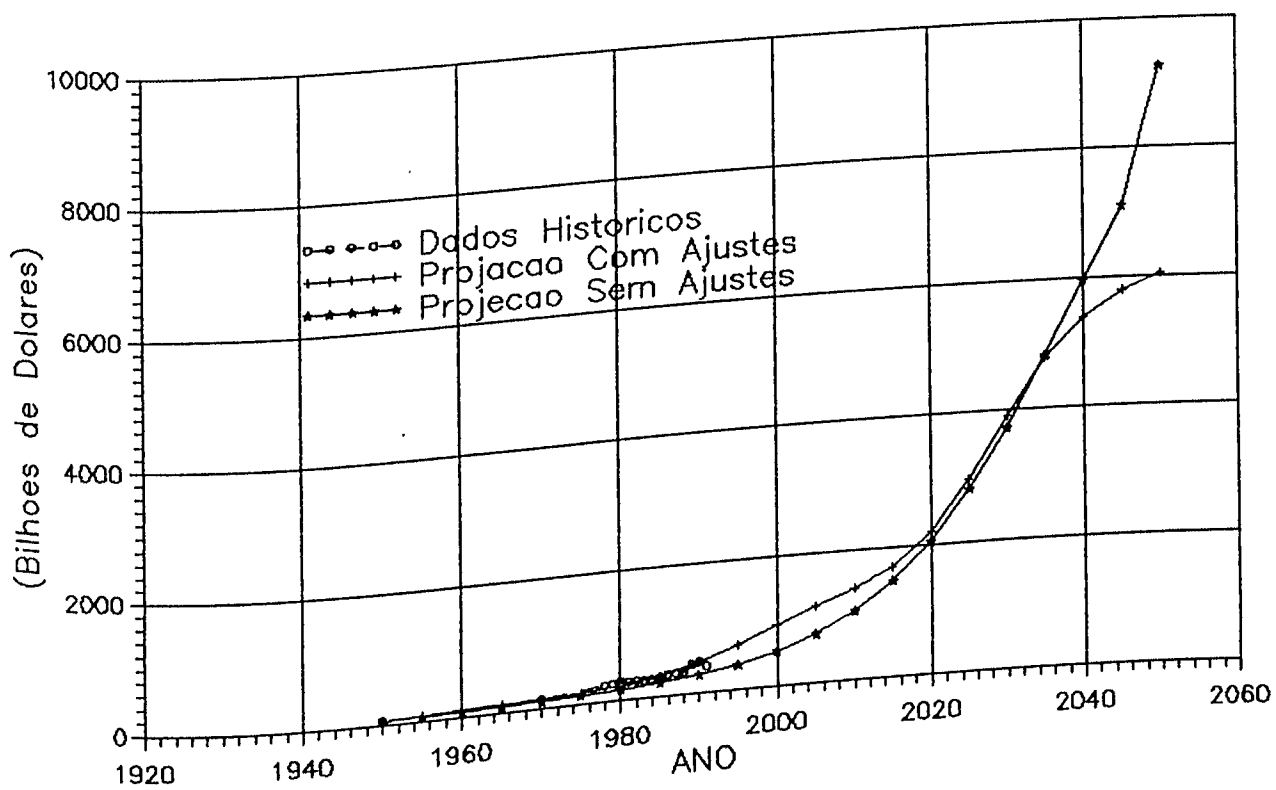


Fig. 15 - Projeco'es do PIB Brasileiro

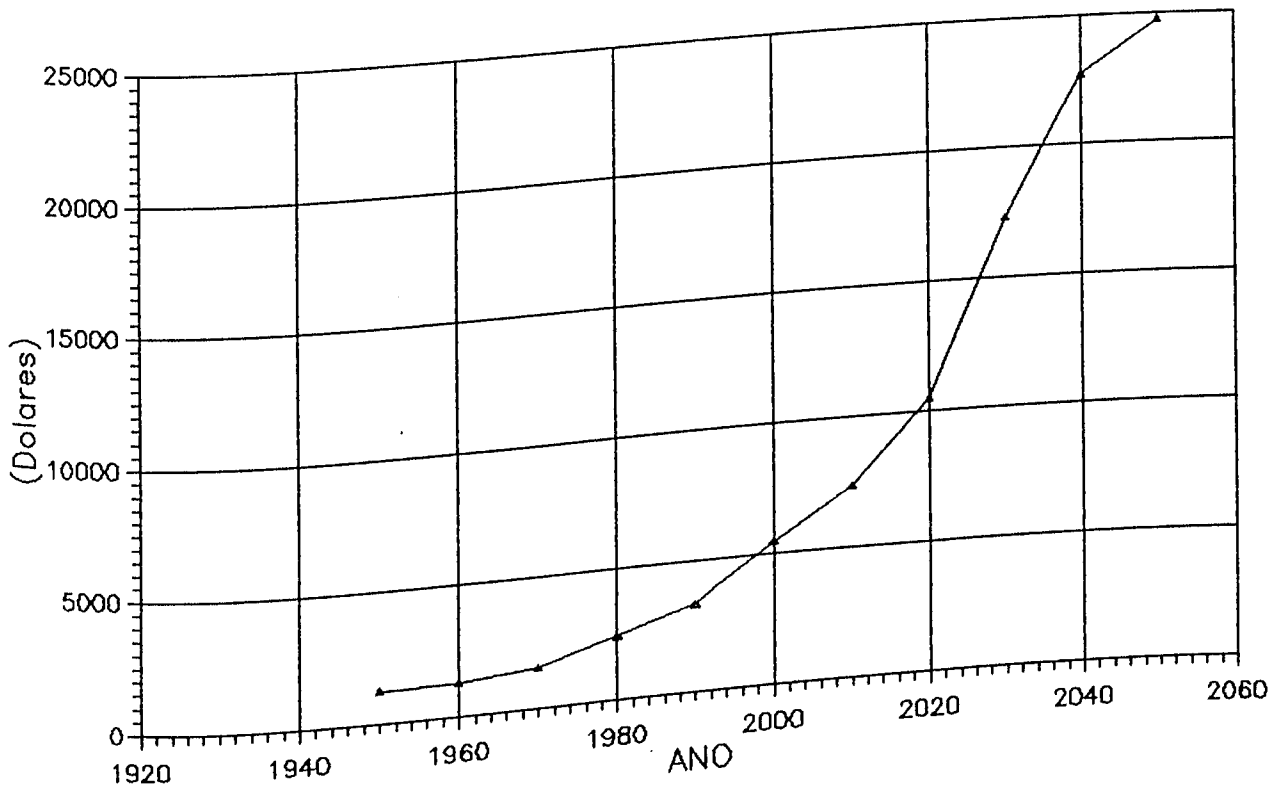


Fig. 16 – Projecao da Renda Per Capta Brasileira

No tocante as projeções do consumo de energia, que foi o item de maior relevância no contexto deste trabalho, podemos tirar as seguintes considerações :

- Como o nosso objetivo era validar um modelo de utilização de energia, procuramos primeiramente colher os dados sem nenhum ajuste. As figuras 17 e 18 apresenta o resultado desta coleta de valores, onde verificamos que o programa não atende aos nossos dados históricos. Na figura 17 apresentamos a projeção de consumo de energia de cada fonte, enquanto a figura 18 apresenta a comparação dos dados históricos com os valores obtidos sem a ajustagem do programa e também com os valores obtidos com os devidos valores ajustados.

O crescimento do consumo de energia deverá ser de 4% na atual década e de 3,5% nos anos seguintes, enquanto que o consumo de energia per capita que é de 1,3 TEP/hab. passaria a 1,64 no ano 2.000 e de 2,58 no ano 2.020, perfazendo uma taxa de crescimento de 2,5% ao ano.

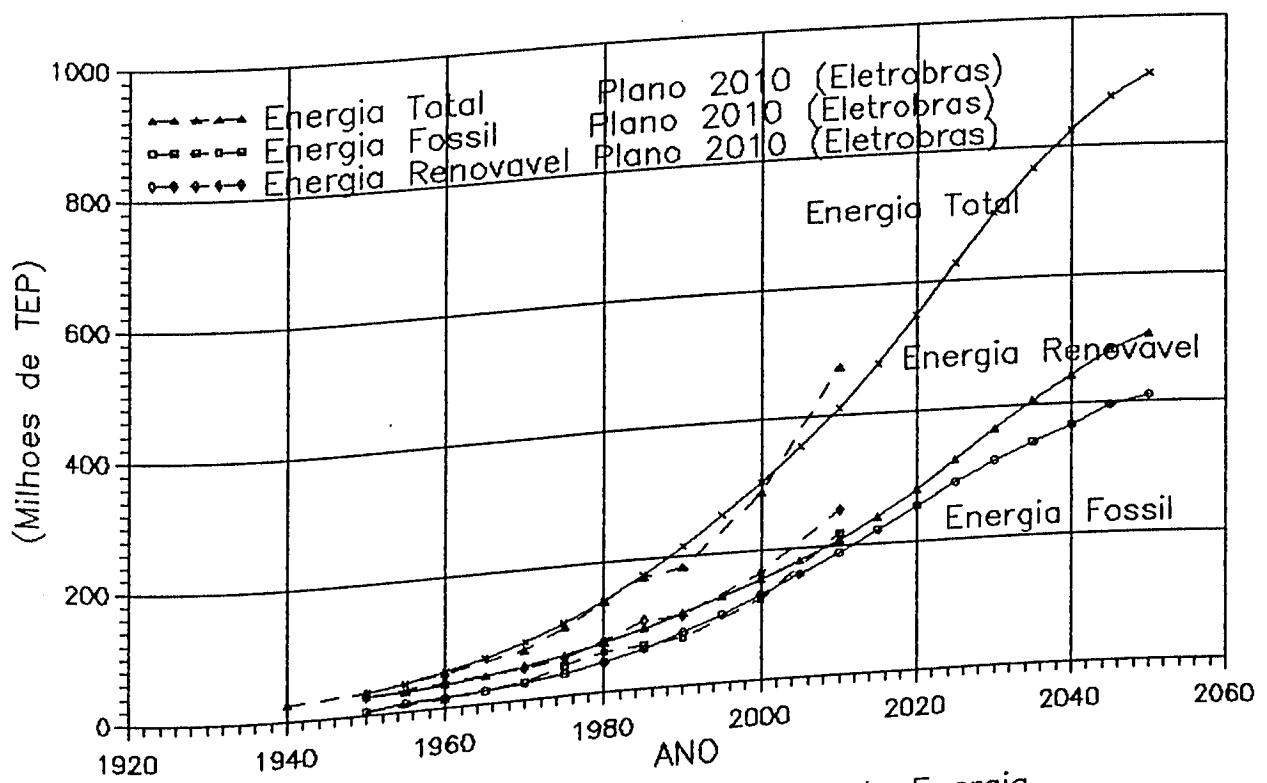


Fig. 17 — Projecoes do Consumo de Energia

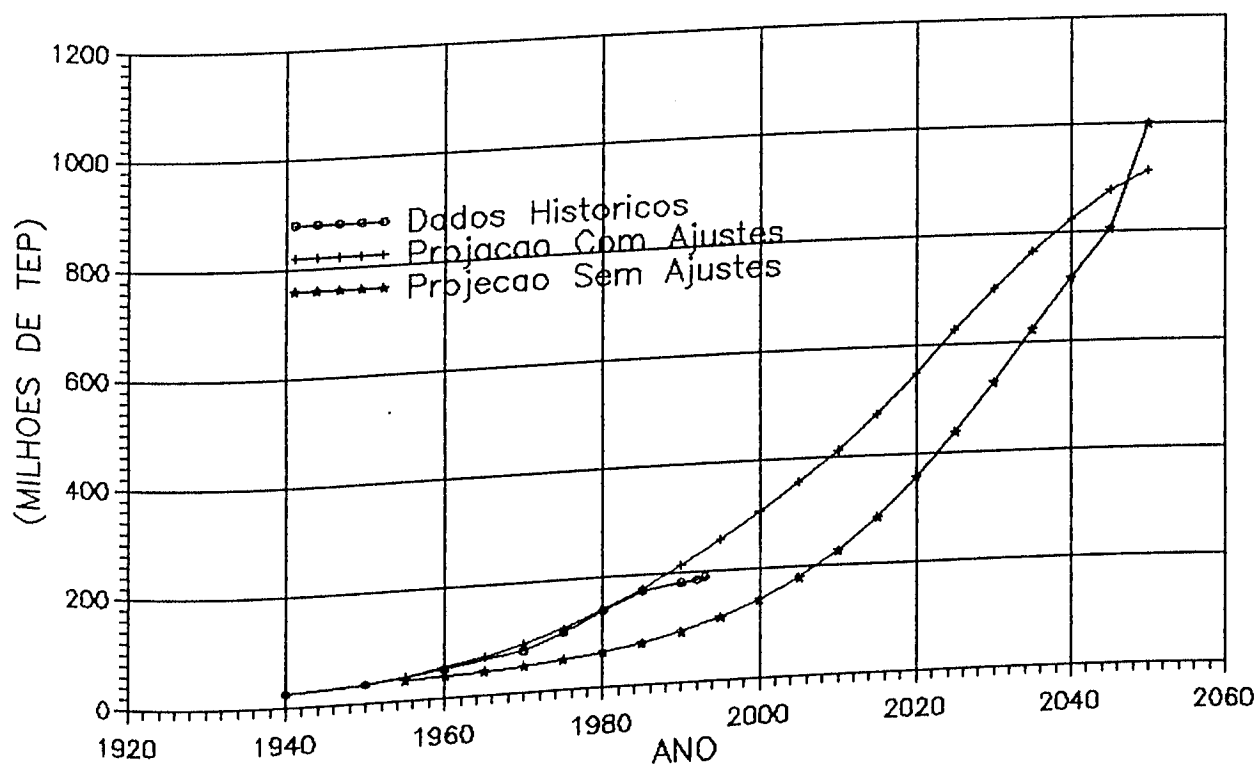


Fig. 18 - Projecoes do Consumo Total de Energia

A diferença nas taxas de crescimento da demanda de energia com as do PIB refletem o avanço tecnológico e principalmente uma maior economia da energia provocada pelo crescente aumento nos preços e uma pressão cada vez maior por parte dos ambientalistas quando da construção de novas plantas para fins energéticos.

Na tabela 33, podemos comparar a evolução do consumo de energia no Brasil com outros países. O consumo per capita previsto para o ano 2.020 equivale ao consumo per capita da maioria dos países da Europa como França com 2,7 TEP/hab. e Grã Bretanha com 2,6 TEP/hab.

TABELA 33 [74]
POLULÇÃO ENERGIA E PIB EM VÁRIOS PAÍSES

PAÍS	POPULAÇÃO 10E6 HAB	PIB 10E9 US\$	CONSUMO M KWh	RENDA P CAPTA	C.ENERG. TEP/HAB	C.TOTAL M TEP
USA	253	5880	2980	22204	5.4	1365
EX-URSS	280	2450	1722			
JAPÃO	124	3698	799	19107	2.46	305
CHINA	1150	445	582	386		
ALEMANHA	80	1762	555	19500	3.1	248
CANADÁ	27	562	499	19178	5.8	157
FRANÇA	57	1335	406	18227	2.7	152
GRÃ BRET.	58	1039	312	15720	2.6	152
ÍNDIA	844	290	260	350		
BRASIL	146	445	229	2970	1.27	185
ITÁLIA	57	1225	121	16896	2.12	121
ESPAÑA	39 0	579	63	12719	1.61	63

Quaanto ao comportamento concernente a demanda de cada fonte de energia, fazemos as seguintes considerações:

1 - O consumo de eletricidade deverá passar de 60 MTEP em 1.990 para 103 MTEP em 2.000, 164 em 2.010 e 186 em 2.020, mantendo a participação percentual em torno de 33%. Estes números refletem a necessidade de termos que triplicar a nossa potência instalada até 2.020. Essa tendência pode ser verificada na figura 19, onde apresentamos a projeção do consumo total de eletricidade.

Atualmente os projetos em construção perfazem um total de 12012 MW e os projetos de motorização/ampliação somam mais 1648 MW, num total de 13660 MW a serem implantados até o ano 2002, [30].

Há ainda os empreendimentos onde há viabilidade técnica e já possuem projeto básico, estes somam um total de 13.072 MW, enquanto que as plantas apenas inventariadas somam 14.292 MW, incluindo neste grupo as plantas de Belo Monte e Cachoeira Porteira no Pará e de Ji-Paraná em Rondônia, sendo os primeiros grandes projetos para fins energéticos em plena selva amazônica.

A soma dos projetos acima citados de natureza hídrica é de 41734 MW, mais 170 projetos de usinas térmicas incluindo Angra II e III num total de 5993 MW, perfazem 47.727 MW. A data de entrada desses projetos em funcionamento é até o ano 2.005, [30]. Assim sendo teriam uma capacidade instalada em 2005 de 104.953, que é um valor ainda inferior ao previsto para esse ano, em torno de 120.000 MW.

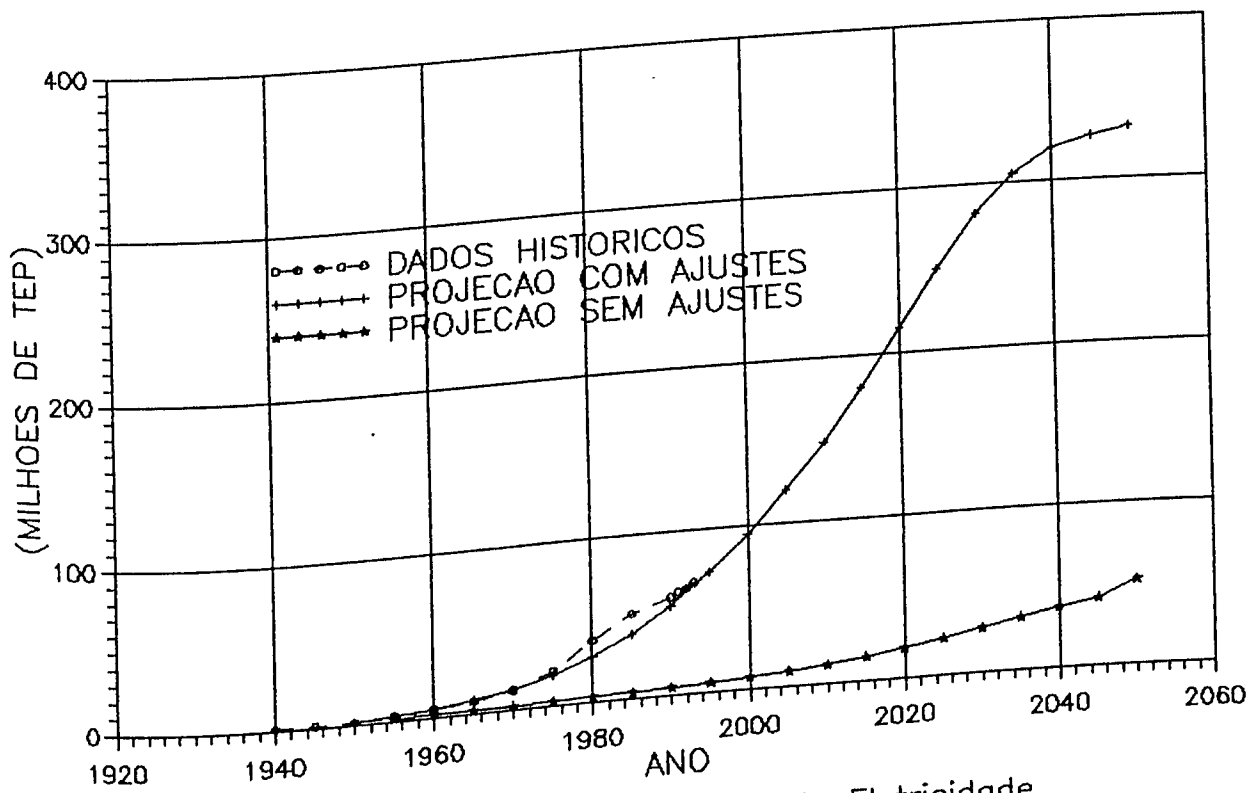


Fig. 19 - Projecoes do Consumo de Eletricidade

Analisando os dados acima vemos que o Brasil terá de assumir desde já a construção de usinas na Amazônia, pois somente Belo Monte representa 11.000 MW, quase um quinto do total necessário. Há que buscar também outras alternativas à hidrelétrica, seja nuclear, térmicas a carvão, a madeira, a resíduos de asfalto, etc. para compor o quadro.

2 - A participação do petróleo e derivados no conjunto dos energéticos tem sido ligeiramente decrescente em termos percentuais, passando de 40% em 1.980 para 33% em 1.990 e deverá ser de 28% em 2.020. Entretanto, o consumo total aumenta significativamente passando de 54,3 MTEP em '80, a 59,9 em '90 e deverá ser de 150 MTEP em 2.020 ou 2.900.000 barris de petróleo por dia, como veremos na figura 20.

Assim sendo, teremos que importar o equivalente a mais de 2 milhões de barris de petróleo por dia, mantendo a atual produção nacional. Esse volume de petróleo representará um dispêndio significativo no balanço de pagamentos. Em face disso devemos começar desde já a mudar muitos de nossos hábitos no sentido de economizar energia, sem falar nos preços de petróleo que tudo nos leva a crer, terá altas gradativas nos próximos anos.

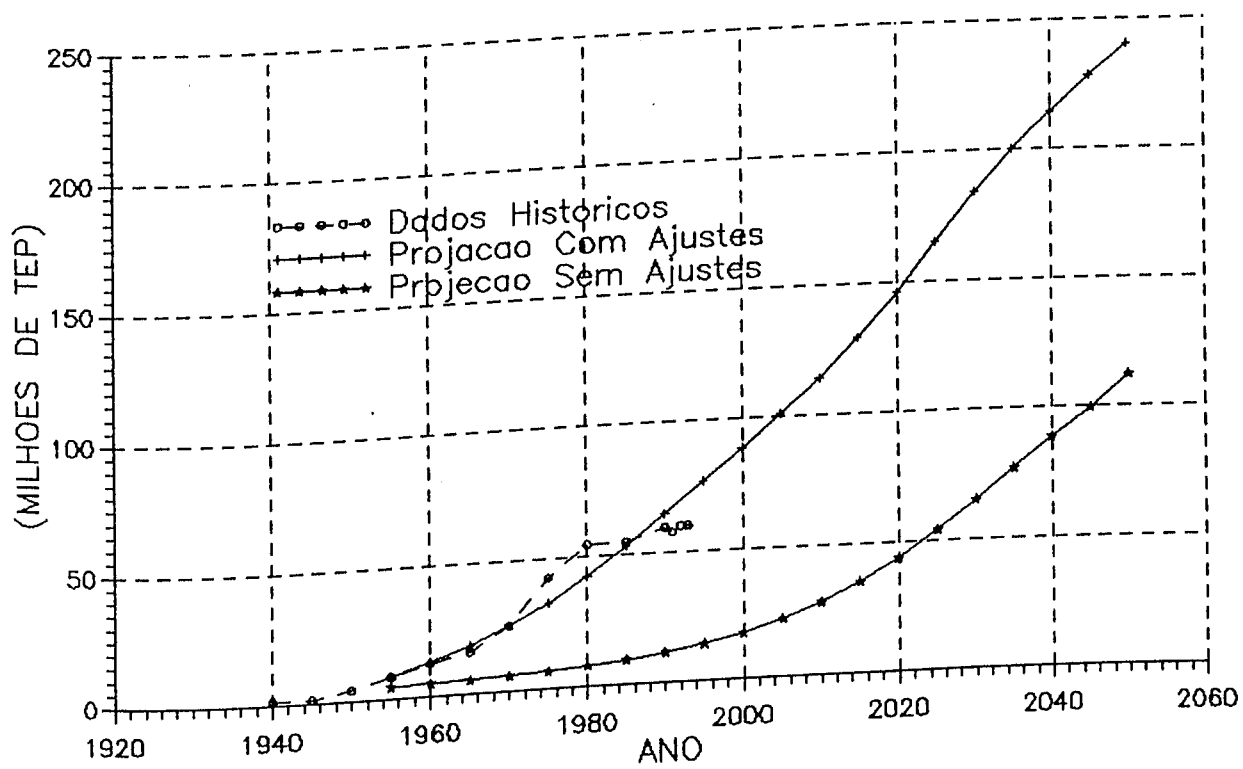


Fig. 20 — Projecoes do Consumo de Petroleo

3 - O gás natural deverá ter uma participação crescente dentre os energéticos em termos percentuais passando dos atuais 2,5% para 4% em 2.000 e 15% em 2.020. Essa demanda seria atendida principalmente através da importação do gás natural boliviano e do argentina, além da priorização, em âmbito nacional, na produção de gás natural em alguns poços.

O aumento da demanda de gás natural se deve ao fato de ser um combustível limpo e não poluente. Outro fator que puxa essa demanda é também a sua utilização no meio automotivo.

Outro setor que deverá utilizar o GN como combustível deverá ser para produção de eletricidade, através da instalação de Termoelétricas ao longo do gasoduto vindo da Bolívia, principalmente no Mato Grosso do Sul. Fala-se muito também em sua utilização em plantas de co-geração, como em shoppings centers, bancos, grandes indústrias, etc. A figura 21 nos mostra as projeções de utilização do gás natural.

4 - A utilização da lenha para fins energéticos tem sido declinante nas últimas décadas em termos percentuais, embora o seu consumo tenha-se mantido no patamar de 30 MTEP desde a década de '60. Prevê-se a sua colaboração da ordem de 9% a partir de 2.000 e uma utilização crescente em termos absolutos, chegando a 39 MTEP em 2.020, como podemos observar na figura 22.

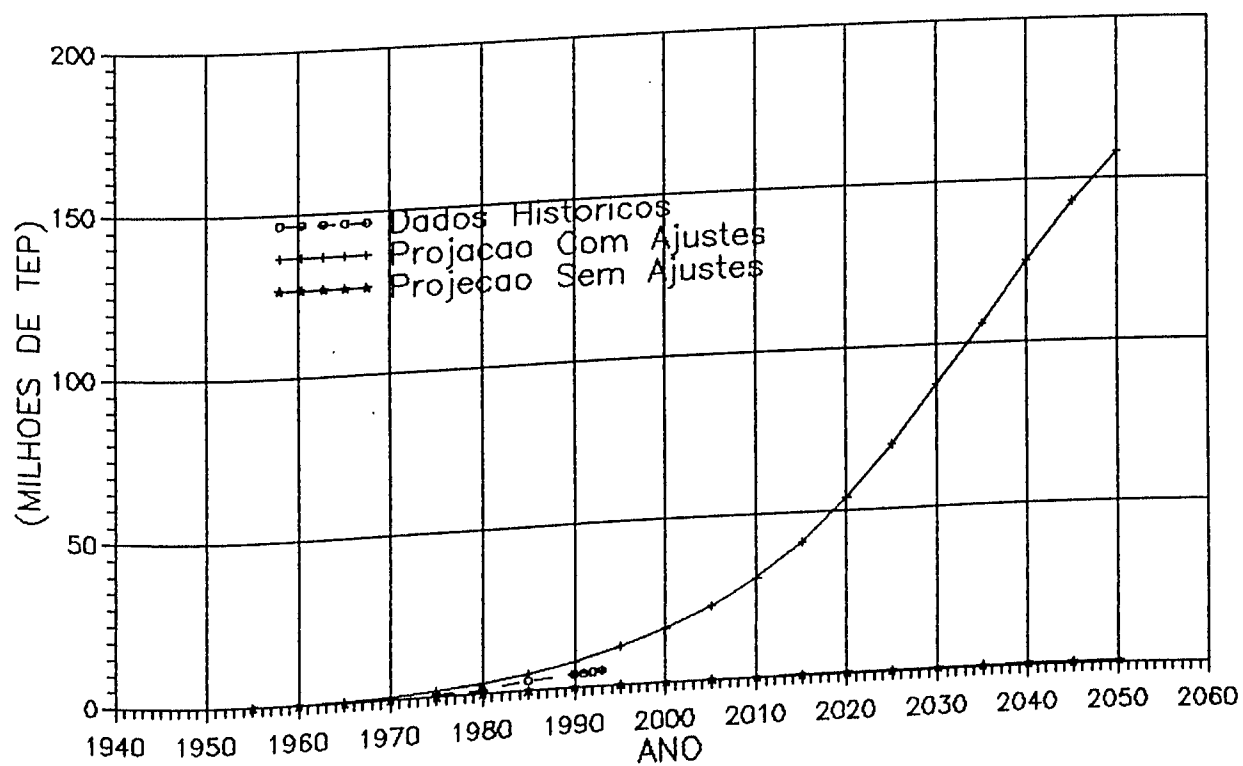


Fig. 21 - Projecoes do Consumo de Gas Natural

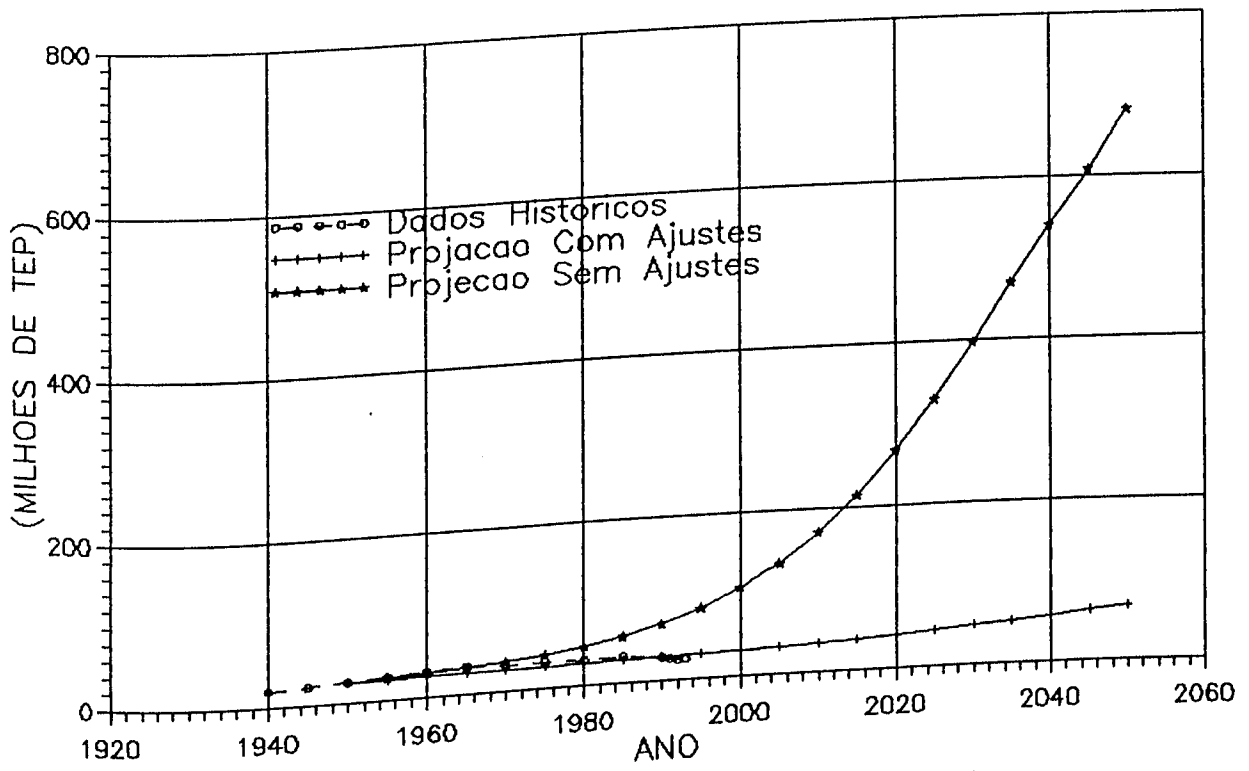


Fig. 22 — Projecoes do Consumo de Lenha e Carvao Vegetal

O uso do álcool teve um "boom" na década de '80 e essa participação deverá crescer nos próximos anos para 38 MTEP em 2.010 e 45 MTEP em 2.020. Em termos percentuais a sua contribuição se mantém no patamar de 9%. A figura 23 apresenta a tendência de utilização do álcool e do bagaço de cana como energéticos.

O carvão mineral dificilmente ampliará sua participação percentual dentre os energéticos devido ao seu alto custo social e pressões ambientalistas contra sua utilização. Dos atuais 5% essa participação deverá cair para 4% nos próximos anos, a não ser que uma nova tecnologia seja desenvolvida para dirimir estes custos ambientais, tornando-o uma opção competitiva. Outro inibidor da utilização do carvão, são os atuais preços do petróleo, que nunca estiveram tão baixos, mesmo antes do primeiro choque do petróleo em 1973.

Assim sendo, se os preços do petróleo vierem a subir, como é de se esperar, pode tornar viável uma maior utilização do carvão em processos até então dominados pelo petróleo. Pode viabilizar também o seu uso em processos mais limpos como gaseificação do carvão, leito fluidizado, etc. A performance do carvão para os anos futuros é mostrada na figura 24.

Sobre as outras fontes de energia, a sua utilização até então tem sido muito insuficiente e sua viabilidade depende dos preços de petróleo e dos demais energéticos. Mesmo assim o uso dessas fontes em larga escala vai mexer com o cotidiano das pessoas, principalmente com relação ao termo "conforto pessoal", como por exemplo, maior uso do transporte coletivo, carro a

bateria, aquecedor solar, etc. A figura 25 nos apresenta a previsão de desempenho das outras fontes de energia.

Portanto, devemos estar preparados para um uso racional da energia, para podermos constinuar usufruindo desse bem valioso, que nos foi concedido gratuitamente e para tê-lo sempre e só usá-lo da maneira mais eficiente e equilibrada.

A projeção da produção de poluição é mostrada na figura 26, onde percebe-se um aumento crescente em consequência do uso significativo dos combustíveis fósseis.

O índice de qualidade de vida é mostrado na figura 27 onde nota-se um decréscimo constante até a atual década, prevendo-se uma melhoria a partir de 2020, com a estabilização da população, diminuição dos índices de poluição e evolução da renda nacional.

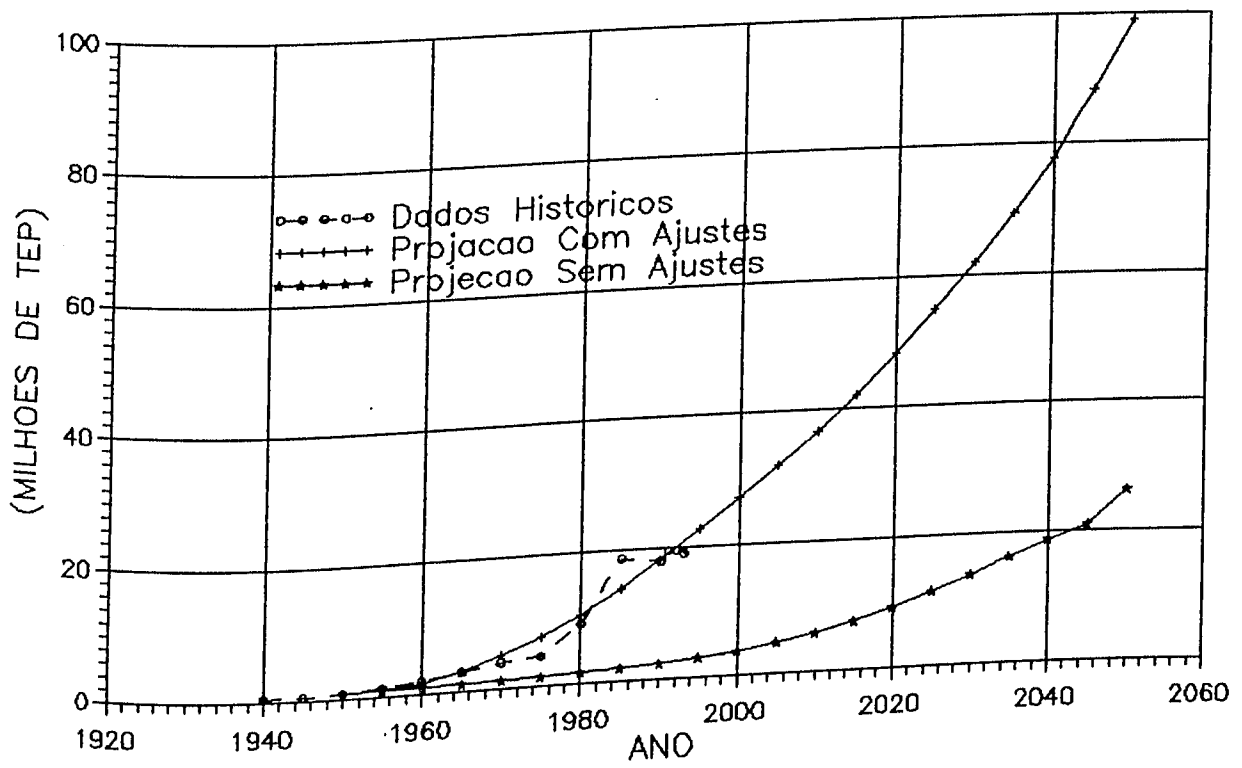


Fig. 23 – Projecoes do Consumo dos Produtos da Cana

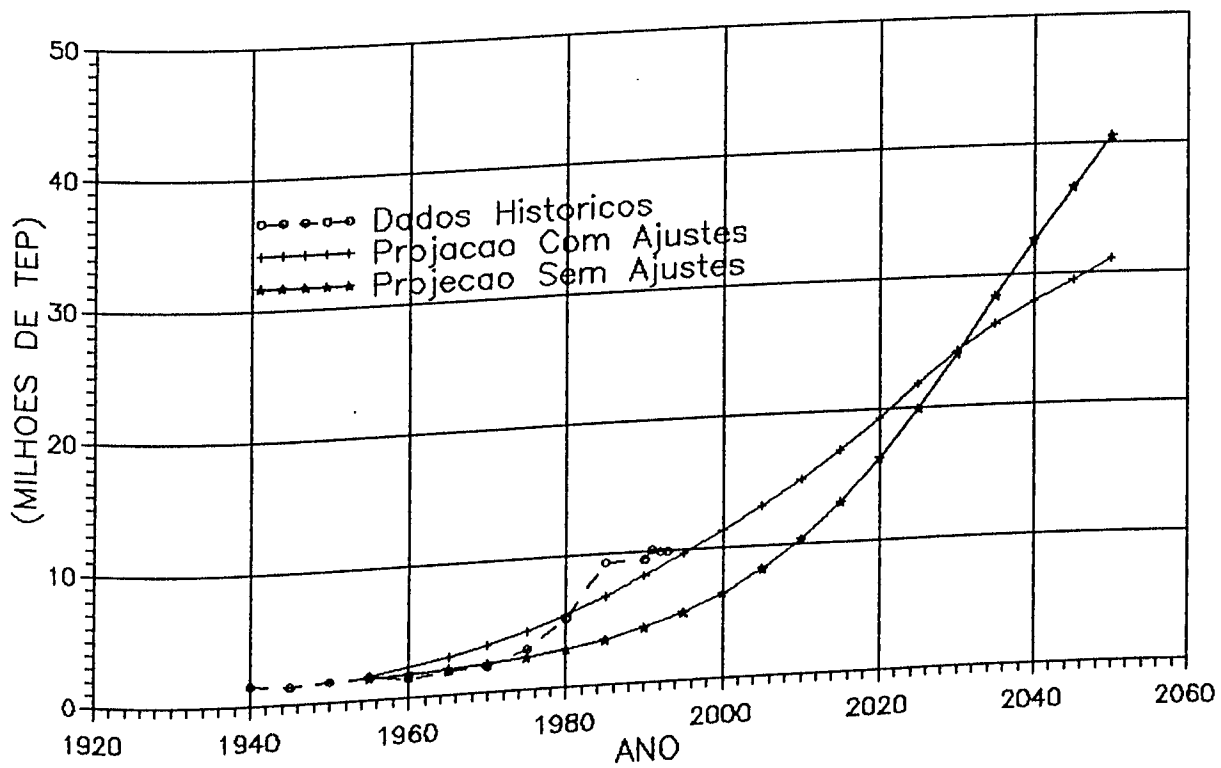


Fig. 24 - Projecoes do Consumo de Carvao Mineral

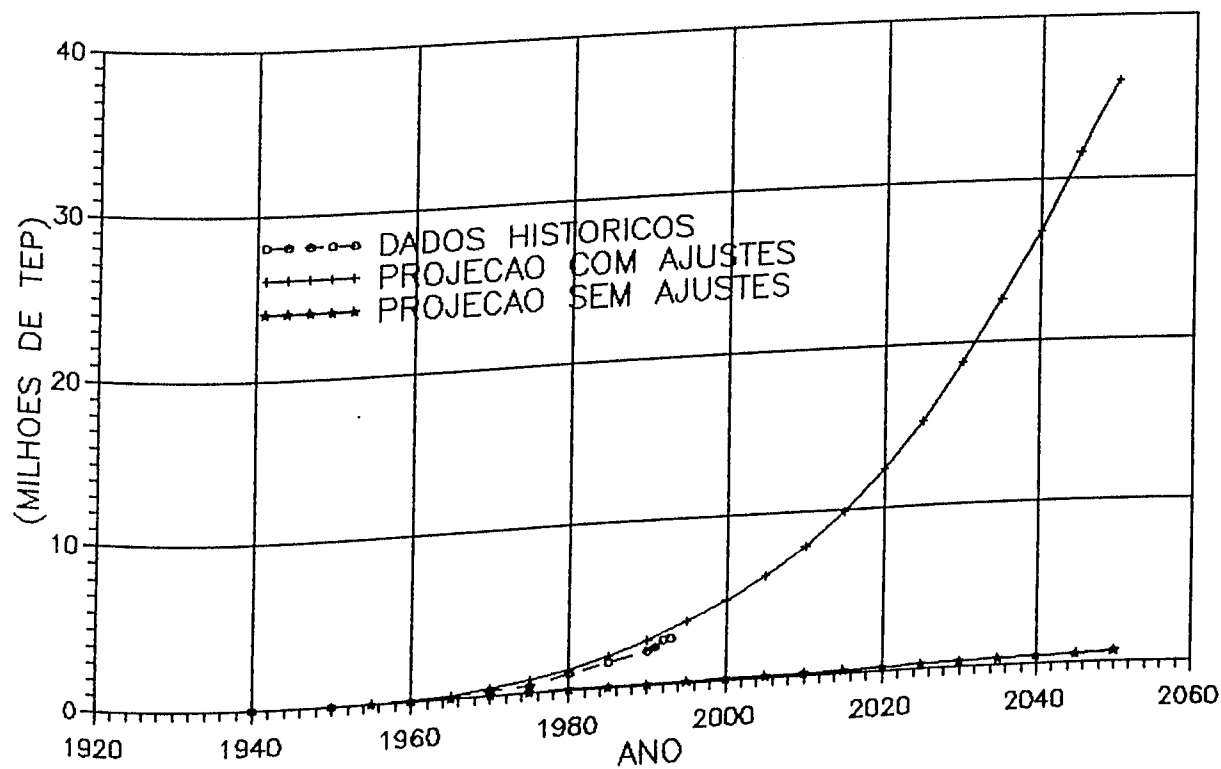


Fig. 25 - Projeções do Consumo das Outras Fontes

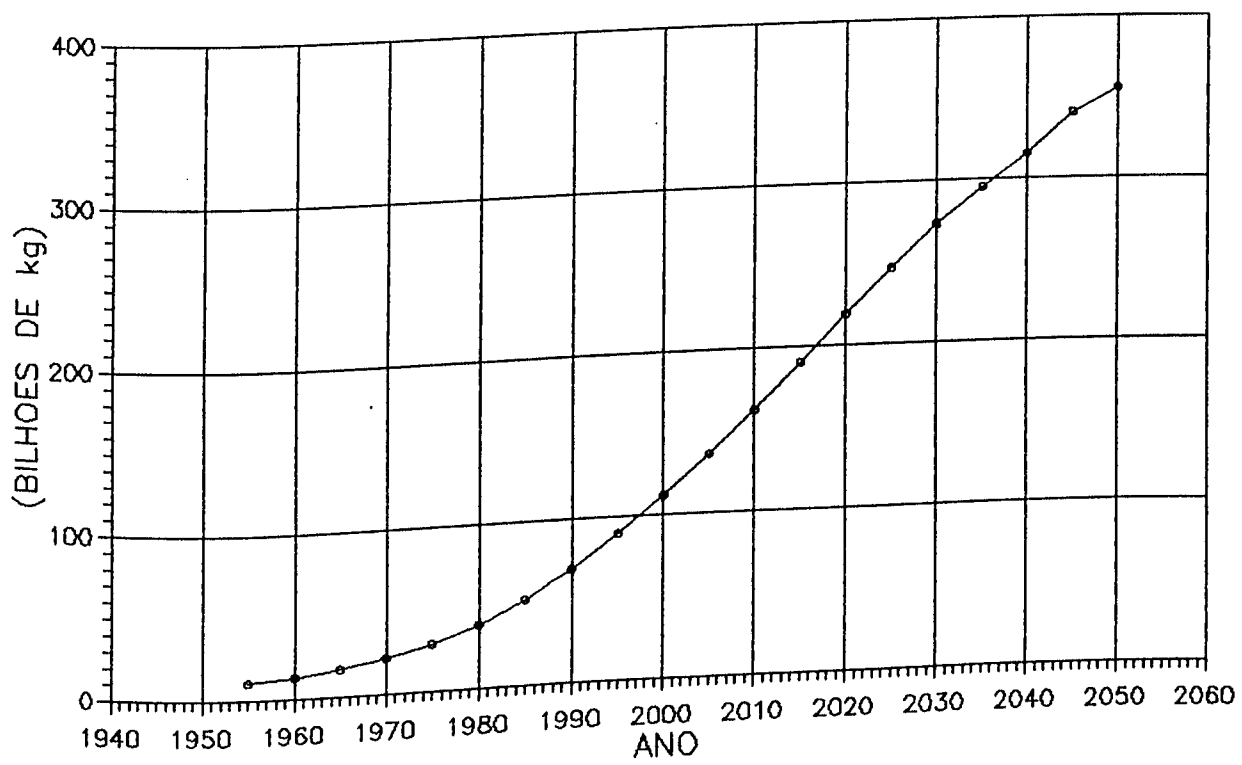


Fig. 26 - Projeções da Produção de Poluição

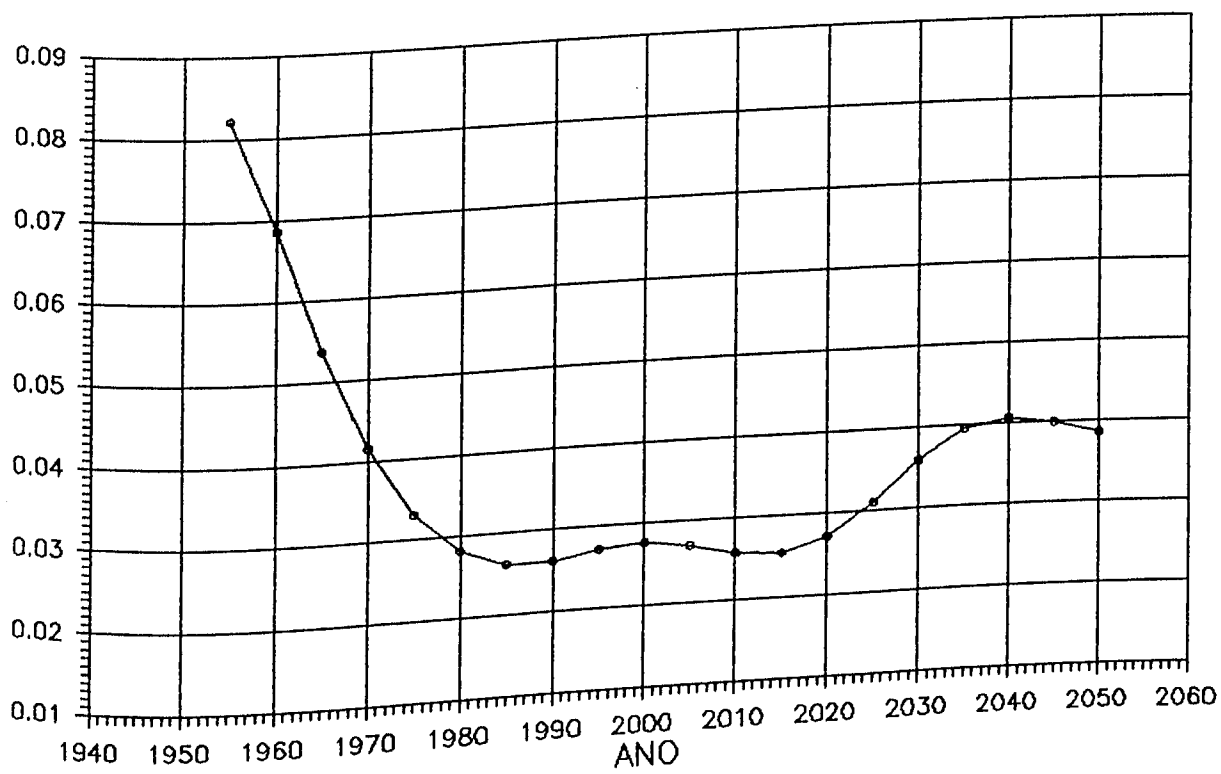


Fig. 27 — Projecoes do Índice de Qualidade de Vida

11.0 - CONCLUSÃO

O setor de energia elétrica não deverá apresentar problemas de estrangulamento no curto prazo, isso por haver várias obras em estágio final de acabamento. Entretanto, no médio e longo prazo esse problema poderá se agravar, em virtude de nenhuma grande obra ter sido iniciada e de não haver também programação para suprir grandes blocos de energia cuja demanda está sendo prevista em análise do presente estudo. Sobre esta questão, o governo federal precisa definir qual a política a ser adotada no campo da energia nuclear, usinas térmicas a carvão, gás natural e principalmente no campo da cogeração com os setores sucro-alcooleiro e metalúrgico.

O consumo de energia elétrica aumenta significativamente, passando de 1570 para 2980 KWh / habitante em 2020, equivalente ao da Espanha em 1993, consumo este ainda modesto, quando comparado ao dos países industrializados.

A partir de 1990, a metade dos novos acréscimos de energia elétrica nos E.U.A. foram provenientes de processos de cogeração, tendência esta que já se verifica no Brasil e que deverá aumentar a participação, propiciando também a entrada do setor privado no campo da geração de energia.

As perspectivas de intercâmbio energético do Brasil com os países vizinhos apresenta um quadro bastante promissor, tanto pela variedade dos recursos energéticos a serem intercambiados bem como pela quase totalidade de participação dos países da

região.

Ressalta-se entretanto, que essa negociação encontra-se em estado preliminar. As recentes constituições do Mercosul, Mercado Comum dos Países do Pacto Andino, bem como a reativação da OLADE (Organização Latino Americana de Energia), poderão contribuir substancialmente para a implementação desses intercâmbios, face aos compromissos assumidos pelos governos dos países participantes.

Dada a relação entre demanda de energia e crescimento do PIB, pode-se concluir que a perspectiva de um colapso energético será resultado do comportamento do PIB e da variável eficiência energética, que, nesse caso, representaria um novo patamar tecnológico ou a substituição na produção industrial por produtos não tão intensivos no consumo de energia.

O efeito substituição pode contribuir para a conservação de energia a partir do momento em que houver determinada regionalização na produção da energia, desde que não haja uma ruptura no sistema nacional, mas sim um ganho em economia de escala e aproveitamento de subprodutos da atividade econômica regional.

Sobre o petróleo, a dependência aumenta significativamente, se se mantiver os atuais níveis de produção. A Petrobrás parece apostar que os preços do petróleo vão se manter no patamar atual (US\$18,00 por barril) ainda por um certo tempo. Mesmo assim, não podemos descuidar pois a qualquer momento as regras do jogo podem mudar e haver problemas para adaptação à nova realidade.

Assim sendo urge a necessidade de promover a

racionalização do uso de combustíveis, no sentido da implantação de programas de melhoria da eficiência no uso desses energéticos e reduzir o crescimento de seu consumo.

Ainda no setor petrolífero, é preciso propor formas de atrair a iniciativa privada, a fim de que este seguimento torne mais transparente aos olhos dos consumidores.

A soma desses fatores deverá levar a um aumento da produção nacional de petróleo bruto, diminuindo assim, nossa vulnerabilidade frente às importações desse insumo.

O uso da biomassa, (madeira, carvão vegetal e produtos da cana), tem-se apresentado como uma boa alternativa para o Brasil, devido a nossa grande extensão territorial e abundâncias de terras cultiváveis. Apresenta o inconveniente do deslocamento de outras culturas, principalmente as culturas básicas como o arroz, feijão, milho, etc.

Uma oportunidade que se apresenta para o setor sucroalcooleiro é a venda de eletricidade excedente através da cogeração. As condições para esses empreendimentos estão associadas à necessidade de expansão da capacidade de geração de energia sem depender de investimento do Estado, bem como à necessidade de modernização e redução de custos por parte das indústrias canavieiras.

O fato do gás natural ter sua combustão praticamente limpa, projetam-no como alternativa de utilização em larga escala, principalmente nos grandes centros urbanos. Seu uso, entretanto, se prende a acordos com os países vizinhos já que o país é destituído de grandes reservas.

Quanto ao carvão mineral, vale lembrar que o Brasil possui grandes reservas e as utiliza muito pouco. Sua viabilidade depende de novos avanços tecnológicos, em virtude da poluição causada quando de sua queima direta.

O sucesso das outras fontes de energia fica na dependência, em grande parte das oscilações nos preços do petróleo bem como na sua otimização e viabilidade econômica.

O aproveitamento de outras fontes como a energia solar e a eólica, requerem localização específica, baixa densidade energética e irregularidade de fornecimento. Além disso, a disponibilidade de ventos e do sol não guarda nenhuma relação com o comportamento da demanda de eletricidade, o que implica na necessidade de sistemas de armazenamento de energia caso não haja geração alternativa nos períodos de calma e naqueles com pouca insolação.

Considera-se a situação nacional relativamente cômoda, pelo fato de termos bastante recursos naturais, ficando a cargo de nossos governantes orientar no sentido da escolha mais acertada para suprir a crescente demanda de energia.

As projeções futuras nem sempre se configuram mediante o modelo preditivo, entretanto a grande contribuição deste trabalho está em servir de base para um planejamento de longo prazo no sentido de antecipar situações indesejáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - CORTEZ, Luiz Augusto e Gregori, Álvaro Tucunduva. "Uma Discussão sobre o Balanço Energético como Ferramenta para um Planejamento Energético Nacional". ENCIT - 92 IV Encontro Nacional de Ciências Térmicas, pág. 463 a 466. 1992.
- [2] - PINTO, Fabiano Augusto Castro Nogueira. Déficit Energético "Revista Análise Econômica", nº 14, Novembro de 1990, pág. 69 a 95.
- [3] - BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético_Secretaria Nacional de Energia DNDE / SNE / MME , Brasília - D.F., 1993.
- [4] - NATIONAL ENERGY STRATEGY - Powerful Ideas for America - First Edition, 1991/1992, Office of Scientific Technical Information, New york.
- [5] - LOZARDO, Ernesto."É preciso dar Gás à Economia". Folha de São Paulo, 20 de maio de 1993, pág. 2.2
- [6] - REVISTA DO ÁLCOOL, novembro/dezembro de 1985, pág. 07.
- [7] - LEITE, Rogério César."O Proálcool Competitivo"., Folha de São Paulo, 14/02/1993, pág. 2.2

- [8] - FULKESSON, William ; JUDKIM, Roddie and SAUGHVI, Many K "Energy From Fossil Fuels"., REVISTA ENERGY FOR PLANET EARTH, 1991, pág. 86.
- [9] - REVISTA MUNDO ELÉTRICO. "Trinta Anos de Energia Elétrica no Brasil", nº 360, Outubro de 1989, pág. 08 a 77.
- [10] - "XISTO" - Projeto 04 - PLANO 2015 - Eletrobrás, Rio de Janeiro, Outubro de 1992, pág. 49 a 61.
- [11] - VEZIROGLU, T.N., BASAR, O.T., "Dynamics of a Universal Hydrogen Fuel System", Theme Conference Proceedings, Plenum Press, New York, 1975
- [12] - MENDES, N. Um modelo de energia hidrogênio-solar para o Brasil; projeções futuras, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 1993.
- [13] - SOUZA, S.N.M., Análise de um sistema a hidrogênio-solar para o Brasil: Aspectos técnicos, sociais e economicos, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 1994.
- [14] - Pearl, R., Studies in Human Biology. Baltimore: Williams & Wilkins, 1924.
- [15] - Fisher J.C., and Pry, R.H., A Simple Substitution of Technological Change, Technological Forecasting and Social Change 3 pag. 75-88, 1971.
- [16] - Mansfield, E., Technical change and the rate of imitation, Econometrica 29, 741-765, 1961.

- [17] - Bodger P.S. and Tay H.S., Logistic and Energy Substitution Models for Electricity Forecasting: A Comparison Using New Zealand Consumption Data, Technological Forecasting and Social Change 31,27-48, 1987.
- [18] - Meyer, P., Bi-Logistic Growth, Technological Forecasting and Social Change 47, 89-102, 1994.
- [19] - REVISTA MUNDO ELÉTRICO. "Características do Sistema de Transmissão Brasileiro", Outubro de 1990, pág. 94 a 98.
- [20] - REVISTA MUNDO ELÉTRICO. "Potência Instalada em Pequenas Centrais Hidrelétricas", Nº 335. 1987.
- [21] - PLANO 2000, Eletrobrás. 1992.
- [22] - REVISTA MUNDO ELÉTRICO. "O Setor Elétrico Luta contra o Déficit no Abastecimento", Novembro/1987 pág. 28 a 30.
- [23] - PLANO 2010, Eletrobrás. 1987.
- [24] - MOREIRA, José Roberto e POOLE, Alan Douglas. "Energia e Meio Ambiente", Secretaria de Ciência e Tecnologia. 1991.
- [25] - PLANO DECENAL DE EXPANSÃO 1993 - 2002., ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras. 1992.

- [26] - LEITE, Rogério César de Cerqueira. "O Bestialógico Energético Suplantado". Folha de São Paulo, 15/05/1993, pág. 2.2
- [27] - RODRIGUES, Adriano P. e VIANNA, Eduardo C. "Novos Rumos para o Setor Elétrico no Brasil". Revista Análise Econômica, nº 17, Maio de 1992, pág. 109 a 115.
- [28] - WALTER, Arnaldo César da Silva e BAJAY, Sérgio Valdir, "Perspectiva da Venda de Energia Elétrica Excedente Pelo Setor Sucro-Alcooleiro". Revista Brasileira de Energia, volume 02, nº 02, 1992, pág. 29 a 51.
- [29] - CORTEZ, Luiz Augusto Barbosa e DIAS, Fernando da Costa "Avaliação do Potencial de Cogeração nas Destilarias Anexas do Estado de São Paulo Fora do Complexo COPERSUCAR", ENCIT 92 - IV Encontro Nacional de Ciências Térmicas, ABCM, RJ., Dezembro de 1992, pág. 459 a 462.
- [30] - PLANO 2015, Eletrobrás. 1992
- [31] - ADJUS, A.D.; FILHO, E.H. Ellery ; CONTI, A.M. and MATTOS, M.C. "Electrical Energy Transmission from the Amazon Region: Hydrogen as a Promising Alternative in Brasil", Inst. J. Hydrogen Energy, Vol. 14, nº 08, pág. 515 a 523, 1989.
- [32] - BARBOSA, Jorge O., "Considerações Sobre Despacho de Usinas Reversíveis"., Revista Mundo Elétrico, Dezembro de 1980, pág. 58 a 60.

- [33] - CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais.
- [34] - LIMA, Gastão Luiz de Andrade, diretor do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE, REVISTA ABRAVA, Fevereiro de 1993, pág. 36 a 37.
- [35] - REVISTA CONJUNTURA ECONÔMICA, Fevereiro, 1993.
- [36] - REEXAME DA MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL - Ministério da Infra-Estrutura - Secretaria Nacional de Energia, 1991 .
- [37] - WORLD NUCLEAR INDUSTRY HANDBOOK, 1992.
- [38] - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Viena. 1990.
- [39] - LEITE, Luiz C.C., "Tarifas , Impostos e Sacrifícios" Folha de São Paulo, 02/08/1993, pág. 2.2
- [40] - FILHO, Azis. "Aos 40 Anos, PETROBRÁS Vive a pior crise de sua História"., Folha de São Paulo, 20/06/1993., pág. 01 a 12.
- [41] - "PETROBRÁS Fura Poço em Fazenda de Olacyr ", Folha de São Paulo, 10/07/1993, pág. 2 a 3.
- [42] - ANUÁRIO ESTATÍSTICO - DNC - Departamento Nacional de Combustíveis, Brasília-D.F. , 1989.
- [43] - "Crescem Reservas de Petróleo e Gás"., Folha de São Paulo, 06/07/1993, pág. 1.1

- [44] - CONFOR - Instrumentos de Medição Ltda., "Tecnologia para Controle da Combustão"., São Paulo- SP., 1992.
- [45] - VILARINHO, Sebastião Henrique. "Gás Natural Perspectivas de Desenvolvimento". Anais do Seminário INTRODUÇÃO DE TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS ALTERNATIVAS NO BRASIL ATÉ O ANO 2000, 1985, pág. 142. FINEP.
- [46] - REVISTA MUNDO ELÉTRICO. "O Potencial do Gás Natural Face a Energia Elétrica"., Março de 1988.
- [47] - "PROÁLCOOL - Fundamentos e Perspectivas". Cooperativa de Produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo Ltda, COPERSUCAR, 1989.
- [48] - OLIVEIRA, Adilson . "Reassing The Brazilian Alcohol Programme". Energy Policy, Jan./Fev.1991, pág. 46 a 55.
- [49] - CNE - Comissão Nacional de Energia -"Avaliação do Programa Nacional do Álcool", Brasília-D.F., 1987, pág. 97.
- [50] - BANCO MUNDIAL - "Economics Aspects of Alcohol Program". 1984.
- [51] - MARTINS, Júlio Maria." Brazil's Proalcohol Program : it's Development and Prospects". In Alcohol Week, The 1985 Washington Conference on Alcohol, São Paulo, 1985.

- [52] - Brasil, CENAL - Comissão Executiva Nacional do Álcool ,
Brasília, 1988, pág. 30.
- [53] - MELLO, Fernando Homem de e PELIN, Eli Roberto. "As
Soluções Energéticas e a Economia Brasileira".
São Paulo, HUCITEC, 1984, pág. 146.
- [54] - MOTTA, Ronaldo Serôa da. "Um Estudo de Custo Benefício
do Proálcool - Pesquisa e Planejamento
Econômico", Brasília, Abril de 1987.
- [55] - CORTEZ, Deraldo Martins. "Política Energética
Brasileira". Anais do IV Congresso Brasileiro de
Refrigeração e Ar Condicionado, setembro de 1993,
São Paulo - SP.
- [56] - WALTER, Arnaldo César da Silva. "COGERAÇÃO: Análise
de Tecnologias, Fatores Condicionantes e
Experiências Internacionais", Campinas - SP., Janeiro
de 1991.
- [57] - PENEDO, Waldir Resende. "Madeira e Carvão
Vegetal", Economia e Tecnologia da Energia. Ed.
Marco Zero, FINEP, 1985, pág. 274 a 301.
- [58] - BACHA, Carlos José Caetano. "A Situação Atual dos
Dados Sobre Reflorestamento no Brasil". REVISTA
ANÁLISE ECONÔMICA, nº 17, março de 1992, 0pág. 141 a
155.

- [59] - ESTATÍSTICAS HISTÓRICAS DO BRASIL, IBGE, 2ª edição, Rio de Janeiro, 1990.
- [60] - Seminário Sobre a Utilização da Biomassa Florestal para a Geração de Energia Elétrica Realizado na Eletrobrás em 29/08/1991.
- [61] - BIOMASSA FLORESTAL Sub-Projeto - Plano 2015, Eletrobrás, Rio de Janeiro, Outubro de 1992.
- [62] - LARSON, E.D. Svenningsson P. e Bjerle. "Análise de Pré - Viabilidade Econômica do Processo Outokumpu de Carbonização", CEMIG, Abril de 1990.
- [63] - "WOOD BIOMASS GASIFICATION / Gás Turbine Demonstration Project - Pre Investyment Study". BRASCEP Engenharia, Julho de 1991.
- [64] - GAY, Alzir Nunes. "Programa Nacional do Carvão." In Economia e Tecnologia da Energia, FINEP, Ed. Marco Zero, 1985.
- [65] - CAMPOS, Antônio Rodrigues de. "Mineração e Beneficiamento do Carvão Mineral". In Economia e Tecnologia da Energia, FINEP, 1985.
- [66] - CHAZAN, David Turik. In "Carvão Mineral". FINEP. 1987.
- [67] - "Economics of Solar Energy Technologies". American Solar Energy Society, December/ 1992.

- [68] - SILVA, Félix Andrade da. "A Produção e Uso do Carvão Mineral e os Aspectos Ambientais". Secretaria da Ciência e Tecnologia, Brasília-D.F., 1991.
- [69] - IVO, Osmar Chaves. "XISTO" . in Economia e Tecnologia da Energia, FINEP, ed. Marco Zero, 1985.
- [70] - Anuário Estatístico do Brasil - IBGE - 1991.
- [71] - ELJRUSHI, G.S. "Solar-Hydrogen Energy Model for Libya", Ph.D. Dissertation, University of Miami, Coral Gables, 1987.
- [72] - FERGUSON, C.E. "Microeconomia", nona edição, Rio de Janeiro, Florence Universitária, 1986.
- [73] = LUTFI, N., VERIZOGLU, T.N. "Solar-Hydrogen Energy System for Paquistan", Hydrogen Energy Progress VIII, v.1, Pergamon Press, Oxford, 1990.
- [74] - Main Economic Indicators, OECD, Paris, 1993.

PROGRAMA COMPUTACIONAL

```
C PROGRAM DUARTE
C ENERGY FORECASTING COMPUTATIONAL PROGRAM
C FOR THE WORLD AND BRAZIL
S *****
C WORLD VARIABLES USED IN THE PROGRAM
  REAL LR, LRW, HI
  INTEGER T, K
  DIMENSION QW(70), EW(70), GW(70), PW(70), HW(70), T(70),
1ERQW(70), RW(70), QRW(70), GRW(70), ERW(70), PRW(70),
2AW(70), BW(70), RRW(70), LRW(70), CRE(70), FW(70), CRH(70),
3CH(70), CF(70), VQW(70), VGW(70), VEW(70), GAMF(70), SW(70),
4CE(70), WW(70), HRFW(70), CRF(70), HRW(70), THYQ(70),
5THW(70), GRQW(70), GAMH(70), RSW(70), THYE(70), THYG(70)
C *****:*****
C VARIABLES OF BRAZIL INCLUDED IN THE MODEL
C *****
  DIMENSION Q(70), G(70), ER(70), PR(70), QHI(70), EHI(70),
1QR(70), RR(70), ERQ(70), E(70), GHI(70),
2W(70), S(70), FD(70), GR(70),
3FP(70), VE(70), VG(70), RWL(70), VQ(70),
4QRWL(70), GRQWL(70), P(70), A(70),
5R(70), GRQ(70), LR(70),
6R(70), GRT(70), GRTQ(70), FI(70),
9EQ(70), GQ(70), EER(70),
2FIC(70), EE(70)
  DT = 1.0
  X=0.1
  Y=0.1
  Z=0.1
  V=0.1
  A1=10.62
  A2=3.05
  B3=11.2E5
  C1=2.
  C2=0.20
  C3=60.0E6
  W1=0.1
  U=19.0
  DEL=0.035
  DELTA=0.60
  APS=0.04
  ETF=0.736
  ETH=1.3587
  GAMA=.50E+06
  T(1)=1950
C INITIAL DATA FOR THE WORLD
C *****
  THYQW=40.0
  THYEW=37.0
  THYGW=45.0
  QW(1)=2.49E+9
```

EW(1)=72E+9
GW(1)=2.019E+12
RW(1)=3.431E+12
FW(1)=2.78E+10
HW(1)=3.2E+9
PW(1)=1.30E+12
QRW(1)=1.0
PRW(1)=1.0
GRW(1)=1.0
GRQW(1)=1.0
W(1)=1.0
RSW(1)=1.0
WW(1)=1.0
ERW(1)=1.0
ERQW(1)=1.0
RRW(1)=1.0
LRW(1)=1.0
CF(1)=8.3
CH(1)=21.4
CE(1)=8.50
CRF(1)=1.0
CRH(1)=1.0
CRE(1)=1.0
GAMF(1)=0.988
GAMH(1)=0.0113
HRW(1)=1.0
VEW(1)=1.0
VQW(1)=1.0
VGW(1)=1.0
INITIAL DATA FOR BRAZIL

BETA=1.0
THYQ(1)=25.0
THYE(1)=39.46
THYG(1)=37.14
Q(1)=51.90E+6
E(1)=1.54E+9
EQ(1)=29.67
FD(1)=.26E+9
EE(1)=.26E+9
FI(1)=.08E+9
FP(1)=.180E+9
G(1)=.65E+11
GQ(1)=1.25E+03
R(1)=1.60E+10
P(1)=6.232E+9
QR(1)=1.0
QRWL(1)=3.88
PR(1)=1.0
PRW(1)=1.04
GRT(1)=1.0
GR(1)=1.0
GRQWL(1)=1.9
GRQ(1)=1.0
RR(1)=1.0

C
C

```

RWL(1)=.26
LR(1)=1.0
ERQ(1)=1.0
ER(1)=1.0
VE(1)=1.0
VG(1)=1.0
VQ(1)=1.0
GRTQ(1)=1.0
N=0
DO 100 I=2,70
T(I)=T(I-1)+1
BW(I-1)=0.6931*DT*WW(I-1)
K=T(I)/5
QW8I)=QW(I-1)*EXP(BW(I-1)/THYQW)
QRW(I)=QW(I)/QW(1)
AW(I-1)=(1/(THYQW*VQW(I-1))+1/(THYEW*VEW(I-1)))
EW(I)=EW(I-1)*EXP(BW(I-1)*AW(I-1))
SW(I-1)=1/(THYGW*VGW(I-1))
GW(I)=GW(I-1)*EXP(BW(I-1)*(AW(I-1)+SW(I-1)))
GRW(I)=GW(I)/GW(1)
GRQW(I)=GRW(I)/QRW(I)
RW(I)=RW(I-1)-FW(I-1)
FW(I)=DEL*RW(I)
THW8I-1)=2.0+0.20*(I-1)
HW(I)=HW(I-1)*EXP(0.6931*DT/THW(I-1))
HRW(I)=HW(I)/HW(1)
IF(EW(I).LT.(FW(I)+ETH*HW(I)))THEN
EW(I)=EW(I-1)*EXP(BW(I-1)*AW(I-1))
ELSE
EW(I)=FW(I)+ETH*HW(I)
ENDIF
IF(ETH*HW(I).LT.EW(I))THEN
HW(I)=HW(I)
FW(I)=EW(I)-ETH*HW(I)
ELSE
HW(I)=EW(I)/ETX
FW(I)=0.0
ENDIF
ERW(I)=EW(I)/EW(1)
ERQW(I)=ERW(I)/QRW(I)
PW(I)=U*((RW(I-1)-RW(I))/DT+APS*HW(I))
PRW(I)=PW(I)/PW(1)
RSW(I)=(GRQW(I)**1.0)*(PRW(I)**0.1)*(QRW(I)**0.5)
WW(I)=(1.3-0.22*RSW(I)-0.08/RSW(I))
VQW(I)=(QRW(I))**X
RRW(I)=RW(I)/RW(1)
EW(I)=ETH*HW(I)+FW(I)
GAMF(I)=FW(I)/EW(I)
GAMH(I)=ETH*HW(I)/EW(I)
CRF(I)=0.33+(0.67)*(((GRW(I)**0.2)*(ERQW(I)**0.5))/(RRW(I)**.5)
CF(I)=CF(1)*CRF(I)
HRFW(I)=ETH*(HW(I)/EW(1))
CRH(I)=0.2+(0.8)*(((GRW(I)**0.2)*(ERQW(I)**0.4))/(HRW(I)**0.43)
CH(I)=CH(1)*CRH(I)
IF(CF(I).LT.CH(I))THEN

```

```

CRE(I)=GAMF(I)*CRF(I)+GAMH(I)*CRH(I)
CE(I)=(FW(I)/EW(I))*CF(I)+ETH*(HW(I)/EW(I))*CH(I)
ELSE
CRE(I)=GAMF(I)*((CRF(I)**2.0)*(CRH(I)))**0.33+GAMH(I)*
1((CRH(I)**2.0)*(CRF(I)))**0.33
CE(I)=CE(1)*((FW(I)/EW(I))*((CRF(I)**2.0)*CRH(I)))**0.33
2+ETH*(HW(I)/EW(I))*((CRH(I)**2.0)*CRF(I))**0.33)
ENDIF
VEW(I)=(RRW(I)**Y)*(CRE(I)**Z)/(ERQW(I)**V)
VGW(I)=(1/GRQW(I)**W1)
LRW(I)=(GRW(I)*RRW(I))/(PRW(I)*QRW(I))
C
C
CALCULATION OF THE POPULATION OF BRAZIL
*****
WRITE(*,*)'A'
HI=1.0*I
C
B(I-1)=0.6931*DT*W(I-1)
Q(I)=Q(I-1)*EXP(B(I-1)/THYQ(I-1))
IF(I.LT.50)THEN
ENDIF
THYQ(I)=25.4536+.0413106*I+.00903234*I:**2+.00116458*I**3+5.
175466E-6*HI**4
THYE(I)=39.4596-.447499*I-.00372294*I**2+.000239057*I**3
THYG(I)=37.1399-.861344*I+.0226836*I**2-.000531663*I**3+5.04079
1E-6*HI**4
Q(I)=Q(I-1)*EXP(B(I-1)/THYQ(I-1))
QR(I)=Q(I)/Q(1)
QRWL(I)=(3.88)*QR(I)
C
C
ENERGY DEMAND CALCULATION
*****
WRITE(*,*)'E'
C
A(I-1)=1.0
A(I-1)=1/(THYQ(I-1)*VQ(I-1))+1/(THYE(I-1)*VE(I-1))
E(I)=E(I-1)*EXP(B(I-1)*A(I-1))
UER(I)=EE(I)/E(I)
ER(I)=E(I)/E(1)
EQ(I)=E(I)/Q(I)
ERQ(I)=ER(I)/QR(I)
C
C
CALCULATION OF THE GROSS PRODUCT
*****
WRITE(*,*)'S'
S(I-1)=1/(THYG(I-1)*VG(I-1))
G(I)=G(I-1)*EXP(B(I-1)*(A(I-1)+S(I-1)))
C
C
S(I-1)=1/(THYG(I-1)*VG(I-1))
G(I)=G(I-1)*EXP(B(I-1)*(A(I-1)+S(I-1)))
C
C
IF(ABS(G(I)-GHI(I-1)).GT.1.0D11)THEN
C
C
WO TO 149
C
ENDIF
GR(I)=G(I)/G(1)
GQ(I)=G(I)/Q8I
GRQ(I)=GR(I)/QR(I)
GRQWL(I)=.123*GRQ(I)
WRITE(*,*)T(I),QHI(I),EHI(I),GHI8I)
C
WRITE(*,*)B(I-1),A(I-1),S(I-1),VQ(I-1),VE(I-1),VG(I-19)
C
WRITE(*,*)'B'

```

```

*****
C   CALCULATION OF FOSSIL ENERGY DEMAND
C
*****
      FD(I)=EE(I)
      FP(I)=1.035*FP(I-1)
      R(I)=R(I-1)-FP(I)
C   CALCULATION OF FOSSIL ENERGY IMPORT
C   *****
      FI(I)=FD(I)-FP(I)
C   WRITE(*,*)FI(I),FP(I),R(I)
C   CALCULATION OF FOSSIL FUEL RESOURCE
C   *****
      R(I)=R(I-1)-FP(I)
      RR(I)=R(I)/R(1)
C   CALCULATION OF POLLUTION
C   *****
      P(I)=U*((FD(I))/DT)
      PR(I)=P(I)/P(1)
C   CALCULATION OF POPULATION GROWTH MODIFIER
C   *****
      WRITE(*,*)RR(I),PR(I)
      RWL(I)=.16*GRQ(I)*(PR(I)**0.1)*(QR(I)**0.5)
      WRITE(*,*)RWL(I)
      W(I)=(1.30-0.08*RWL(I)-0.22/RWL(I))*BETA
C   WRITE(*,*)RR(I),PR(I),RWL(I),W(I)
      VQ(I)=(QR(I)**X)
      RR(I)=R(I)/R(1)
      VE(I)=(RR(I)**Y)*(CRE(I)**Z)/(ERQ(I)**V)
      VG(I)=(1/GRQ(I)**W1)
      WRITE(*,*)'RR(I),PR(I),RWL(I),W(I),VE(I),VG(I)'
C   QUALITY OF LIFE INDICATOR
C   *****
      LR(I)=GR(I)/(PR(I)*QR(I))
C   *****
C   COST OF FOSSIL FUEL IMPORTS
C   *****
      FIC(I)=FI(I)*CF(I)/1.0E9
      J=I-1
      IF(K*5.EQ.T(J))THEN
      WRITE(*,*)'T(J),Q(J),E(J),G(J),EE(J)'
      ENDIF
C   I=Y+1
100 CONTINUE
      STOP
      END

```