

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA
NÍVEL MESTRADO

Marcelo do Carmo Rodrigues

**ECONOMIA, ENERGIA E MEIO-AMBIENTE:
ELEMENTOS PARA A FORMULAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS E ANÁLISE
DE OPORTUNIDADES DE INVESTIMENTOS**

São Leopoldo

2008

Marcelo do Carmo Rodrigues

**ECONOMIA, ENERGIA E MEIO-AMBIENTE:
ELEMENTOS PARA A FORMULAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS E ANÁLISE
DE OPORTUNIDADES DE INVESTIMENTOS**

Dissertação apresentada à Universidade do Vale do Rio
dos Sinos - Unisinos, como requisito parcial para a
obtenção do título de Mestre em Economia

Orientador: Prof. Dr. Roberto Camps Moraes

São Leopoldo

2008

R696e Rodrigues, Marcelo do Carmo.
 Economia, energia e meio-ambiente: elementos para a
 formulação de políticas públicas e análise de oportunidades de
 investimentos / Marcelo do Carmo Rodrigues. – 2008.
 123 f. : il. ; 30 cm.

 Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos
 Sinos, Programa de Pós-Graduação em Economia, 2008.

“Orientador: Prof. Dr. Roberto Camps Moraes”.

 1. Energia elétrica – Aspectos econômicos. 2. Energia elétrica –
 Produção – Aspectos ambientais. 3. Desenvolvimento sustentável.
 4. Desenvolvimento econômico – Aspectos ambientais. I. Título.

Catálogo na publicação: Bibliotecário Flávio Nunes, CRB 10/1298

Marcelo do Carmo Rodrigues

**ECONOMIA, ENERGIA E MEIO-AMBIENTE:
ELEMENTOS PARA A FORMULAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS E ANÁLISE
DE OPORTUNIDADES DE INVESTIMENTOS**

Dissertação apresentada à Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Economia.

Aprovado em 15 de janeiro de 2009.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Divanildo Triches - UNISINOS

Prof. Dr. Tiago Wickstrom Alves - UNISINOS

Prof. Dr. Adelar Fochezatto – PUC-RS

Prof. Dr. Roberto Camps Moraes (Orientador)

Visto e permitida a impressão

São Leopoldo,

Prof. Dr. André Filipe Zago de Azevedo
Coordenador Executivo PPG em Economia

*Dedico este estudo:
à Alessandra,
minha esposa, sócia e amiga;
à minha filha Luíza,
uma fonte inesgotável de energia.*

Meus sinceros agradecimentos:

- ... aos meus pais, pelos valores transmitidos;
- ... aos colegas de mestrado, pela convivência inspiradora;
- ... aos professores, pela dedicação com os questionamentos e pelo aprendizado proporcionado;
- ... ao Prof. Dr. Roberto Camps Moraes, pela paciência com um engenheiro que se aventurou na área da Economia e aceitou conduzir a orientação desse trabalho;
- ... aos amigos que incentivaram sua conclusão.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo descrever as características técnico-econômicas que influenciam a demanda de energia e a dinâmica da indústria elétrica, resumir as diferentes ferramentas de planejamento de demanda de energia, além de estudar a relação existente entre desenvolvimento econômico, meio ambiente e oferta de energia tanto no plano internacional como no caso brasileiro. No capítulo 1, a título de introdução, abordam-se como estas relações geram preocupações sobre a capacidade de sustentar o ritmo de crescimento da economia face ao cenário de crescente escassez de energia e das limitações à utilização de combustíveis fósseis devido à poluição e ao aquecimento global. Mostra-se como, no Brasil, em função do perfil da matriz energética, torna-se particularmente relevante o estudo dos aspectos técnico-econômicos que influenciam a dinâmica do mercado de energia elétrica, que tem 46,7% de seu total ofertado consumido pelo setor industrial (2007) e representa um dos insumos chave na cadeia produtiva nacional. Também se discute uma especificidade da energia – a sua não estocabilidade – e as implicações desta para os seus aspectos econômicos. Na parte final da introdução apresentam-se os objetivos gerais e específicos do trabalho, assim como um resumo do mesmo. O capítulo 2 é composto por duas breves revisões teóricas. A primeira tem como eixo central a recuperação dos pioneiros na formulação das questões ambientais e sua inserção na agenda da discussão do desenvolvimento econômico e dos fundadores das principais correntes em que se dividem aqueles que estudam os problemas ambientais atualmente. A segunda revisão trata de como as questões ambientais evoluíram no contexto norte-americano, onde são destacadas a abordagem dos custos da energia e a economia do aquecimento global. O capítulo 3 realiza uma descrição dos principais aspectos relacionados com a gestão de energia na experiência brasileira. O capítulo 4 apresenta uma visão sumária geral dos ingredientes necessários à formulação de cenários e sua metodologia, examina os indicadores adotados pela EPE no Brasil para vários setores e discute alguns resultados nacionais e internacionais sobre os principais parâmetros estruturais. O capítulo 5 apresenta uma classificação e uma lista com comentários críticos dos modelos de previsão de demanda de energia. Finalmente, apresentam-se algumas conclusões, das quais as principais são, para análise de políticas públicas no Brasil, parecerem ser mais adequadas abordagens baseadas na Economia Ambiental Neoclássica, que pode considerar o meio ambiente essencialmente neutro; em regiões não pertencentes ao Sistema Integrado Nacional (SIN) e no caso de avaliação de novas fontes alternativas de energia, passam a parecer mais adequadas abordagens baseadas em Correntes Desenvolvimentistas da Economia do Meio Ambiente, voltadas ao desenvolvimento de propostas alternativas para regiões menos desenvolvidas. Outra abordagem que pode ser considerada é a utilização dos modelos de Economia Ambiental Neoclássica para análises de curto prazo ou específicas a um determinado setor da economia ou região, sendo as abordagens Desenvolvimentistas talvez mais adequadas às análises de grande abrangência ou de longo prazo.

Palavras chave: energia, meio ambiente, sustentabilidade, desenvolvimento econômico.

ABSTRACT

This work has as objectives describing the technical-economical characteristics that influence energy demand and energy industry dynamics, summarizing different energy demand planning tools and studying the existing relationships between economic development, environment, and the supply of energy on the international level and in the case of Brazil. In chapter one, as an Introduction, it examines how these relationships lead to the deep worries regarding the sustainability of economic growth due to the increasing energy scarcity and the increasing limitations imposed on the utilization of fossil fuels in the face of pollution and global warming. It shows how in Brazil, due to its peculiar energy consumption profile, it is particularly relevant the knowledge of the economic and technical factors governing the dynamics of the market for electricity, where 46 % of the total supply is consumed by the industrial sector (2007), and it represents one of the key inputs in the national productive chain. It is also discussed a peculiarity of the supply of electricity – its non-stockability – and its implications for the economics of its supply side. In the final part of the Introduction the general and specific objectives of the work are presented together with a short summary of the work. Chapter 2 is composed of different brief reviews of two sets of theoretical literature. The first one has as the focal point the retrieval of the pioneers in the formulation of the environmental issues and the founding fathers of the main theoretical approaches to the environment which exist nowadays. The second review deals with environmental issues and its evolution in the American context, with special emphasis on the energy costs and on the economics of global warming. Chapter 3 does a brief description of the main issues regarding the Brazilian experience in energy management. Chapter 4 presents a brief general vision of the necessary ingredients for the design and building of scenarios and prospective studies, and their methodologies, with some graphical illustrations; and indicates and presents a list and graphic representations of indicators used by EPE in Brazil for several sectors and discusses some of the national and international results on structural parameters. Chapter 5 presents a classification and a list of prevision models for the demand of electricity. Finally, some conclusions are presented, from which may be mentioned the apparent adequacy of using Neoclassical approaches for the study of public policies in Brazil, that may consider the environment essentially neutral, although in regions not connected to the National Integrated System (SIN) and in cases of new energy sources evaluation, approaches based on Development Theories of Environmental Economy may be better fitted, as these theories are focused in proposing alternatives for less developed regions. Another approach that may be considered is the use of Neoclassical Models for short-term or specific regions analysis and Development Theories of Environmental Economy for long-term or broader scopes analysis.

Key-words: energy, environment, sustainability, economical development.

LISTA DE FIGURAS

1 – Oferta Interna de Energia no Brasil 2007 (%)	15
2 – Oferta Interna de Energia no Mundo 2006 (%).....	15
3 – Estrutura da Oferta Interna de Energia	15
4 – Processos associados à oferta de energia elétrica	17
5 – Relações entre o sistema econômico e o meio ambiente	30
6 – Representação simplificada do SIN.....	51
7 – Centrais que compõem os sistemas isolados	52
8.1 – Participação dos tipos de centrais na capacidade instalada.....	54
8.2 – Participação das fontes renováveis e não renováveis na capacidade instalada.....	54
9 – Participação das distribuidoras no mercado de energia elétrica (controle acionário).....	56
10 – Evolução do mercado das comercializadoras	57
11 – Variações percentuais nas participações dos setores no consumo de energia elétrica	61
12 – Evolução do mercado de fornecimento de energia elétrica	62
13 – Modelo de previsão de cenários utilizado	66
14 – Inter-relações de condicionantes gerais para energia útil/energia final.....	67
15 – Estrutura de parâmetros utilizada nas projeções da demanda de energia.....	67
16 – Esquema de estimativa da demanda de energia nos segmentos do setor industrial.....	70
17 – Esquema de estimativa da demanda de energia no setor agropecuário	71
18 – Esquema de estimativa da demanda de energia no setor residencial	72
19 – Grau de urbanização – Brasil e regiões	76
20 – Evolução da taxa de habitantes por domicílio	77
21 – Diagrama dos processos de conversão energética da biomassa.....	85
22 – Evolução da metodologia da projeção da demanda.....	89
23 – Utilização do Modelo MESSAGE	99
24 – Sistema energético de referência adotado no sistema MARKAL	100
25 – Análise geral da demanda final – Sistema LEAP.....	101
26 – Elementos de um modelo integrado de planejamento.....	104
27 – Representação do processo de planejamento de longo prazo do setor energético	105
28 – Entrada e saída de dados do módulo macroeconômico do MIPE.....	107
29 – Estrutura do MIPE utilizada nas projeções da demanda setorial de energia.....	108
30 – Matriz de transações (Modelo de Leontief).....	126

LISTA DE QUADROS

1 – Correntes de pensamento da Economia do Meio Ambiente	29
2 – Intervenção do Estado no setor de energia elétrica	41
3 – Seqüência de eventos de privatização do setor de energia elétrica	44
4 – Novos agentes do mercado de energia.....	49
5 – Variáveis de interesse específico por segmento do setor industrial	68
6 – Variáveis de interesse específico dos setores comercial, público e de transportes.....	73
7 – Evolução da elasticidade-renda no consumo de energia	79
8 – Evolução dos modelos econométricos.....	91
9 – Comparação entre métodos de análise de demanda de energia.....	93
10 – Resumo da análise geral da demanda – Sistema LEAP.....	103

LISTA DE TABELAS – vai até 22

1 – Oferta Interna de Energia (Tep e %)	14
2 – Indicadores de Energia Elétrica no Brasil	16
3 – Indicadores Econômicos e Energia Elétrica	16
4 – Consumo final de energia elétrica e taxas de crescimento.....	58
5 – Consumo final de energia elétrica nos principais setores (GWh).....	59
6 – Consumo final de energia elétrica: autoprodução, mercado de fornecimento (GWh).....	62
7 – Taxa de crescimento populacional.....	75
8 – Projeção do crescimento populacional.....	74
9 – Projeção da taxa de urbanização.....	75
10 – Projeção do total de domicílios permanentes ocupados.....	76
11 – População e oferta interna de energia do mundo	77
12 – Relação entre PIB e oferta interna de energia no mundo	77
13 – Intensidade energética nos segmentos industriais	80
14 – Projeção de indicadores econômicos e de energia	81
15 – Evolução dos indicadores econômico-energéticos por cenário	82
16 – Reservas mundiais de recursos energéticos não-renováveis	82
17 – Potencial mundial de energia hidráulica (2002)	83
18 - Potencial hidrelétrico brasileiro por bacia hidrográfica	83
19 - Capacidade instalada por bacia hidrográfica (MW)	84
20 – Consumo de biomassa (Mtep)	84
21 – Energia eólica – capacidade instalada no mundo	86
22 – Matriz Energética Brasileira.....	119

LISTA DE ABREVIATURAS

ABCE - Associação Brasileira de Concessionárias de Energia Elétrica
ABPEE - Associação Brasileira dos Produtores de Energia Emergencial
ABRACE - Associação Brasileira de Grandes Consumidores Industriais de Energia
ABRACEL - Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia
ABRAGE - Associação Brasileira das Empresas Geradoras de Energia Elétrica
ABRAGET - Associação Brasileira de Geradoras Termelétricas
ABRATE - Associação Brasileira das Grandes Empresas de Transmissão de Energia Elétrica
ACR - Ambiente de Contratação Regulada
ACL - Ambiente de Contratação Livre
AIEA/ONU - Agência Internacional de Energia Atômica da ONU
AMFORP - American and Foreign Power
ANA – Agência Nacional de Águas
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APINE - Associação Brasileira dos Produtores Independentes de Energia Elétrica
APMPE - Associação Brasileira dos Pequenos e Médios Produtores de Energia Elétrica
ASMAE - Administradora de Serviços do Mercado Atacadista de Energia Elétrica
BEN - Balanço Energético Nacional
BNDE - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico
CBEE - Comercializadora Brasileira de Energia Emergencial
CBIEE - Câmara Brasileira de Investidores em Energia Elétrica
CCEE - Câmara de Comercialização de Energia – CCEE
CCOI - Comitê Coordenador de Operação Interligada
CECA - Comunidade Européia do Carvão e do Aço
CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica
CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CESP – Companhia Energética de São Paulo
CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
CNAEE - Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica
CNPE - Conselho Nacional de Política Energética
CNUCD - Conferência das Nações Unidas sobre Comércio-Desenvolvimento
COPEL – Companhia Paranaense de Energia

DNAE - Departamento Nacional de Águas e Energia
DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral
ELETRONORTE - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.
ELETROSUL - Centrais Elétricas do Sul do Brasil S.A.
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
GCE - Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica
GCOI - Grupo Coordenador para Operação Interligada
IIASA - International Institute for Applied Systems Analysis
IIE - Indicador de Intensidade Energética
IBGE - Instituto de Geografia e Estatística
LEAP - Long-range Energy Alternatives Planning System
MAE - Mercado Atacadista de Energia Elétrica
MARKAL - MARKet ALlocation model
MEB - Matriz Energética Brasileira
MESSAGE - Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact
MME - Ministério de Minas e Energia
NUCLEBRÁS - Empresas Nucleares Brasileiras S.A.
ONS - Operador Nacional do sistema
OIE - Oferta Interna de Energia
OPEP – Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PIB - Produto Interno Bruto
PIE - Produtor Independente de Energia Elétrica
PIR – Planejamento Integrado de Recursos
PMENU - Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas
PPT - Programa Prioritário de Térmicas
PROALCOOL – Programa Nacional do Alcool
SIN - Sistema Interligado Nacional
Tep - Tonelada equivalente de petróleo
VAR - Vetores auto-regressivos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 AS DIMENSÕES ECONÔMICAS DA ENERGIA	12
1.2 A OFERTA DE ENERGIA NO BRASIL	14
1.3 A NÃO ESTOCABILIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA	17
1.4 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS.....	18
2 REVISÃO TEÓRICA	21
2.1 ENERGIA, MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO	21
2.1.1 A economia clássica e o meio ambiente.....	21
2.1.2 Os precursores da economia ambiental	22
2.1.3 Eventos consolidadores.....	24
2.1.4 O desenvolvimento sustentável	27
2.1.5 As correntes da economia do meio ambiente.....	29
2.1.6 A Economia da Energia	31
2.2 CONTEXTUALIZAÇÃO NO MERCADO NORTE AMERICANO	33
2.2.1 A escassez e o custo dos insumos energéticos	33
2.2.2 A economia do aquecimento global	35
3 O MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	38
3.1 A UTILIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.....	38
3.2 O INÍCIO DA INTERVENÇÃO DO ESTADO	39
3.3 CRISES E REFORMAS DA INDÚSTRIA ELÉTRICA BRASILEIRA.....	42
3.3.1 A Primeira Reforma	43
3.3.2 A Segunda Reforma da Indústria Elétrica Brasileira.....	46
3.3.2.1 Os Ambientes de Comercialização.....	47
3.3.2.2 Novas Instituições de Coordenação e Planejamento.....	48
3.4 PERFIL DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO.....	50
3.4.1 Configuração do Sistema Elétrico Nacional.....	50
3.4.2 Geração de energia elétrica.....	53
3.4.3 Co-geração de energia elétrica.....	54
3.4.4 Transmissão e distribuição de energia elétrica.....	55
3.4.5 Comercialização de energia elétrica.....	56
3.5 PERFIL DA DEMANDA ENERGÉTICA BRASILEIRA	57
3.5.1 A energia elétrica no contexto energético nacional.....	57
3.5.2 Evolução do consumo de energia elétrica por setor e por região geográfica.....	59
3.5.3 Energia elétrica e economia.....	62

4 FATORES QUE INFLUENCIAM A DEMANDA DE ENERGIA.....	64
4.1 ANÁLISE DE PARÂMETROS E PREMISSAS	64
4.1.1 Elaboração de cenários.....	64
4.1.2 Variáveis e parâmetros de previsão do mercado.....	65
4.2 ANÁLISE DE PARÂMETROS SETORIAS	68
4.2.1 Setor industrial.....	68
4.2.2 Setor agropecuário.....	71
4.2.3 Setor residencial.....	71
4.2.4 Setores comercial, público e de transportes.....	73
4.3 ANÁLISE DE PARÂMETROS ESTRUTURAIS	74
4.3.1 Consumo per capita.....	74
4.3.2 Elasticidade do consumo.....	77
4.3.3 Intensidade energética.....	80
4.3.4 Substituição de energéticos.....	82
5 METODOLOGIAS DE PREVISÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA	87
5.1 TRABALHANDO COM INCERTEZAS.....	87
5.2 MODELOS DE PREVISÃO DE DEMANDA.....	90
5.2.1 Modelos econométricos	90
5.2.2 Modelos técnico-econômicos	92
5.2.2.1 Modelo VAR	95
5.2.2.2 Modelo de requerimentos	97
5.2.2.3 Matriz Insumo-Produto de Leontief	97
5.2.2.4 Modelo MESSAGE	98
5.2.2.5 Modelo MARKAL.....	99
5.2.2.6 Modelo LEAP.....	101
5.3 MODELOS INTEGRADOS.....	104
5.3.1 Planejamento Integrado de Recursos.....	104
5.3.2 Recomendações sobre utilização de modelos de projeção.....	108
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	110
REFERÊNCIAS	114
ANEXO A - Balanço Energético Consolidado	118
ANEXO B - Histórico resumido da oferta de energia elétrica no Brasil	120
ANEXO C – Modelo insumo-produto de Leontief.....	126

1 INTRODUÇÃO

1.1 AS DIMENSÕES ECONÔMICAS DA ENERGIA

A energia é um dos bens mais valiosos e indispensáveis à vida moderna. Para citar um exemplo, o Plano Schuman, elaborado em maio de 1950 pelo ministro francês das Relações Exteriores, Robert Schuman, para integrar e gerir em comum a produção franco-alemã de carvão e aço é considerado um dos marcos da história moderna. Seus planos para uma Comunidade Européia do Carvão e do Aço (CECA), cujo acordo foi assinado a 18 de abril de 1951, criava as bases do que acabou se desenvolvendo na Comunidade Econômica Européia e, mais tarde, A União Européia.

A criação da CECA tinha significado histórico: um acordo de cooperação entre nações inimigas durante a Segunda Guerra Mundial, por meio da administração conjunta dos mercados de aço e carvão, dois importantes produtos que já haviam sido motivos de várias guerras. O aço, importante insumo para o desenvolvimento da infra-estrutura, também era matéria-prima para a indústria de armamentos. O carvão era a principal fonte de energia da época, base para toda a indústria e mola-mestra para o desenvolvimento social e econômico.

A correlação entre crescimento econômico e demanda energética pode ser observada, conforme Theis (1990) apud Meadows (1978), em razão de: “o processo de desenvolvimento econômico ser o processo de utilização de mais energia para aumentar a produtividade e a eficiência do trabalho humano. De fato, um dos melhores indícios da riqueza de uma população é a quantidade de energia que ela consome por pessoa”. Para Theis (1990), a partir de 1973 quando houve o primeiro choque do petróleo, a energia passou a ser o fator mais escasso do processo de desenvolvimento e isso passou a condicionar a evolução relativa do PNB per capita ao consumo de energia per capita.

Um das mais relevantes preocupações da atualidade é em relação à sustentabilidade dos índices de desenvolvimento econômico, que está associada à disponibilidade de energia. O motivo de preocupação é que a maior parte das fontes utilizadas para sua geração não é renovável, ficando mais claro cada vez mais, que a falta conhecimento sobre seu uso de forma sustentável e utilização de fontes alternativas, traz a iminência de uma escassez energética no longo prazo.

Em contraste ao papel predominante do carvão e do petróleo no século passado, após as graves crises de energia vividas e das constantes previsões de esgotamento das fontes não renováveis, neste século tem sido crescente a busca por fontes limpas de energia, isto é, que não tragam mais poluição à natureza. Hoje, os custos da energia elétrica obtida com a força do vento¹ já são inferiores aos da produzida com carvão e com urânio e se aproximam a passos largos da fonte mais barata: o gás natural.

Um dos principais propulsores da corrida em busca da energia limpa é o Protocolo de Kioto, que visa implementar a Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. O objetivo central do Protocolo é fazer com que os países industrializados reduzam até 2012 a emissão de gases que causam o efeito estufa em aproximadamente 5% abaixo dos níveis registrados em 1990.

Com a abertura do mercado para o uso de energias limpas e com o estabelecimento de regulamentações, cresce o potencial de desenvolvimento do setor no Brasil, país com condições bastante favoráveis à produção de energias limpas. Principalmente a energia eólica na região nordeste, onde se têm clima quente e ventos abundantes pode desempenhar um papel relevante nessa direção.

As necessidades de investimentos podem desenvolver um novo ramo gerador de emprego e renda para a indústria nacional e o setor de energia pode ser um grande agente de crescimento econômico do país.

¹ Para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m², a uma altura de 50 metros, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s. Segundo a Organização Mundial de Meteorologia, em apenas 13% da superfície terrestre o vento apresenta este tipo de característica. O Centro de Referência para Energia Solar e Eólica - CRESESB/CEPEL elaborou estudo, cujos resultados apresentaram um potencial eólico brasileiro da ordem de 143 GW. Os melhores potenciais estão no litoral das regiões Norte e Nordeste, onde a velocidade média do vento, a 50 m do solo, é superior a 8 m/s. Entre outras regiões com grande potencial eólico, destacam-se o Vale São Francisco, o Sudoeste do Paraná e o Litoral Sul do Rio Grande do Sul. Atualmente existem aproximadamente 3,5 GW em projetos eólicos autorizados pela ANEEL e o grande incentivo dado às fontes alternativas de energia é o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas - PROINFA, que promove a instalação, no curto prazo, de mais de 1,3 GW em centrais eólicas. A despeito da queda do custo unitário de investimento em razão da evolução rápida na curva de aprendizagem e o alto índice de nacionalização, o baixo fator de capacidade dessas centrais ainda faz com que o custo médio de geração se situe na faixa de US\$ 75/MWh, mesmo com o investimento por kW considerado a US\$ 1.200. No caso dos sistemas isolados de pequeno porte a viabilidade é obtida naturalmente para velocidades de vento baixas, pois se devem comparar os custos dos sistemas eólicos com os elevados custos de extensão da rede elétrica convencional. No caso dos sistemas interligados à rede elétrica, a viabilidade ainda só é alcançada para velocidades de vento elevadas, pois têm que competir com os custos de energia obtidos com as formas de geração convencional (hidroelétrica e térmica). Há ainda que se considerar a viabilidade ambiental da execução de obras de hidrogeração. Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em um cenário de aproveitamento restrito da hidrogeração até 2030, ou seja, apenas 40% do potencial disponível, o custo marginal médio de expansão será da ordem de US\$ 74,6/MWh. Para o cenário de uso intensivo (80% do potencial) esse valor cai para US\$ 60/MWh.

1.1 A OFERTA DE ENERGIA NO BRASIL

O Balanço Energético Nacional (BEN) documenta anualmente os dados sobre a oferta e a demanda de energia, detalhando por setor de atividade econômica as informações sobre o consumo, produção e comercialização dos diferentes energéticos em âmbito nacional. Em 2008, o Ministério de Minas e Energia divulgou em sua Resenha Energética os resultados de no exercício de 2007.

O resultado final da Oferta Interna de Energia (OIE)² de 2007, no montante de 238,8 milhões de tonelada equivalente de petróleo (tep), conforme é apresentado na tabela 1. O crescimento verificado da OIE em 2007 de 5,5% ficou praticamente no mesmo patamar do crescimento da economia, de 5,4% conforme dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Dois fatores contribuíram para o crescimento acentuado da demanda por energia: os bons resultados alcançados pelos setores exportadores, especialmente os intensivos em energia (aço, celulose, álcool etc.) e o bom desempenho da demanda interna de bens e serviços.

Tabela 1 – Oferta Interna de Energia (Tep e %)

ESPECIFICAÇÃO	mil tep		07/06 %	Estrutura %	
	2006	2007		2006	2007
NÃO-RENOVÁVEL	124.464	129.102	3,7	55,0	54,1
PETRÓLEO E DERIVADOS	85.545	89.239	4,3	37,8	37,4
GÁS NATURAL	21.716	22.199	2,2	9,6	9,3
CARVÃO MINERAL E DERIVADOS	13.537	14.356	6,1	6,0	6,0
URÂNIO (U3O8) E DERIVADOS	3.667	3.309	-9,8	1,6	1,4
RENOVÁVEL	101.880	109.656	7,6	45,0	45,9
HIDRÁULICA E ELETRICIDADE	33.537	35.505	5,9	14,8	14,9
LENHA E CARVÃO VEGETAL	28.589	28.628	0,1	12,6	12,0
DERIVADOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	32.999	37.847	14,7	14,6	15,9
OUTRAS RENOVÁVEIS	6.754	7.676	13,7	3,0	3,2
TOTAL	226.344	238.758	5,5	100,0	100,0

Fonte: MME

² A quantidade de energia que movimenta a indústria, o transporte, o comércio e demais setores econômicos do país recebe a denominação de Consumo Final no BEN. Essa energia, para chegar ao local de consumo, é transportada por gasodutos, linhas de transmissão, rodovias, ferrovias etc., processos esses que demandam perdas de energia. Por outro lado, a energia extraída da natureza não se encontra nas formas mais adequadas para os usos finais, necessitando, na maioria dos casos, passar por processos de transformação (refinarias que transformam o petróleo em óleo diesel, gasolina, e outros derivados, usinas hidrelétricas que aproveitam a energia mecânica da água para produção de energia elétrica, carvoarias que transformam a lenha em carvão vegetal e outros). Esses processos também demandam perdas de energia. No BEN, assim como nos balanços energéticos de outros países, a soma do consumo final de energia, das perdas na distribuição e armazenagem e das perdas nos processos de transformação recebe a denominação de **Oferta Interna de Energia – OIE**, também, denominada de demanda total de energia. A estrutura da OIE por energético é comumente chamada de Matriz Energética.

O aumento na demanda total por energia se deu com incremento no uso das fontes renováveis (hidráulica, biomassa e outras). Houve crescimento de 7,6% na energia proveniente dessas fontes, enquanto que as não-renováveis (petróleo e derivados, gás natural, carvão mineral e urânio) cresceram 3,7%. Com isso, a energia renovável passou a representar 45,9% da Matriz Energética Brasileira (MEB) em 2007.

Essa proporção é das mais altas do mundo, contrastando significativamente com a média mundial, de 12,9%, e mais ainda com a média dos países da Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OECD)³, que em sua grande maioria são países desenvolvidos, de apenas 6,7% (ver Figuras 1, 2 e 3).

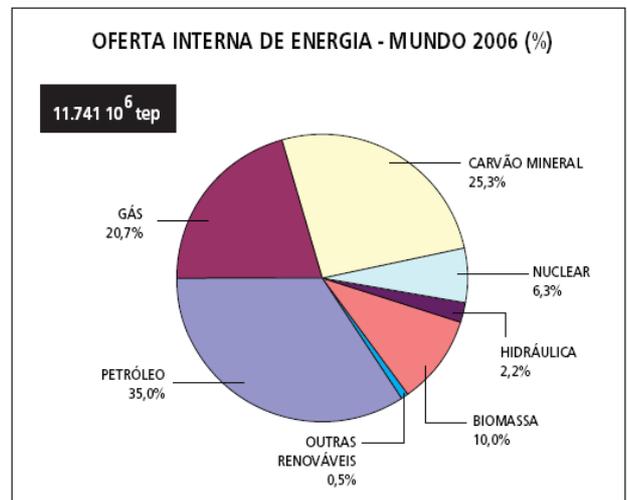
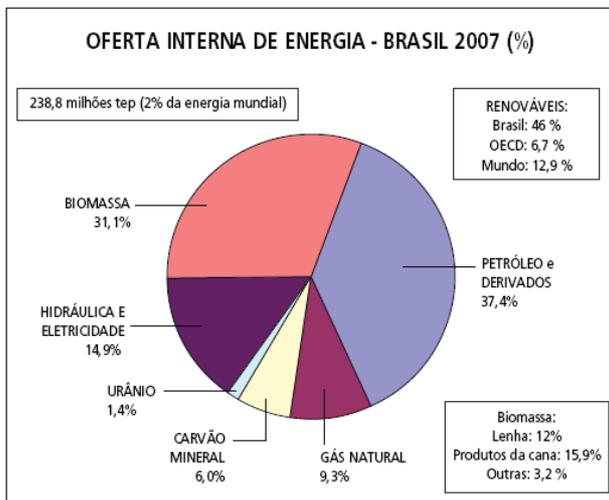


Figura 1: Oferta Interna de Energia no Brasil

Figura 2: Oferta Interna de Energia no Mundo

(fonte: MME)

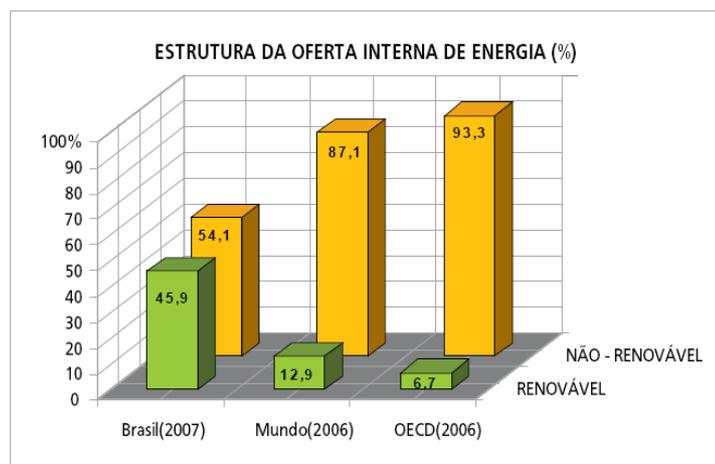


Figura 3 – Estrutura da Oferta Interna de Energia / (fonte: MME)

³ São os seguintes os 30 países membros da Organisation de Coopération et de Développement Économiques: Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Coreia do Sul, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Luxemburgo, México, Noruega, Nova Zelândia, Polónia, Portugal, Reino Unido, República Eslovaca, República Tcheca, Suíça, Suécia e Turquia. Além desses países, também integra a OCDE a União Européia.

Dentre todas as fontes de energia utilizadas no Brasil, a Energia Elétrica representa um importante insumo para a indústria nacional e para a população tanto rural quanto urbana, somando em 2007 14,9% da Oferta Interna de Energia. Do total consumido, 46,7% é destinado às indústrias, conforme apresentado nos indicadores da Tabela 2.

A Tabela 3, extraída do Plano Nacional de Energia 2030 produzido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) vinculada ao Ministério de Minas e Energia demonstra que em 1970, o Brasil apresentava um Produto Interno Bruto - PIB de cerca de R\$ 500 bilhões (em valores de reais de 2005) e uma população de 93 milhões de habitantes. Os consumos finais de energia e de energia elétrica eram equivalentes a 60,6 milhões tep e 39,7 TWh, respectivamente. Trinta e cinco anos após, o PIB era 4 vezes maior (R\$ 1.938 bilhões), a população havia dobrado (185 milhões de habitantes), o consumo final de energia, triplicado (183,4 milhões tep) e, por fim, o consumo de energia elétrica foi o que apresentou o crescimento mais expressivo, crescendo quase 10 vezes: 375,2 TWh.

Tabela 2 – Indicadores de Energia Elétrica no Brasil

Indicadores Energéticos	UNIDADE	2006	2007	Estrutura (%) 2006	Estrutura (%) 2007
OFERTA TOTAL DE ENERGIA ELÉTRICA	GWh	460.500	484.520	100,0	100,0
PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO	GWh	70.550	72.661	15,3	15,0
CONSUMO FINAL	GWh	389.950	411.860	84,7	85,0
CONSUMO FINAL DE ENERGIA ELÉTRICA	GWh	389.950	411.860	100,0	100,0
INDUSTRIAL	GWh	183.418	192.523	47,0	46,7
RESIDENCIAL	GWh	85.810	91.029	22,0	22,1
COMERCIAL E PÚBLICO	GWh	88.271	93.429	22,6	22,7
OUTROS	GWh	32.451	34.879	8,3	8,5

Fonte: MME

Tabela 3 – Indicadores Econômicos e Energia Elétrica, Brasil 1970-2004

Discriminação	1970	1980	1990	2000	2004	Média no período
PIB (R\$ bilhões de 2005)	501	1.145	1.339	1.739	1.895	
Variação entre períodos (% a.a.)	-	7,2	1,9	2,2	2,2	4,0% a.a.
População total (milhões)	93	119	147	171	182	
Variação entre períodos (% a.a.)	-	2,1	2,0	1,5	1,6	2,0% a.a.
PIB per capita (R\$ de 2005/hab)	5.387	9.622	9.109	10.170	10.406	
Variação entre períodos (% a.a.)	-	4,9	-0,1	0,8	0,6	2,0% a.a.
Consumo final de e. elétrica (TWh) ⁽¹⁾	39,7	122,7	210,8	321,2	346,7	
Variação entre períodos (% a.a.)	-	11,9	4,0	4,6	1,9	6,6% a.a.
Elasticidade-renda	-	1,66	2,47	2,06	0,94	1,68

Nota: 1 - Exclusive o consumo do setor energético.

Fonte: EPE

Segundo as conclusões da EPE, os valores da tabela refletem o fato de que o contexto econômico e o panorama do setor energético guardaram uma forte correlação neste período: se, em alguns momentos, os planos econômicos e as crises externas afetaram o consumo energético, em outros, como no período do racionamento de energia, foi o sistema energético que limitou a trajetória de expansão do crescimento.

Entre as perturbações no contexto econômico que ocorreram no período observado, podem ser destacados os Planos Cruzado e Cruzado II em 1986, o Plano Bresser em 1987, o Plano Verão em 1989, os Planos Collor I e Collor II em 1990, o Plano Real em 1994, a crise financeira internacional no final da década de 90 e a volatilidade de 2002. Já os distúrbios associados ao setor energético foram menos freqüentes, podendo ser citadas as crises de 1973 e 1979, quando os preços do petróleo no mercado internacional aumentaram fortemente; a crise do PROALCOOL no final da década de 80, e o racionamento de energia elétrica em 2001 e 2002.

1.2 A NÃO ESTOCABILIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

Entendida a relevância da energia elétrica para a economia do país e do mundo, cabe ressaltar uma especificidade que distingue esse insumo das demais fontes de energia. A principal característica do insumo eletricidade é que ele não é um produto estocável. Ele é fruto de processos simultâneos: geração, transmissão distribuição e utilização (ver figura 4).

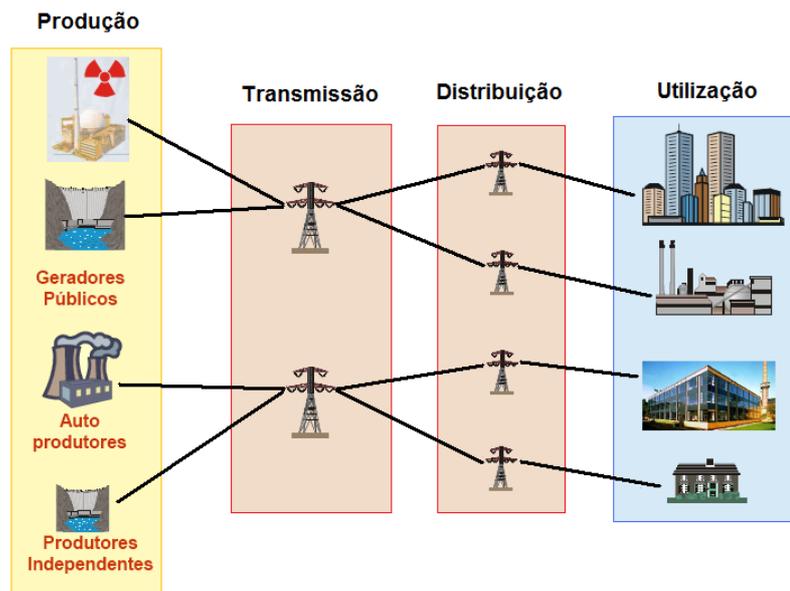


Figura 4 – Processos associados à oferta de energia elétrica

Em função disso, a indústria elétrica tem a necessidade de antecipação do comportamento da demanda para planejamento de suas operações, assim como todos os demais segmentos da indústria dependem desse planejamento para a realização de seus planos de investimentos de longo prazo. Segundo Queiroz (2007), essa especificidade somada aos volumes de investimentos e aos tempos de maturação necessários para ampliação da oferta de energia explicam a importância da coordenação dos diferentes operadores do sistema elétrico para reduzir custos e garantir a estabilidade e confiabilidade do sistema. Outro aspecto decorrente do anterior é a necessidade de utilização de ferramentas capazes de realizar um planejamento da demanda de energia com graus riscos e de incerteza apropriados.

Esta simultaneidade na produção e no consumo torna imprescindível o conhecimento do “Balanço Energético”, ou seja, a relação entre a oferta e sua estrutura e a demanda de energia e sua composição, tanto no passado como em seu futuro a médio e longo prazo.

1.3 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

A questão da oferta de energia é de simples solução: a capacidade instalada para a geração de energia é conhecida, bem como os investimentos em andamento e a disponibilidade de oferta futura, já que o mercado é regulado nesse sentido. A dificuldade consiste em estudar a outra variável do balanço energético, ou seja, a questão da demanda.

Este trabalho tem como objetivo geral descrever as características técnico–econômicas que influenciam a demanda de energia e a dinâmica da indústria elétrica e resumir as diferentes ferramentas de planejamento de demanda utilizadas pelos agentes dessa indústria.

A contribuição do mesmo é identificar e apresentar diferentes ferramentas que possam auxiliar as empresas elétrico-intensivas a realizarem análises complementares sobre o balanço energético dos sistemas e sub-sistemas de fornecimento de energia nas regiões em que operam ou têm interesse. Com isso, essas empresas podem utilizar os resultados dessas análises para avaliar os riscos e as oportunidades associadas aos investimentos, quer como consumidores, quer como produtores de energia elétrica.

Preliminarmente, executa-se um resumo sobre as correntes de pensamento e teorias econômicas que descrevem as relações entre energia, desenvolvimento e meio ambiente. Esta forma o capítulo 2, que é composto por duas breves revisões teóricas. A primeira tem como eixo central a recuperação dos pioneiros na formulação das questões ambientais e sua inserção na agenda da discussão do desenvolvimento econômico e dos fundadores das principais correntes em que se dividem aqueles que estudam os problemas ambientais atualmente.

Ela parte da economia clássica, destaca o pensamento de Frederick Soddy, Sergei Podolinski, o trabalho do Clube de Roma e identifica as correntes contemporâneas, como a economia ambiental neoclássica, associada à introdução da condição de sustentabilidade no modelo canônico de crescimento, as abordagens de Ignacy Sachs e Juan Martinez-Alier, o fundamentalismo sócio-ambiental de Alfred Schmidt e a economia ecológica, associada ao pensamento de Nicholas Georgescu-Roegen. Esta resenha também contém uma narrativa da evolução dos principais eventos que marcaram a institucionalização dos estudos dos impactos ambientais, assim como de suas relações com a energia e o desenvolvimento econômico. A segunda revisão trata de como as questões ambientais evoluíram no contexto norte-americano, onde são destacadas a abordagem dos custos da energia e a economia do aquecimento global.

Isto possibilita o entendimento de conceitos e fundamentos associados aos modelos de regulação e políticas públicas, assim como os tratados e acordos internacionais que impactam à indústria de energia. Em complemento ao resumo teórico do capítulo 2 são apresentados três capítulos distintos.

O capítulo 3 faz uma caracterização do mercado brasileiro de energia elétrica, apresentando a descrição do perfil de oferta e consumo de energia no país. Nele se realiza, sempre focando no Brasil e suas regiões, (i) um breve histórico da introdução e evolução da aplicação da energia elétrica; (ii) uma descrição sumária das crises e reformas dos marcos regulatórios do mercado de energia elétrica ; (iii) uma descrição do sistema elétrico nacional no que se refere às esferas da geração, transmissão, distribuição e comercialização e (iv) uma descrição quanto ao perfil e à evolução do consumo de energia.

O capítulo 4 faz uma análise de fatores técnico-econômicos que influenciam os cenários e as projeções de demanda de energia elétrica, contextualizados para o mercado de energia brasileiro. Este capítulo apresenta (i) uma visão sumária geral dos ingredientes necessários à

formulação de cenários e sua metodologia, com ilustrações gráficas; (ii) listas e representações gráficas dos indicadores adotados pela EPE no Brasil para os setores industrial, agropecuário, residencial e comercial, público e de transportes e (iv) uma apresentação e uma discussão de alguns resultados nacionais e internacionais sobre os parâmetros estruturais principais concernentes ao consumo per capita de energia, as elasticidades deste consumo, aos indicadores de intensidade energética e à substituição de energéticos.

O capítulo 5 visa uma análise de ferramentas de projeção: é elaborado um guia de referência onde são apresentadas e comparadas as principais ferramentas utilizadas para projeção da demanda de energia elétrica, incluindo sua fundamentação teórica. Este capítulo apresenta (i) uma classificação e uma lista de modelos de previsão de demanda de energia; (ii) uma apresentação sumária das metodologias envolvidas, das informações requeridas e (iii) alguma discussão das vantagens e desvantagens das mesmas.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 ENERGIA, MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO

2.1.1 A economia clássica e o meio ambiente

Até o início do século passado, a teoria econômica deixava em plano secundário as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente. As teorias existentes focalizavam a economia como um sistema fechado, isolado, que não intercambiava matéria ou energia com seu meio externo. Partia-se das premissas de que o meio ambiente seria uma fonte inesgotável de recursos para a produção de bens e que esse seria capaz de absorver todos os resíduos gerados pela produção e consumo decorrentes das trocas existentes no sistema econômico. Essa situação predominava até 1960, quando surgiram as correntes de pensamento da economia do meio ambiente.

Segundo Mueller (2007), o que levou os economistas clássicos a adotarem a hipótese de um meio ambiente passivo e benevolente foi o estágio ainda incipiente da industrialização européia na época em que as primeiras teorias econômicas foram elaboradas. Essa visão, entretanto não excluía a idéia da existência de limites ao crescimento econômico.

Conforme Mueller (2007), para Adam Smith, o acúmulo de capital decorrente do emprego crescente de uma força de trabalho cada vez mais especializada e produtiva poderia ser aplicado na expansão do emprego e na ampliação dos mercados até o limite de crescimento da população que poderia ser sustentado pela produção agrícola. “Smith considerava que o tamanho máximo da população era determinado pela capacidade da agricultura em alimentá-la”. Nesse fato residiria a limitação imposta pelo meio ambiente segundo os economistas clássicos.

Para os economistas que sucederam Smith, essa hipótese continuou a ser adotada, sendo que quando o limite de população fosse encontrado, a economia atingiria um estado estacionário, onde o aumento geral de preços decorrente da escassez de recursos provocaria um aumento dos salários nominais, queda nos lucros, redução do acúmulo de capitais e um conseqüente desincentivo ao crescimento da economia.

2.1.2 Os precursores da economia ambiental

Mueller (2007) comenta o trabalho de Soddy (1926)⁴ que criticou a economia clássica por elaborar teorias distorcidas relacionando crescimento econômico e meio ambiente. Suas críticas eram centradas na visão dos economistas de que os investimentos eram a mola mestra do crescimento econômico.

Segundo Alier (1992), Soddy dissentiu das opiniões de Keynes sobre o crescimento a longo prazo, expostas por este em seu texto sobre as Conseqüências Econômicas da Paz. Para Soddy, a riqueza real provinha do fluxo de energia solar, consumida à medida que chegava, e não podendo ser acumulada. Parte dessa riqueza tomava a forma dos chamados bens de capital, sendo medida como capital financeiro, isto é, como créditos contra a comunidade.

Se uma parte da renda é poupada e investida, isso aumentará o estoque de capital, quer dizer, a capacidade produtiva. Não existindo escassez de demanda (e, no curto prazo, a demanda terá sido estimulada pelo investimento), a produção aumentará, sendo possível, no longo prazo, remunerar esse investimento com uma parte do aumento da produção. A posição de Soddy, oposta à visão dos economistas da época, enfatizava que, o investimento consiste no gasto de recursos materiais e energéticos para a construção de instalações com o propósito de aumentar a capacidade produtiva.

Soddy afirmou que muitos investimentos não aumentam a capacidade produtiva num sentido físico, mas antes aumentam a destruição de recursos não renováveis. Ao mesmo tempo, crescem as dívidas decorrentes do capital empregado nos investimentos. Os economistas acreditavam que o desembolso de dinheiro para comprar bens de capital deveria incrementar a produção, de maneira a que tanto os juros (ou dividendos) como o principal da dívida pudessem ser pagos ao longo do tempo. Mas, de acordo com Soddy, com exceções tais como a construção de moinhos d'água, por exemplo, os investimentos não aumentavam realmente a capacidade

⁴ Frederick Soddy (1877-1956) foi um crítico da teoria econômica sem ser pessimista com relação ao progresso técnico. Trabalhou com Rutherford, em Montreal, nas investigações sobre desintegração atômica, e posteriormente em universidades escocesas. Soddy descobriu e deu nome aos isótopos, pelo que obteve o Prêmio Nobel de Química em 1921. Soddy apresentou suas críticas inicialmente por meio de conferências pronunciadas sem 1921 para estudantes da London School of Economics e do Birkbeck College da Universidade de Londres e posteriormente por meio dos livros: (1922), *Cartesian economics. The Bearing of Physical Science upon State Stewardship*. London, Hendersons e (1926, 2. ed. 1933), *Wealth, Virtual Wealth and Debt*. London, Allen & Unwin.

produtiva; antes aceleravam o esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, tanto na fabricação de bens de capital como em seu uso, uma vez instalados e em pleno funcionamento.

Mueller (2007) explica que o investimento não significaria a criação de riqueza, mas a mera transformação de uma forma de riqueza - os materiais nobres e a energia fóssil - em outra, os equipamentos e instalações que se degradam e que ajudam a acelerar a degradação da matéria e da energia. Para Soddy, em termos puramente físicos, sendo a economia contemporânea dependente de uso de recursos naturais e sendo esses limitados, seria impossível ampliar permanentemente o estoque de capital - a riqueza da economia. Ainda segundo Mueller (2007), outro precursor relevante seria Serjei Podolinski⁵, que tentou combinar a teoria do valor-trabalho com uma teoria do valor-energia, tentando harmonizar a teoria da mais-valia com os conceitos da física.

Encontramos em Oliveira (2006) o esclarecimento sobre a contribuição de Podolinski. O autor revisa as teorias de Carl Marx, que estabelecem que a despesa produtiva compreende duas frações: de uma parte as mercadorias já avaliadas em termos de trabalho e que engloba os meios de produção, máquinas, matérias primas, etc., e que ele chama de trabalho morto e então o valor é simplesmente reincorporado ao valor do novo produto; da outra, existe uma mercadoria muito particular que é a força de trabalho. Assim, é possível usar o trabalho abstrato para medir o valor do produto como os gastos da produção que é o valor da força de trabalho. Dessas duas medidas resulta a teoria da mais-valia e de uma taxa exprimindo a eficiência econômica do processo, que é o lucro do capitalista. Esta taxa é definida como a relação entre o sobre-valor e o dispêndio.

Na teoria de Marx, a taxa de mais-valia expressa a razão entre trabalho útil e o trabalho total, isto é, a força de trabalho podendo produzir mais trabalho do que ela custa. Esta é uma peculiaridade desta mercadoria especial que é a força de trabalho, a única que pode criar valor.

Segundo Mueller (2007), Podolinski demonstrou que parte da energia contida no consumo alimentar de um trabalhador agrícola empregada na execução do trabalho de lavoura tende a possibilitar a fixação em plantas de muito mais energia solar que possibilitou esse trabalho físico, incluindo a energia adicionada por meio de fertilizantes e outros insumos utilizados no processo. A quantidade de energia fixada a mais depende do desenvolvimento dos meios de produção, isto é, da tecnologia empregada. O trabalho de Podolinski tentou estabelecer relações

⁵ Sergei Podolinski (1850-1891) - naturalista ucraniano que tentou criar uma teoria social baseada na teoria do Capital de Carl Marx fundada sobre uma concepção energeticista do valor.

entre a produção agrícola e os insumos básicos empregados em termos físicos e de energia, apoiando-se nas duas primeiras leis da termodinâmica⁶ – com ênfase na Lei da Entropia – que só viriam a ser objeto de interesse dos economistas um século depois.

Segundo Oliveira (2006), no final do século XIX desenvolveu-se uma concepção teórica e até uma visão de natureza baseada na descoberta da lei da conservação da energia, em 1847. A busca de um saber unificado fez com que certos paradigmas das ciências da natureza influenciassem as ciências sociais, sendo que o conceito de energia convida a uma interpretação econômica, pois se assemelha a uma moeda de conversão nos diversos campos da física.

Ao lado deste aspecto contábil e de servir como uma moeda mecânica, o conceito de energia se relaciona com o homem tanto no papel de produtor ao movimentar forças, como na qualidade de consumidor, dependendo como as outras espécies biológicas de um aporte de energia. Assim seria até natural pensar que a energia pudesse fornecer uma medida comum a todos os bens, mercantis ou não, fundada sobre as condições de sua produção e sobre sua utilidade para o ser humano.

2.1.3 Eventos consolidadores

No final da década de 1960 começaram a surgir análises do impacto de restrições ambientais sobre o crescimento econômico e da escala da economia sobre o meio-ambiente. Foram desenvolvidos também os primeiros modelos neoclássicos de equilíbrio geral, considerando explicitamente os papéis do meio-ambiente de fornecer recursos naturais ao sistema econômico e de assimilar os resíduos e os rejeitos dos processos de produção e de consumo. Segundo Mueller (2007), essa evolução está associada principalmente a três eventos:

⁶ **Termodinâmica** é a parte da Física que estuda o comportamento e as transformações de Energia que ocorrem na natureza. Termodinâmica determina basicamente Três Leis, ou Princípios, Fundamentais: PRINCÍPIO DE CONSERVAÇÃO DE MASSA E ENERGIA, vulgarmente conhecido pela máxima: "nada se cria e nada se perde, tudo se transforma", diz respeito ao fato de que a Energia não pode ser criada ou destruída, mas sim convertida de uma forma para outra. De forma mais elaborada, diz que na transformação de Energia em Trabalho e vice-versa, as quantidades inicial e final de Energia e Trabalho são equivalentes, e que a soma total do potencial energético de um Sistema Fechado (que não sofre interferência externa, não perdendo nem ganhando energia para o exterior) é a mesma antes e depois de uma transformação; PRINCÍPIO DE DEGRADAÇÃO DE ENERGIA, vulgarmente chamado de Lei de Entropia, afirma que embora seja possível transformar Totalmente qualquer tipo de energia em Calor, não é possível transformar Calor Totalmente em qualquer outra forma de energia, pois parte dela volta a ser Calor, que é um estado de vibração molecular da matéria, e também é a forma mais degradada de energia (esse estado de movimento das partículas é totalmente desordenado, sendo chamado de ENTROPIA); PRINCÍPIO DO REPOUSO ABSOLUTO, que propõe que na temperatura de ZERO ABSOLUTO, 0º Kelvin, que equivale a cerca de -273,15º Centígrados no sistema Celsius, o estado de agitação molecular, a Entropia, tende a Zero. Esse princípio é útil para estabelecer fórmulas que permitam cálculos termodinâmicos, definindo um parâmetro que permite a medição da Entropia de um sistema.

- a) O aumento da poluição nas grandes cidades, que apresentavam claramente sinais de que a atividade econômica estava excedendo a capacidade do meio ambiente em assimilar os resíduos industriais;
- b) A crise do petróleo na década de 1970, resultado de muitos fatores, predominantemente da atuação da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), que incutiu na opinião pública a sensação de iminência de escassez de petróleo;
- c) O relatório do Clube de Roma⁷, encomendado a um grupo de cientistas do MIT, que trazia uma avaliação de longo prazo sobre a economia e sociedades mundiais baseada em modelos dinâmicos. Os resultados das simulações, publicados na obra *The Limits to Growth*, prediziam que antes dos meados do século XXI ocorreriam profundas desorganizações econômicas e sociais, decorrentes da ultrapassagem de certos limites físicos impostos pela restrição de recursos naturais e pela capacidade do meio ambiente em assimilar a poluição e se regenerar.

Segundo Cavalcanti *et. alli* (1994), as teses e conclusões básicas do Clube de Roma podiam, na época, serem resumidas nas seguintes premissas:

- a) Se as tendências da época para crescimento da população mundial industrialização, poluição, produção de alimentos e diminuição de recursos naturais continuassem imutáveis, os limites de crescimento seriam alcançados algum dia dentro dos cem anos seguintes, tendo como resultado um declínio súbito e incontrolável, tanto da população quanto da capacidade industrial.
- b) Seria possível modificar estas tendências de crescimento e formar uma condição de estabilidade ecológica e econômica de tal modo que as necessidades materiais básicas de cada pessoa na Terra seriam satisfeitas e que cada pessoa tenha igual oportunidade de realizar seu potencial humano individual.
- c) Para alcançar a estabilidade econômica e ecológica, era proposto o congelamento do crescimento da população global e do capital industrial (tese do crescimento zero).

⁷ O **Clube de Roma** é um grupo de pessoas ilustres que se reúnem para debater um vasto conjunto de assuntos relacionados a política, economia internacional e , sobretudo, ao meio ambiente e o desenvolvimento sustentável. Foi fundado em 1968 por Aurelio Pececi, industrial e acadêmico italiano e Alexander King, cientista escocês. Tornou-se um grupo muito conhecido em 1972 devido à publicação do relatório elaborado por uma equipe do MIT, contratada pelo Clube de Roma e chefiada por Meadows, intitulado *The Limits to Growth*, que tratava essencialmente de **problemas cruciais** para o futuro desenvolvimento da humanidade tais como: energia, poluição , saneamento, saúde, ambiente, tecnologia , crescimento populacional dentre outros. Utilizando modelos matemáticos o MIT chegou a conclusão que o Planeta Terra não suportaria mais o crescimento populacional devido à pressão sobre os recursos naturais e energéticos e o aumento da poluição, mesmo considerando o avanço das tecnologias.

O relatório do Clube de Roma teve repercussão internacional, principalmente, no direcionamento do debate caloroso que ocorreu, no mesmo ano de 1972, na Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, conhecida como Conferência de Estocolmo. Surgiram, imediatamente, várias críticas em diversas áreas. Entre os teóricos que defendiam as teorias do crescimento neoclássicas tem-se o Prêmio Nobel em Economia, Robert M. Solow, que criticou com veemência os prognósticos catastróficos do Clube de Roma.

Em 1950 Solow criou um **modelo matemático**⁸ que demonstrava como vários fatores interagem, contribuindo para criar o crescimento econômico sustentado num país, demonstrando que os avanços no ritmo de progresso tecnológico contribuem mais para o crescimento econômico do que o aumento dos capitais ou da força de trabalho.

Solow sustentava que esses avanços seriam suficientes para criar mecanismos de adaptação na relação entre o meio ambiente e o sistema econômico, possibilitando a substituição de insumos escassos e o desenvolvimento de mecanismos de mitigação de impactos ambientais prevenindo os colapsos econômico-sociais preditos pelos cientistas do MIT.

Também segundo Cavalcanti et. alli (1994), intelectuais de países em desenvolvimento também se manifestaram de forma crítica às conclusões do Clube de Roma. É destacado o papel de Mahbub ul Haq⁹, que em seu livro *A Cortina da Pobreza* (1976) levantou a tese de que as sociedades ocidentais, depois de um século de crescimento industrial acelerado, estavam tentando bloquear o caminho de desenvolvimento aos países pobres, justificando essa prática com uma “retórica ecologista”.

⁸ O modelo de Solow-Swan é um modelo neo-clássico do crescimento, que estuda o crescimento da economia de um país em um longo período. Ele apresentou como fonte de crescimento econômico: a acumulação de capital, o crescimento da força de trabalho e as alterações tecnológicas. Robert Solow preocupou-se em demonstrar que o produto *per capita* é uma função crescente da razão entre capital e trabalho. A força de trabalho cresce a uma taxa natural (exógena ao modelo) então é necessário uma quantidade de poupança per capita, que deve ser utilizada para equipar os novos trabalhadores com uma quantidade de capital per capita K, igual a dos outros trabalhadores. Outra parte da poupança deve ser utilizada para garantir a não depreciação do capital. A primeira parte da poupança citada acima para equipar os novos trabalhadores é chamada "alargamento do capital" (expansão da força de trabalho) e a poupança utilizada para aumentar a razão capital-trabalho se chama "aprofundamento do capital". Para alcançarmos a situação de *steady state* (estado estável) é necessário que a poupança *per capita* seja igual ao alargamento do capital. O capital por trabalhador K, tem um rendimento decrescente então chegando a esse ponto de equilíbrio não adianta investir mais no trabalhador que está na situação da poupança *per capita* igual ao alargamento do capital porque não se estará maximizando a produtividade deste trabalhador. Assim o condicionante do crescimento econômico é a taxa de crescimento da força de trabalho.

⁹ Mahbub ul Haq (1934 - 1998) foi um economista paquistanês e um dos criadores do Índice de Desenvolvimento Humano, que tem sido usado desde 1990 pela Organização das Nações Unidas para seu Relatório Anual de Desenvolvimento Humano.

2.1.4 O desenvolvimento sustentável

Apesar da corrente neoclássica manter sua força com as proposições de Solow, o impacto do Relatório do Clube de Roma gerou eco em diversos países e na própria ONU, tendo sido iniciada a formação de estruturas institucionais tanto nas Nações Unidas quanto em outras organizações internacionais.

Uma das vezes que passou a defender a bandeira do conceito de *ecodesenvolvimento* para caracterizar uma concepção alternativa da política de desenvolvimento proposta por Solow foi Ignacy Sachs¹⁰, que segundo Cavalcanti et. alli (1994) formulou os princípios básicos desta nova visão do desenvolvimento:

- a) satisfação das necessidades básicas,
- b) solidariedade com as gerações futuras,
- c) participação da população envolvida,
- d) preservação dos recursos naturais e do meio ambiente em geral,
- e) elaboração de um sistema social garantindo emprego, segurança social e respeito a outras culturas e
- f) desenvolvimento e manutenção de programas de educação.

Segundo Mueller (2007), o conceito de desenvolvimento sustentável envolve uma conceituação bem mais abrangente de capital, compreendendo não apenas o capital produzido e acumulado pelo sistema econômico, mas também o capital humano, social e natural. Para que haja desenvolvimento sustentável, o que deve ser preservado é o estoque de capital total. Institucionalmente, cabe destacar os seguintes eventos que colaboraram para o desenvolvimento do conceito de desenvolvimento sustentável:

- **Declaração de Cocoyok (1974)** - resultado de uma reunião da Conferência das Nações Unidas sobre Comércio-Desenvolvimento (CNUCD) e do Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas (PMENU) em que se concluiu que: a explosão populacional é uma das causas da falta de recursos; a destruição ambiental na África, Ásia e América Latina é também o resultado da pobreza que leva a população carente à superutilização do solo e dos recursos vegetais; os países industrializados contribuem para os problemas do subdesenvolvimento por causa do seu nível exagerado de consumo. A principal

¹⁰ **Ignacy Sachs**, economista polonês, naturalizado francês, referido como "ecosocioeconomista" por sua concepção de desenvolvimento como uma combinação de crescimento econômico, aumento igualitário do bem-estar social e preservação ambiental. O termo **ecosocioeconomia** foi cunhado por Karl William Kapp, economista de origem alemã e um dos mais brilhantes inspiradores da ecologia política nos anos 1970.

conclusão desses encontros foi de que os países industrializados teriam que baixar seu consumo e sua participação desproporcional na poluição da biosfera.

- **Relatório Dag-Hammarskjöld (1975)** – aprofundamento das posições de Cocoyok por meio de um estudo com participação de pesquisadores e políticos de 48 países, com a participação do UNEP e mais treze organizações da ONU. Este relatório radicaliza questões sobre o abuso de poder e sua interligação com a degradação ecológica, demandando mudanças nas estruturas de propriedade no campo, como uma das possíveis soluções para o problema de degradação ambiental nos países em desenvolvimento.
- **Relatório Brundtland (1987)** - no início da década de 1980, a ONU passou a conduzir de forma estruturada o debate das questões ambientais. Indicada pela entidade, a primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, chefiou a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, para estudar o assunto. O documento final desses estudos chamou-se Nosso Futuro Comum ou Relatório Brundtland.

O Relatório Brundtland enfatiza a interligação entre economia, tecnologia, sociedade e política e chama também atenção para uma nova postura ética, caracterizada pela responsabilidade tanto entre as gerações quanto entre os membros contemporâneos da sociedade atual. O relatório apresenta uma lista de medidas a serem tomadas no nível do Estado nacional. Entre elas:

- a) limitação do crescimento populacional;
- b) garantia da alimentação a longo prazo;
- c) preservação da biodiversidade e dos ecossistemas;
- d) diminuição do consumo de energia e desenvolvimento de tecnologias que admitem o uso de fontes energéticas renováveis;
- e) aumento da produção industrial nos países não industrializados à base de tecnologias ecologicamente adaptadas;
- f) controle da urbanização selvagem e integração entre campo e cidades menores;
- g) as necessidades básicas devem ser satisfeitas;
- h) as organizações do desenvolvimento devem adotar a estratégia do desenvolvimento sustentável;
- i) a comunidade internacional deve proteger os ecossistemas supranacionais como a
- j) Antártica, os oceanos, o espaço;
- k) guerras devem ser banidas;
- l) a ONU deve implantar um programa de desenvolvimento sustentável.

2.1.5 As correntes da economia do meio ambiente

A partir da análise de Cavalcanti et. alli (1994) e de Mueller (2007), pode-se subdividir as tendências atuais do pensamento econômico-ambiental em quatro correntes principais, conforme Quadro 1:

Quadro 1 – Correntes de pensamento da Economia do Meio Ambiente

<i>Escola / Descrição</i>	<i>Representantes</i>	<i>Hipótese Ambiental</i>	<i>Foco predominante de análise</i>
<i>Economia ambiental neoclássica</i> - desenvolvida principalmente nos Estados Unidos e em centros de pesquisa europeus (Londres, Amsterdã e Paris), a partir das décadas de 1960 e 1970. Utiliza-se de técnicas de análises de custos / benefícios e insumo / produto na avaliação tanto das políticas ambientais, como nas questões ligadas às economias da poluição ou dos recursos naturais.	David Pearce, William Oates, William Baumol, Patrick Point, Brigitte Desaignes e Peter Nijkamp.	Meio ambiente essencialmente neutro.	Centrada na economia de países ou regiões desenvolvidas.
Abordagens desenvolvimentistas da economia do meio ambiente - trata mais especificamente de questões relacionadas ao desenvolvimento. Promove a análise dos estilos ou modelos de desenvolvimento, procurando desenvolver propostas alternativas para os chamados países dependentes ou do Terceiro Mundo.	Ignacy Sachs, Osvaldo Sunkel, Nicolo Gligo, Pablo Gutman e Juan Martínez-Alier.	Meio ambiente tende a reagir em face de fortes intervenções do homem.	Análise centrada em aspectos da questão ambiental em países ou regiões pobres.
Marxismo “verde” ou Fundamentalismo Socioambiental - de cunho mais abstrato que de deduções mais empíricas, a noção de ambiente da análise marxista da natureza aparece como o ambiente das relações de produção e de trabalho. Não existe um desenvolvimento da teoria econômica marxista do meio ambiente tal como ocorre na economia ambiental neoclássica. Ressalta-se a natureza como fornecedora originária de meios para qualquer processo produtivo humano.	Alfred Schmidt	Meio ambiente essencialmente neutro.	Análise centrada em aspectos da questão ambiental em países ou regiões pobres.
Economia ecológica - mais ampla e radical de todas as correntes, em termos de proposta metodológica, a economia ecológica busca conciliar métodos quantitativos como os formulados dentro da economia ambiental com uma proposta mais abrangente, que implicaria em ampliar as noções de sustentabilidade usualmente empregadas. Utiliza-se, para isso, principalmente do conceito termodinâmico de entropia.	Nicholas Georgescu-Roegen, Herman Daly, Robert Costanza, Richard Norgaard.	Meio ambiente tende a reagir em face de fortes intervenções do homem	Também chamada de economia da sobrevivência, tem sua análise centrada na capacidade das gerações futuras em atender suas necessidades.

As principais escolas da economia do meio ambiente apresentam divergências no que tange à importância efetiva do capital natural para o desenvolvimento sustentável. Parte delas se vale do conceito de sustentabilidade fraca (hipótese ambiental tênue), segundo o qual o capital e o produto de uma economia têm como crescer de forma quase que ilimitada, basicamente porque o capital natural pode ser substituído por outras formas de capital. As outras correntes se apóiam no conceito de sustentabilidade forte (hipótese ambiental aprofundada), não aceitando a possibilidade de substituição sem restrições.

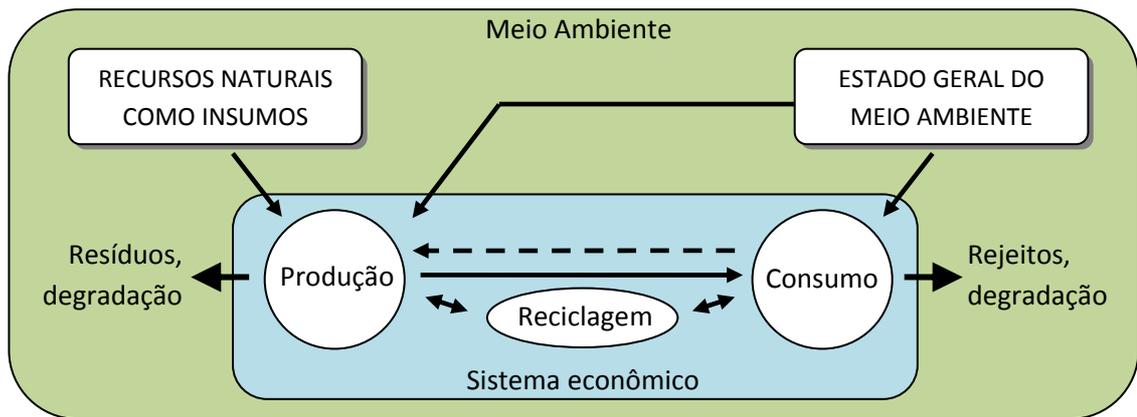


Figura 5 - Relações entre o sistema econômico e o meio ambiente

A figura 5 proposta por Mueller (2007) mostra o sistema econômico interagindo explicitamente com o meio ambiente. Esse fornece recursos essenciais à produção e recebe do sistema econômico fluxos de rejeitos e resíduos responsáveis em grande parte por sua degradação. As correntes de pensamento de origem neoclássica se concentram nos fenômenos que ocorrem dentro da caixa, ignorando os impactos do sistema econômico sobre o meio ambiente.

As escolas baseadas na hipótese ambiental tênue permitem que a análise se volte para as relações que ocorrem dentro da caixa, com relações apenas superficiais com o meio ambiente. Para formulações com base nessa variante, a degradação ambiental é de interesse não pelo que possa estar ocorrendo com o meio ambiente propriamente dito, mas pelo reflexo de alterações ambientais sobre o bem-estar dos indivíduos em sociedade. Já as escolas baseadas na hipótese ambiental aprofundada trata a economia como um sub-sistema do meio ambiente.

2.1.6 A Economia da Energia

A Revolução Industrial, que começou na Inglaterra no século XVIII, trouxe uma série de mudanças tecnológicas, das quais destaca-se a substituição da habilidade e do esforço humano pelas máquinas, em especial a introdução de máquinas para transformar o calor em trabalho, dando ao homem acesso a um suprimento novo e quase ilimitado de energia.

Segundo Queiroz (2007) apud Landes (1994), é fundamental observar que o desenvolvimento da indústria mecanizada teria sido impossível sem a existência de uma fonte de energia mais vigorosa que a representada pela força dos homens e dos animais e, ao mesmo tempo, independente dos caprichos da natureza – responsáveis pela disponibilidade de algumas fontes da época, como a energia eólica e a energia hidráulica. A resposta foi encontrada em um novo conversor de energia – a máquina a vapor – e na exploração de um combustível já conhecido: o carvão mineral. Desde então, ter acesso à energia passou a ser sinônimo de progresso, desenvolvimento econômico e social e bem-estar; ao passo que não ter acesso a ela passou a representar o atraso, a pobreza e o desconforto.

A Economia da Energia trata de tecnologias e de commodities, em particular, a eletricidade, que apresenta propriedades que a colocam em um universo particular e específico. Os serviços prestados por esse insumo apresentam uma grande diversidade: iluminação, climatização de espaços, locomoção de pessoas e mercadorias, produção de força-motriz ou redução de minerais.

A política e a economia de energia de cada uma dessas cadeias de produção têm, portanto, fundamentos técnicos bastante diferentes. Portanto, a pedra angular da economia da energia não repousa sobre a ciência econômica, mas sobre a física. Embora isso não a torne um objeto estranho à economia, inevitavelmente a leva para um universo particular, onde a especificidade técnica desempenha um papel muito importante.

Nesse universo, o conhecimento técnico é igualmente crucial para a compreensão das relações econômicas que se estabelecem no seu interior, pois todas as formas de energia podem ser consideradas, teoricamente, substitutas próximas entre si. Essa conversibilidade, assim como as condições nas quais ela ocorre, implicam, no plano econômico, nos preços relativos das fontes de energia e, no plano da Física, nos dois princípios da termodinâmica que fundam a ciência da energia.

A contribuição da Economia para esse estudo se dá na análise e compreensão desses atributos de flexibilidade e conversibilidade, que dependem fundamentalmente das condições econômicas da oferta e da demanda de energia.

Além disso, a produção, o transporte, a distribuição e a comercialização de energia são atividades econômicas que necessitam de preços adequados para remunerar os pesados investimentos, de longo tempo de maturação, realizados pelos agentes econômicos. Como em outros mercados, o problema de equilíbrio de oferta e de demanda está presente, com duas especificidades adicionais.

A primeira está relacionada com a dotação de recursos energéticos, repartida de forma desigual entre os países. A segunda é inerente à consecução dos objetivos de crescimento e de desenvolvimento econômico e social; ou seja, não existe país de elevado grau de desenvolvimento econômico que tenha uma parcela da população sem acesso às fontes de energia. Desde o início da organização industrial e empresarial do setor energético, essas duas especificidades legitimam a ação do Estado neste setor, desenhando políticas específicas que visam incentivar determinados usos de energia e reduzir disparidades regionais.

Por se tratar fundamentalmente de uma área da Economia Aplicada, a Economia da Energia constitui um terreno fértil à utilização dos ensinamentos teóricos e empíricos da Ciência Econômica. Em suma, a Economia da Energia trata de temas interdependentes, que contemplam uma série de relações econômicas fundamentais que envolvem empresas de energia, países – representados pelos Estados nacionais –, e consumidores. Estes temas estão associados:

1. às relações entre a oferta e a demanda de energia e ao crescimento econômico sustentável;
2. às condições econômicas e geopolíticas que governam as relações comerciais e de interconexão física da infra-estrutura de energia entre diferentes países;
3. ao processo de formação de preços e aos critérios que presidem as decisões de financiamento, de investimento e de consumo de energia;
4. ao papel do Estado na formulação das políticas de oferta e de demanda, do regime fiscal e/ou com a criação de empresas estatais;
5. ao papel das estratégias empresariais e das inovações tecnológicas que configuram, em última instância, um determinado padrão de concorrência nas indústrias energéticas.

2.2 UMA CONTEXTUALIZAÇÃO NO MERCADO NORTE AMERICANO

Como chegamos a uma situação em que o equilíbrio entre oferta e procura é tão frágil a ponto de o clima, para não falar de atos de sabotagem ou em insurreições locais, ser capaz de provocar impactos significativos no fornecimento mundial de energia e, portanto, na expansão da economia global? (Greenspan, 2008, p430).

2.2.1 A escassez e o custo dos insumos energéticos

Ao realizar uma análise econômica dos principais fatos e tendências que impactam a economia global, Greenspan (2008) dedica todo um capítulo ao que chama de “o problema da eterna escassez de energia”. Embora traga fatos do mercado norte americano, os eventos e análises citados servem de ilustração, num contexto atual, para a revisão teórica realizada.

O preço do petróleo tem sofrido uma escalada contínua desde o ocorrido em 11 de setembro em Nova Iorque, com a ascensão acelerada pelas guerras subsequentes travadas no Oriente Médio. No entanto, essa ascensão tem passado por momentos de intensa volatilidade, ocasionada por eventos climáticos na região do Mar do Caribe, como os furacões Katrina e Rita em 2005, que impactara a capacidade de produção de petróleo de importantes campos norte-americanos. Contínuos anúncios de descobertas de novas reservas em todo mundo não foram suficientes para aplacar a disparada de seu preço até o início de 2008¹¹, pois se tinha a percepção de que a tecnologia necessária para extrair o combustível nas condições em que os campos são descobertos não tem sido desenvolvida com a velocidade esperada.

A camada amortecedora entre oferta e consumo se estreitou ao longo dos últimos anos com o aumento de demanda pelo produto, a ponto de ter dificuldades em absorver quaisquer eventos de impacto na mídia, como ameaças de paralisações da produção provocadas por crises políticas ou movimentos armados. Os investidores e especuladores, participantes recentes do mercado de petróleo mundial no movimento de corrida às commodities contribuíram para a diminuição dessa camada protetora e aumento dos preços até meados de 2008. Nesse período, as vendas de petróleo a investidores por meio de contratos futuros deixaram muitas empresas sem

¹¹ No final de 2008, os preços do petróleo finalmente cederem em face às perspectivas de recessão ou desaceleração da economia mundial. Nem novos movimentos de corte da produção pela OPEP foram suficientes para cortar o ritmo de queda, ficando clara a percepção do mercado de investidores da estreita relação entre o ritmo de crescimento ou recessão econômico e a demanda de energia. Cabe ressaltar que, além da queda do valor da commodity, o valor de mercado das ações de companhias de petróleo também se desvalorizou tanto pela perspectiva de níveis menores de demanda e de faturamento / lucro quanto pela dificuldade prevista em se investir na exploração dos novos campos descobertos dada a redução do valor de mercado da commodity.

cobertura de hedge e expostas a surtos de demanda. Independente das flutuações do preço no mercado, em todo o mundo, a elevação em longo prazo dos preços do petróleo e as expectativas de escassez têm reforçado o interesse na expansão do uso do carvão, das usinas nucleares, do gás natural e de fontes de energia renováveis, tais como energia elétrica, usinas de reciclagem de resíduos e energia eólica e solar.

Diferentemente do Brasil, que conta com extensos recursos hídricos que privilegiam a instalação e uso de usinas elétricas, os Estados Unidos possuem grandes reservas de carvão, que é uma das fontes de energia mais baratas e poluidoras utilizada amplamente por países que apresentam rápido crescimento econômico para a produção de energia elétrica. A queima do carvão, no entanto, tem sido limitada por questões ligadas ao aquecimento global e a outros danos ambientais. No entanto, tanto pela falta de mecanismos de regulação como pela favorável relação custo-benefício, o carvão continuará sendo utilizado em larga escala tanto nos Estados Unidos, Europa e principalmente na Ásia para geração de energia elétrica¹².

A energia nuclear é uma alternativa óbvia para o carvão na geração de energia elétrica, pois usinas nucleares não emitem gases e não contribuem para o efeito estufa. No entanto, além do receio relacionado a acidentes, e apesar dos investimentos em tecnologia e segurança nos últimos anos, não existe ainda uma solução adequada para armazenamento de outro tipo de poluição: o combustível utilizado e os resíduos radiativos gerados nas usinas.

O gás natural tem uma indústria relativamente nova. Trata-se de um combustível associado ao petróleo, com demanda de utilização apresentando crescimento acelerado em função das possibilidades criadas de aplicação na indústria e da possibilidade de seu uso como fonte limpa de energia elétrica. Em 2006, segundo dados do MME (figura 2 página 15), o gás natural correspondia a aproximadamente 20% da oferta interna global de energia, enquanto que o petróleo representava 35%.

No entanto o gás natural ainda possui dificuldades relacionadas à logística de distribuição e dificuldades na extração de novas reservas descobertas, a exemplo do que ocorre no caso do petróleo. Além disso, tanto em um caso quanto no outro, não se sabe qual a extensão das

¹² A utilização de processos e tratamento já empregados da indústria siderúrgica para a obtenção do coque, com a produção de diversos derivados do carvão a partir dos gases emitidos em seu processo de queima e redução – os produtos “carboquímicos” – tem sido utilizada em alguns dos países dessa região para reduzir o impacto da utilização do carvão para geração de energia elétrica. Esses processos têm recebido a denominação de “Clean Coal Technology”.

reservas existentes. O provável é que antes que se manifestem os derradeiros sinais da exaustão das reservas, as forças do mercado e as conseqüentes pressões sobre os preços levem ao desenvolvimento de alternativas economicamente viáveis de produção de energia em larga escala.

Face à situação que se desenha, o ideal seria o desenvolvimento de tecnologias que desvinculassem a emissão de carbono da produção de energia e das atividades produtivas. Mas, dificilmente o mundo irá deixar a tecnologia baseada em petróleo, gás e carvão enquanto houver reservas disponíveis colocando a estabilidade do crescimento da economia mundial em constante risco.

2.2.2 A economia do aquecimento global

O efeito do aquecimento global tem sido um dos mais comentados pela comunidade científica, política e econômica na década atual. Encomendado pelo Ministério das Finanças Britânico, o relatório realizado pelo ex-economista chefe do Banco Mundial Nicholas Stern, conhecido como Relatório Stern, considera que as Alterações Climáticas são a maior e mais abrangentes “falhas de mercado” jamais vista na história da humanidade. Segundo Stern (2007), os benefícios de uma ação forte e precoce para bloquear o aquecimento global ultrapassam consideravelmente os custos. A falta de ações consistentes nas próximas décadas poderia criar riscos de ampla desarticulação da atividade econômica e social, mais tarde neste século e no próximo, numa escala semelhante à que está associada com as grandes guerras e a depressão econômica da primeira metade do século 20. E será difícil ou impossível reverter estas mudanças.

As contas do Relatório Stern referem-se aos dados climáticos mais confiáveis utilizados para avaliar o impacto propriamente econômico: o que aconteceria, em termos de custos, ao se verificarem as projeções climáticas já razoavelmente seguras, calculando-se os impactos mais prováveis, sem desconhecer o grau inevitável de incerteza. Trata-se da primeira avaliação abrangente da “conta climática”.

A análise custo-benefício proposta pelo relatório aponta para um ganho líquido, em termos meramente econômicos, de U\$ 2,5 bilhões, se o problema das Alterações Climáticas for enfrentado desde já, reduzindo-se a intensidade de carbono da economia, ou seja, reduzindo-se as emissões de CO₂ associadas às atividades humanas. Segundo Stern, mantendo-se o “*business as usual*” - BAU, os prejuízos à economia global podem ser gigantescos, só comparáveis aos enfrentados nos períodos de Guerras Mundiais.

Utilizando os resultados de modelos econômicos formais, o Relatório Stern inclui estimativas que indicavam que se não houvesse ações por parte dos governos, o custo geral e os riscos associados à mudança climática seriam equivalentes à perda de pelo menos 5% do PNB Global a cada ano. Se uma quantidade maior de potenciais riscos e impactos fosse considerada, as perdas poderiam ser superiores a 20%. Para enfrentar o problema, Stern acredita ser necessária uma forte cooperação internacional e uma regulação forte do mercado.

O problema do efeito estufa e suas possíveis conseqüências vêm sendo tratado de forma global desde a reunião no Rio de Janeiro, em 1992, durante a Convenção da ONU sobre Mudanças Climáticas. As disposições da Convenção do Clima entraram formalmente em vigor a partir de março de 1994, e desde então os países signatários (partes) vêm se reunindo periodicamente em conferências para tratar o assunto e tentar encontrar soluções para o problema.

A Conferência entre Partes realizada em Kyoto em 1997 destaca-se como uma das mais importantes, tendo estabelecido um acordo que define metas de redução das emissões de gases estufa. O Protocolo de Kyoto, como ficou conhecido, estabelece que os países industrializados, entre 2008 e 2012 (primeiro período do compromisso), devem reduzir suas emissões em 5,2% abaixo dos níveis observados em 1990.

O Protocolo de Kyoto recebeu a aderência de países importantes no cenário mundial, tais como a Inglaterra, que já reduziu suas emissões em 14% em relação a 1990 e cresceu 40% nesse mesmo período. O Reino Unido declarou no início de 2007 a decisão do país de cortar suas emissões de gases de efeito estufa em 20% até 2020 e em 60% até 2050, além de fazer do clima uma prioridade de governo. O país, preocupado com sua competitividade e interesses econômicos, está liderando a disseminação dessa iniciativa por toda a União Européia, acenando com a possibilidade de adoção de metas mais rigorosas na redução da emissão de gases estufa, desde que haja comprometimento global.

Esse enrijecimento nas metas de redução em países europeus aponta para uma tendência de que os países em desenvolvimento também sofram conseqüências. Para a União Européia, o Protocolo de Kyoto não seria mais adequado, uma vez que não inclui metas obrigatórias de redução de emissões de gases de efeito estufa para países em desenvolvimento. Barreiras não-

tarifárias já são impostas pela União Européia ao resto do mundo, como a adoção de normas técnicas baseadas na análise do ciclo de vida de um produto e a obtenção do “Selo Verde”, com descrição de quanta energia cada produto gasta desde a exploração da matéria-prima até seu ciclo final de vida.

Segundo Greenspan (2008), há dúvidas de que o protocolo de Kyoto gere consenso mundial sobre alguma forma de penalidade pela emissão de gases estufa. Os sistemas de venda de créditos de carbono ou impostos sobre emissão de carbono tendem a ser ineficazes face ao impacto causado pela restrição econômica provocada pela falta de energia.

Índia e China, que enfrentam um enorme problema de demanda de energia para sustentar seus índices de crescimento e desenvolvimento econômico possuem em seus planos a construção até 2012 de aproximadamente 800 novas plantas de geração termo-elétrica à base de carvão. O próprio governo norte americano planeja a construção de 80 novas plantas à base de carvão para os próximos cinco anos. A geração de gás carbônico oriunda das novas plantas na China e Índia irá representar cerca de cinco vezes a redução proposta pelos termos do acordo de Kyoto, o que demonstraria sua ineficácia para combate ao aquecimento global e para defesa dos interesses econômicos dos países signatários.

Segundo o *World Bank* (2007), mesmo que os países em desenvolvimento cresçam apenas entre 1,5 e 2% pelos próximos 25 anos, um cenário bastante modesto, os problemas relacionados à globalização serão mantidos, incluindo os relacionados ao impacto ambiental. Um crescimento menor que essa taxa também causaria problemas, uma vez que os países com poucos recursos ficariam mais relutantes em assumir compromissos multilaterais, como é o caso de iniciativas semelhantes ao Protocolo de Kyoto. Um crescimento mais acelerado, embora auxilie na resolução de problemas relacionados à distribuição de renda e a ajustes no mercado de trabalho, causaria impactos potenciais maiores ao meio ambiente. No entanto, com taxas maiores de crescimento é provável que haja recursos de capital para investimentos em novas tecnologias que minimizem esses impactos potenciais, trazendo, no final, impactos menores do que aqueles causados pelo crescimento lento.

3 O MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

3.1 A UTILIZAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Foram os seguintes os primeiros eventos que marcam a introdução do uso da energia elétrica no Brasil ¹³:

- 1879: Iluminação por energia elétrica da Estação Central da Ferrovia D. Pedro II (Central do Brasil);
- 1883: Substituição da iluminação pública à gás pela iluminação elétrica em Campos dos Goytacazes (cidade do Rio de Janeiro);
- 1883: Entrada em operação em Diamantina de uma central hidrelétrica para fornecer energia a uma mineradora;
- 1889: Inauguração da Usina de Marmelos, que abastecia uma fábrica de tecidos e supria a cidade de Juiz de Fora com energia elétrica.

No início do século XX, as iniciativas no campo de geração de eletricidade eram privadas, de abrangência restrita e promovidas por empresários cujas atividades empreendidas se realizavam próximas às áreas que seriam beneficiadas com os serviços de geração. Essas iniciativas ocorreram predominantemente nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais.

Segundo Queiroz (2007), a relação que se estabeleceu entre o acesso à energia elétrica e o desenvolvimento econômico estava associada às iniciativas desses empreendedores: o desenvolvimento determinava o acesso à eletricidade; posteriormente, a relação de causalidade se invertia, ou seja, com o desenvolvimento de novas tecnologias de produção e necessidades de ganhos de escala, o acesso à eletricidade passou a ser condição necessária para o desenvolvimento.

Num primeiro momento os investimentos em geração eram liderados no Brasil pelas indústrias que mais acumulavam capital na época: usinas de açúcar, moinhos de cereais e indústrias de fiação e tecelagem. Na medida em que o consumo de energia cresceu, os investimentos em geração começaram a atrair capitais externos e já em 1912, a Brazilian Transaction, Light and Power Company Ltda., holding formada por empresas canadenses

¹³ Informações obtidas do **Centro de Memória da Energia da Eletrobrás**.

ocupava os mercados do Rio de Janeiro e São Paulo. Segundo Leite (1997), em 1883 a capacidade de geração era de 52 kW; em 1980 ela atingiu a cifra de 1.267 kW; em 1900 alcançou 10.376 kW; em 1910 chegou a 152.401 kW e em 1920 ultrapassou 367.000 kW.

3.2 O INÍCIO DA INTERVENÇÃO DO ESTADO

Os movimentos de aporte de investimentos internacionais continuaram na década de 1920 e em 1927, a American and Foreign Power (AMFORP) iniciou suas atividades no país adquirindo o controle de dezenas de concessionárias que atuavam no interior de São Paulo. Três anos mais tarde, a AMFORP já controlava ativos no Rio de Janeiro, Minas Gerais e Rio Grande do Sul. Segundo Leite (1997), em 1930 Light e AMFORP detinham 55% da capacidade elétrica instalada no Brasil. Esse grau de controle foi um dos fatores, segundo Queiroz (2007), que levaram ao movimento de intervenção do estado da energia.

Promulgado em 1934 pelo Presidente Getúlio Vargas, o Código de Águas assegurava ao poder público a possibilidade de controlar rigorosamente as concessionárias de energia elétrica. Os aproveitamentos hidráulicos passaram a estar sujeitos à concessão ou à autorização do governo federal – sendo reconhecidos os direitos das empresas já estabelecidas - e as tarifas passaram a ser estabelecidas em moeda nacional, fixando-se em 10% a remuneração do capital investido.

Segundo Carmargo (2005) os efeitos da intervenção do estado foram sentidos já em 1942, quando em 5 de março foi decretado o primeiro racionamento de energia que impactou nas economias de São Paulo e Rio de Janeiro, o primeiro de uma série de muitos que se seguiram principalmente no Rio de Janeiro nas décadas de 1940 e 1950, tanto que nesse estado foi criada em 1945 a primeira empresa de eletricidade de âmbito federal, a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF.

Nas décadas de 1950 a 1960 foi crescente o nível de intervenção e de investimento do setor público no mercado de geração e distribuição de energia elétrica. Esse movimento é explicado, segundo Queiroz (2007), a partir de dois aspectos principais:

- a) exigências e pressões do parque industrial nacional para expansão do fornecimento de energia elétrica possibilitando o crescimento da atividade produtiva;

- b) necessidade de intervenção de um poder regulador para conduzir as atividades de planejamento dos investimentos e controle da operação do sistema.

Segundo Queiroz (2007), o modo de organização baseado na constituição de monopólios verticalizados, com tarifas reguladas pelo custo do serviço, foi o pilar central do sucesso da expansão da indústria elétrica brasileira. A coordenação centralizada da operação e da expansão do parque instalado viabilizou a exploração de significativas oportunidades de economias de escala e de escopo oferecidas pela estratégia industrial à interconexão de mercados. O setor elétrico brasileiro apresenta um conjunto de especificidades que condicionam os movimentos estruturação do setor:

- a) importância da geração hidráulica, o que compõem uma necessidade de coordenação dos fluxos de energia gerados em centrais elétricas, que são fisicamente dependentes das condições das bacias hidrográficas;
- b) diversidade regional, impondo a necessidade de constituição de dois grandes sistemas interligados e a manutenção dos chamados sistemas isolados, especialmente na região Norte do país;
- c) decorrente do aspecto anterior, existência de um grande número de empresas com direitos de propriedade repartidos entre o governo federal e os governos estaduais;
- d) as disparidades regionais e a dimensão territorial sempre requereram investimentos elevados em transmissão.

Assim, conforme ilustrado no quadro 2, que apresenta um resumo histórico dos principais eventos nesse período, a estrutura industrial foi sendo constituída por diversas empresas concessionárias de serviço público de energia elétrica, que podem ser agrupadas em três categorias:

- **Supridoras Regionais:** subsidiárias da Eletrobrás que operam usinas geradoras de grande porte e a malha básica do sistema de transmissão, segundo a seguinte divisão de áreas: CHESF, na região Nordeste; Furnas, no Sudeste e parte da região Centro-Oeste, Eletrosul, na região Sul e estado de Mato Grosso do Sul; Eletronorte, na região Norte, parte da região Centro-Oeste e no estado do Maranhão.

- **Concessionárias Verticalizadas:** empresas estaduais que produzem, transmitem e distribuem energia elétrica. Fazem parte desse grupo a Cemig, Cesp, Copel e CEEE;
- **Empresas Distribuidoras:** empresas exclusivamente voltadas ao fornecimento de energia aos consumidores finais, embora em alguns casos possuam usinas geradoras. Compõem esse grupo as demais concessionárias estaduais e concessionárias privadas.

Quadro 2 – Intervenção do Estado no setor de energia elétrica

1952	Criado o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico - BNDE para atuar nas áreas de energia e transporte.
1954	Entrou em operação a primeira grande hidrelétrica construída no rio São Francisco, a Usina Hidrelétrica Paulo Afonso I, pertencente à Chesf.
1957	Criada a Central Elétrica de Furnas S.A., com o objetivo expresso de aproveitar o potencial hidrelétrico do rio Grande para solucionar a crise de energia na Região Sudeste.
1960	Como desdobramento da política desenvolvimentista do Presidente Juscelino Kubitschek, conhecida como Plano de Metas, foi criado o Ministério das Minas e Energia - MME.
1961	Durante a presidência de Jânio Quadros foi criada a Eletrobrás, constituída em 1962 pelo Presidente João Goulart para coordenar o setor de energia elétrica brasileiro.
1963	Entrou em operação a Usina Hidrelétrica de Furnas, maior usina do Brasil na época de sua construção.
1965	Criado o Departamento Nacional de Águas e Energia, encarregado da regulamentação dos serviços de energia elétrica no país.
1968	Criada a Centrais Elétricas do Sul do Brasil S.A. - ELETROSUL na qualidade de empresa subsidiária da Eletrobrás. Entrou em operação a maior termelétrica do país, a Usina Termelétrica Santa Cruz, de Furnas - Centrais Elétricas S.A.
1969	Com o objetivo de diminuir os problemas operativos e aperfeiçoar o processo de interação das empresas do setor, foi criado o Comitê Coordenador de Operação Interligada - CCOI.
1973	Como consequência do tratado firmado entre Brasil e Paraguai, regulando a construção e operação de hidrelétricas no rio Paraná, foi criada a Itaipu Binacional - ITAIPU. Como resultado dos estudos do ENERAM, foi criada a Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A - ELETRONORTE. Criada a Empresas Nucleares Brasileiras S.A. - NUCLEBRÁS, sociedade de economia mista para executar a política nuclear do país. Criado o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL para desenvolver tecnologia em equipamentos e em sistemas elétricos.
1975	Criados o Comitê de Distribuição da Região Sul-Sudeste - CODI e o Comitê Coordenador de Operação do Norte/Nordeste - CCON.
1979	Depois de oitenta anos sob o controle estrangeiro, foi nacionalizada a Light Serviços de Eletricidade S.A. Entrou em operação a Usina Hidrelétrica Sobradinho, realizando o aproveitamento múltiplo do maior reservatório do país que regulariza a vazão do rio São Francisco. Foi autorizada pelo DNAEE a instalação do Sistema Nacional de Supervisão e Coordenação de Operação - SINSOC.

FONTE: Eletrobrás

3.3 CRISES E REFORMAS DA INDÚSTRIA ELÉTRICA BRASILEIRA

A indústria elétrica brasileira cresceu de maneira sustentada, até meados da década de 1970, ampliando rapidamente o acesso dos consumidores aos serviços elétricos, com melhoria continuada da qualidade dos serviços elétricos e tarifas reais decrescentes. Durante esse período, houve um esforço maciço de investimento no setor, principalmente no que diz respeito à geração de energia elétrica. Ao modo de organização da indústria elétrica brasileira, foi associado um modelo de financiamento cuja estrutura básica se apoiava em três pilares: autofinanciamento; financiamento interno e financiamento externo.

Nos primeiros anos da década de 1980, a crise econômica causou profundos impactos no setor elétrico, deteriorando simultaneamente a eficiência econômica do modo de organização industrial e o modelo de financiamento setorial. Esse esgotamento pode ser explicado, inicialmente, pelas restrições de captação de recursos externos e pelo grau de endividamento das empresas do setor. O contexto da segunda metade dos anos 80 era então caracterizado por: alto endividamento, racionamento de crédito internacional, autofinanciamento baixo (devido ao controle das tarifas públicas como instrumento de política antiinflacionária) e uma difícil situação fiscal do Estado.

Entretanto, a lógica do planejamento centralizado relegava a um plano secundário a aplicação de normas rigorosas de gestão econômico-financeira, desvinculando decisões de investimento e decisões de financiamento. Em um contexto de racionamento de crédito, esse aspecto torna-se crucial, dadas as características do parque elétrico brasileiro, essencialmente de base hidráulica, na qual investimentos de grande porte objetivam explorar as economias de escala.

Porém a interrupção, em função do cenário econômico, dos investimentos a serem realizados caracteriza o problema da armadilha das economias de escala: obras de grande porte paradas envolvem custos financeiros elevados, em decorrência do aumento dos juros. A consequência direta desse processo traduz-se nos encargos financeiros que encarecem e retardam a construção, anulando os benefícios esperados de economias de escala.

Nessas condições, segundo Queiroz (2007), tornava-se evidente a premência de reformas da indústria elétrica brasileira visando restaurar o fluxo dos financiamentos, assegurar o desenvolvimento do programa de investimentos e tornar as empresas energéticas mais eficientes.

3.3.1 A Primeira Reforma

A partir de meados da década de 1990, na esteira dos programas de estabilização macroeconômica, o ritmo de crescimento do mercado elétrico brasileiro é ainda muito superior àquele que vem sendo registrado em países desenvolvidos, nos quais as redes já estão maduras e os mercados conectados. Esse aspecto colocou as empresas elétricas em especial posição de atratividade para operadores de setores de infra-estrutura estrangeiros. Como já observado, do ponto de vista do crescimento dessas empresas, as reduzidas perspectivas de crescimento nos mercados nacionais dos países industrializados impõem a necessidade de busca de novas oportunidades de negócio.

No Brasil, as experiências internacionais influenciariam a agenda de reestruturação do setor de energia. O argumento central estava articulado com a falta de capacidade de financiamento das empresas estatais. Assim, caberia aos novos operadores privados a missão de recuperar o nível de investimentos, eliminando os gargalos de crescimento dos demais setores da economia.

A condução das políticas e do planejamento setoriais residia essencialmente no âmbito dos ministérios, instrumentalizados pelos quadros técnicos das empresas estatais. Sendo um dos objetivos a ampliação do capital privado nesses setores, o cumprimento dessa agenda de reformas permitiria valorizar as empresas selecionadas para o programa de privatização, eliminando diversas incertezas quanto às formas de comercialização dos serviços. Outro objetivo da reforma deveria ser a introdução de concorrência no setor, a qual deveria produzir impactos sobre a redução dos custos e dos preços e a melhoria da qualidade do serviço.

Iniciada em 1988, com a aprovação das primeiras mudanças institucionais, a reforma do setor elétrico atingiu seu ponto crítico em maio de 2001, com o anúncio das graves medidas de racionamento do suprimento de eletricidade. É interessante examinar as diferentes etapas para a reforma da indústria elétrica nacional, conforme resumido no quadro 3.

O processo seqüencial de implementação de reformas incluiu, como em outros países, os seguintes elementos: definição da nova estrutura de mercado e o grau de integração vertical das empresas; definição dos novos mecanismos de regulamentação; criação de órgão regulador; reformas patrimoniais, definidas no âmbito do programa de privatizações.

Quadro 3 – Seqüência de eventos de privatização do setor de energia elétrica

1988	Criada a Revisão Institucional de Energia Elétrica - REVISE, embrião das alterações promovidas no setor de energia elétrica durante a década de 1990.
1990	O Presidente Fernando Collor de Mello sancionou a Lei n.º 8.031 criando o Programa Nacional de Desestatização - PND. Criado o Grupo Tecnológico Operacional da Região Norte - GTON, órgão responsável pelo apoio às atividades dos Sistemas Isolados da Região Norte e regiões vizinhas. Criado o Sistema Nacional de Transmissão de Energia Elétrica - SINTREL para viabilizar a competição na geração, distribuição e comercialização de energia.
1995	Criada a Centrais Elétricas do Sul do Brasil S.A. - ELETROSUL na qualidade de empresa subsidiária da Eletrobrás. Entrou em operação a maior termelétrica do país, a Usina Termelétrica Santa Cruz, de Furnas - Centrais Elétricas S.A.
1997	As empresas controladas pela Eletrobrás foram incluídas no Programa Nacional de Desestatização que orientava a privatização dos segmentos de geração e distribuição. Realizado o leilão de privatização da Escelsa, inaugurando nova fase do setor de energia elétrica brasileiro em consonância com a política de privatização do Governo Federal.
1998	Criada a Eletrobrás Termonuclear S.A. - ELETRONUCLEAR, empresa que passou a ser a responsável pelos projetos das usinas termonucleares brasileiras. Constituído o novo órgão regulador do setor de energia elétrica sob a denominação de Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.
1999	O Mercado Atacadista de Energia Elétrica - MAE foi regulamentado, consolidando a distinção entre as atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica. Foram estabelecidas as regras de organização do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, para substituir o Grupo Coordenador para Operação Interligada - GCOI.

FONTE: Eletrobrás

No Brasil, a reforma patrimonial foi iniciada antes da conclusão de novas regras de mercado, e a privatização, iniciada em 1995, de mais de 20 companhias distribuidoras de eletricidade atraiu de fato novos operadores nacionais e estrangeiros. No âmbito das reformas quatro aspectos legais e institucionais se destacam no âmbito do novo modo de organização industrial do setor elétrico:

- A nova lei de concessões.
- A criação da ANEEL – novo órgão regulador.
- A criação do Operador Nacional do Sistema – ONS.
- A instituição do Mercado Atacadista de Energia.

O Operador Nacional do Sistema (ONS) passou a ter um papel fundamental no novo arranjo do setor elétrico brasileiro, executando a regulação técnica do sistema, reunindo as funções de planejamento, programação e execução da operação das usinas que atenderiam à demanda. Assim, o ONS é o responsável pela manutenção da integridade do sistema, operando

um conjunto de modelos de otimização que definem o despacho das centrais e, finalmente, o preço *spot* no Mercado Atacadista de Eletricidade.

Em função das restrições de transmissão, o mercado elétrico brasileiro foi dividido em quatro submercados: Sul, Sudeste e Centro-Oeste, Nordeste e Norte. Para coordenar as decisões das centrais hidroelétricas foi criado o Mecanismo Realocativo de Energia (MRE), que distribui os riscos hidrológicos entre essas centrais, as quais são operadas em conjunto pelo ONS.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) tem como função a fiscalização, mediação e regulação econômica; além de exercer o papel de poder concedente, promovendo as licitações para a exploração de serviços públicos de energia elétrica. Além da ONS e da ANEEL, as outras estruturas criadas, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e o Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos (CCPE) não atuaram de forma eficaz. Segundo Queiroz (2007), havia uma percepção de que o monitoramento e o planejamento indicativo eram, de fato, funções secundárias, visto que caberia ao mercado o papel de coordenação mais relevante. Para que isso fosse feito, os esforços deveriam se concentrar na montagem desse mercado.

Como os problemas dessa montagem foram subestimados, as redes de segurança necessárias para garantir o suprimento, caso alguma coisa desse errado, não foram construídas. Assim, quando a situação da oferta se agravou, as instituições encarregadas de dar governança ao setor elétrico brasileiro não foram capazes de mobilizar os recursos necessários para enfrentá-la.

Segundo Queiroz (2007), os problemas de coordenação – entre o Ministério de Minas e Energia, os ministérios da área econômica, as agências responsáveis pela regulação de energia elétrica (ANEEL), gás natural (ANP) e águas (ANA), o ONS, o MAE, o CNPE e o CCPE – impediram a identificação, em tempo hábil, dos sinais sobre a gravidade da crise. Portanto, tornaram impraticável a alocação de aportes emergenciais de recursos em obras de geração e transmissão, bem como a resolução de gargalos para investimentos privados importantes, tal como o caso do valor e do critério de reajuste do preço do gás natural importado para as térmicas do Programa Emergencial elaborado em 1999.

A principal prova de falha do desenho institucional foi o racionamento de eletricidade estabelecido em maio de 2001. O contexto de “reformas não-acabadas” gerou incertezas quanto

às condições econômico-financeiras necessárias ao desenvolvimento de novos projetos de investimento. Nesse contexto de incerteza, tanto os novos entrantes privados como as empresas públicas retardaram a implementação de novos investimentos. Além disso, a perda de receita das empresas distribuidoras gerada pelo racionamento provocou, entre 2001 e 2003, uma grave crise financeira nas empresas elétricas, em particular nas companhias de distribuição. Esse contexto gerou grande volatilidade dos preços do mercado atacadista, fator que agravou a instabilidade das relações comerciais no setor.

3.3.2 A Segunda Reforma da Indústria Elétrica Brasileira

O foco central do novo modelo de organização industrial foi criar condições para a garantia do suprimento, tentando reduzir os riscos de racionamento, como o ocorrido em 2001 e 2002. O novo modelo foi definido a partir da aprovação no Congresso Nacional das Leis 10.847 e 10.848, em março de 2004; e da assinatura do Decreto 5.163, em julho do mesmo ano, regulamentando as regras de comercialização de energia elétrica e o processo de outorga de concessões e de autorizações do novo modelo do setor elétrico.

Os principais objetivos do novo modelo são a promoção da modicidade tarifária e a segurança do abastecimento. Os mais importantes instrumentos visando à consecução desses objetivos foram:

- a) A criação de dois ambientes de negócios e de contratos: o Ambiente de Contratação Regulada – ACR, no qual se realizam as operações de compra e venda de energia envolvendo as distribuidoras e o Ambiente de Contratação Livre – ACL, no qual as operações de compra e venda são livremente negociadas.
- b) A estruturação de leilões para a contratação da energia existente pelas distribuidoras, com o critério de menor tarifa.
- c) A segurança do abastecimento é, neste novo modelo, baseada nos seguintes instrumentos:
 - Contratação, por parte das empresas distribuidoras, de 100% da sua carga.
 - Estabelecimento de um lastro físico de geração.

- d) A estrutura de leilões específicos para a contratação de novos empreendimentos de geração de energia, baseada nos seguintes princípios:
- Celebração de contratos bilaterais de longo prazo entre as distribuidoras e os vencedores de leilões, com garantia de repasse dos custos de aquisição da energia às tarifas dos consumidores finais.
 - Licença ambiental prévia de empreendimentos hidroelétricos candidatos.

O novo modelo atribuiu papéis de governança e direcionamento estratégicos ao Ministério de Minas e Energia, enquanto órgão mandatário da União e reforçou as funções de regulação, fiscalização e mediação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), além de organizar as funções de planejamento da expansão, de operação e de comercialização.

3.3.2.1 Os Ambientes de Comercialização

Por meio da criação de dois ambientes de comercialização – Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL) –, procurou-se definir dois espaços econômicos distintos, que obedecem a lógicas distintas para os agentes que participam de cada um deles. Todos os agentes responsáveis pela oferta de energia – titular de concessão, permissão ou autorização do poder concedente para gerar, importar ou comercializar energia elétrica – podem participar nos dois ambientes. Portanto, a diferença não se dá em torno dos agentes que ofertam energia, mas dos agentes que demandam energia em cada ambiente: no caso do ACL, só podem comprar energia os chamados consumidores livres, e no caso do ACR, somente as distribuidoras de energia elétrica.

As relações comerciais entre os agentes no ACL são livremente pactuadas e regidas por contratos bilaterais de compra e venda de energia elétrica, nos quais estão estabelecidos prazos e volumes. Nesse sentido, o ACL constitui um mercado de contratos bilaterais, livremente pactuados, regido pelas leis da livre concorrência. As barreiras institucionais resumem-se ao preenchimento dos requisitos mínimos – em termos de potência, tensão e prazo de migração – necessários para que um agente possa ser considerado um consumidor livre.

A contratação no ambiente regulado é realizada por meio de leilões, nos quais os vencedores formalizam um conjunto de contratos entre cada um deles e todos os agentes de distribuição. Assim, o que se tem, de fato, é um comprador único que representa o conjunto de

distribuidoras que irão assinar contratos bilaterais com os diversos geradores vencedores dos leilões, correspondentes à parcela de cada uma delas na demanda atendida pelo leilão.

Nesse caso, a bilateralidade é formal e a competição, por sua vez, é *ex-ante*, ou seja, ela se dá em torno da disputa pela exclusividade do suprimento do serviço durante dado período. Nesse sentido, a competição só opera na fase da licitação – é o que se denomina licitação competitiva.

A demanda dos leilões é definida pelos agentes de distribuição, que têm de garantir o atendimento a 100% de seus mercados cativos de energia, através da contratação no ambiente regulado. É essa demanda das distribuidoras que compõem a demanda básica que será licitada nos leilões. Básica porque uma parte dela será atendida diretamente através da energia proveniente da geração distribuída, das usinas do PROINFA, e de Itaipu. Isto implica que, na verdade, parte da demanda das distribuidoras não será contratada efetivamente por meio de leilões.

Existem dois tipos básicos de leilões: leilão de energia existente e leilão de energia nova, cuja diferenciação se dá em função da natureza dos empreendimentos de geração dos quais elas provêm. Assim tem-se a energia existente – ou velha – como sendo aquela proveniente dos empreendimentos de geração existentes; a energia nova como sendo aquela proveniente dos novos empreendimentos de geração.

Novos empreendimentos são aqueles que até a publicação do respectivo edital do leilão: (i) não detêm concessão, permissão ou autorização; e (ii) constituem ampliação – acréscimo de capacidade instalada – de empreendimento já existente.

Outra distinção entre os tipos de contrato demandados nos leilões pode ser feita entre quantidade e disponibilidade de energia. No caso dos contratos de quantidade de energia, os riscos hidrológicos são assumidos pelos vendedores; e no caso dos contratos de disponibilidade de energia, os riscos hidrológicos são assumidos pelos compradores.

3.3.2.2 As Novas Instituições de Coordenação e Planejamento

O novo modelo institucional do setor elétrico criou um conjunto de novos agentes para a coordenação do setor. Entre eles, destacam-se os agentes apresentados no quadro 4.

Quadro 4 - Novos agentes do mercado de energia

Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

Criada pela Lei 10.847, de 15 de março de 2004, tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético. No caso específico do setor elétrico, cabe à EPE:

- Realizar estudos para a determinação dos aproveitamentos ótimos dos potenciais hidráulicos.
- Obter a licença prévia ambiental e a declaração de disponibilidade hídrica necessárias às licitações envolvendo empreendimentos de geração hidroelétrica e de transmissão de energia elétrica selecionados.
- Elaborar os estudos necessários para o desenvolvimento dos planos de expansão da geração e transmissão de energia elétrica de curto, médio e longo prazos.
- Desenvolver estudos de impacto social, viabilidade técnico-econômica e socioambiental para os empreendimentos de energia elétrica e de fontes renováveis.
- Efetuar o acompanhamento da execução de projetos e estudos de viabilidade realizados por agentes interessados e devidamente autorizados.
- Calcular a garantia física dos empreendimentos de geração.
- Submeter ao Ministério de Minas e Energia a relação de empreendimentos de geração e correspondentes estimativas de custos, que integrarão, a título de referência, os leilões de energia proveniente de novos empreendimentos, bem como, quando for o caso, a destinação da energia elétrica dos empreendimentos hidroelétricos habilitados a tomar parte nesses leilões.
- Habilitar tecnicamente e cadastrar os empreendimentos de geração que poderão ser incluídos nos leilões de energia elétrica proveniente de novos empreendimentos.
- Calcular o custo marginal de referência que constará dos leilões de compra de energia.

Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE)

Criada pela Lei 10.848, de 15 de março de 2004, tem por finalidade viabilizar a comercialização da energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN). Suas atribuições são as seguintes:

- Promover leilões de compra e venda de energia elétrica, desde que delegados pela ANEEL.
- Manter o registro de todos os Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado – CCEAR e os contratos resultantes dos leilões de ajuste, da aquisição de energia proveniente da geração distribuída e respectivas alterações.
- Manter o registro dos montantes de potência e energia objeto de contratos celebrados no Ambiente de Contratação Livre – ACL.
- Promover a medição e o registro de dados relativos às operações de compra e venda e outros dados inerentes aos serviços de energia elétrica.
- Apurar o Preço de Liquidação de Diferenças no mercado de curto prazo por submercado.
- Efetuar a contabilização dos montantes de energia elétrica comercializados e a liquidação financeira dos valores decorrentes das operações de compra e venda de energia elétrica realizadas no mercado de curto prazo.
- Apurar o descumprimento de limites e contratação de energia elétrica e outras infrações e, quando for o caso, por delegação da ANEEL, nos termos da convenção de comercialização, aplicar as respectivas penalidades.
- Apurar os montantes e promover as ações necessárias para a realização do depósito, da custódia e da execução de garantias financeiras relativas às liquidações financeiras do mercado de curto prazo, nos termos da convenção de comercialização.

Quadro 4 - Novos agentes do mercado de energia (continuação)

Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE)

Criado pela Lei 10.848, de 15 de março de 2004, tem por finalidade acompanhar e avaliar permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético em todo o território nacional. Suas principais atribuições são as seguintes:

- Acompanhar o desenvolvimento das atividades de geração, transmissão, distribuição, comercialização, importação e exportação de energia elétrica, gás natural e petróleo e seus derivados.
- Avaliar as condições de abastecimento e de atendimento, relativas às atitudes referidas anteriormente, em horizontes predeterminados.
- Realizar periodicamente análise integrada de segurança de abastecimento e atendimento ao mercado de energia elétrica, de gás natural e petróleo e seus derivados, abrangendo os seguintes parâmetros, dentre outros:
 - Demanda, oferta e qualidade de insumos energéticos, considerando as condições hidrológicas e as perspectivas de suprimento de gás e de outros combustíveis. Configuração dos sistemas de produção e de oferta relativos aos setores de energia elétrica, gás e petróleo.
 - Configuração dos sistemas de transporte e interconexões locais, regionais e internacionais, relativas ao sistema elétrico e à rede de gasodutos.
- Identificar dificuldades e obstáculos de caráter técnico, ambiental, comercial, institucional e outros que afetem, ou possam afetar, a regularidade e a segurança de abastecimento e o atendimento à expansão dos setores de energia elétrica, gás natural e petróleo e seus derivados.
- Elaborar propostas de ajustes, soluções e recomendações de ações preventivas ou saneadoras de situações observadas em decorrência da atividade indicada no item anterior, visando à manutenção ou restauração da segurança no abastecimento e no atendimento eletroenergético, encaminhando-as, quando for o caso, ao Conselho Nacional de Política Energética – CNPE.

Fonte: ANEEL

3.4 PERFIL DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

3.4.1. Configuração do Sistema Elétrico Nacional

O Sistema Elétrico Nacional é composto pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), e pelos Sistemas Isolados, localizados principalmente no norte do País. O SIN é formado por empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Com tamanho e características que permitem considerá-lo único em âmbito mundial, o sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidrotérmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários.

A Figura 6 ilustra a integração entre os sistemas de produção e transmissão para o suprimento do mercado consumidor. Como as usinas hidrelétricas são construídas em espaços

A interdependência operativa é causada pelo aproveitamento conjunto dos recursos hidrelétricos, mediante a construção e operação de usinas e reservatórios localizados em seqüência em várias bacias hidrográficas. Desta forma, a operação de uma determinada usina depende das vazões liberadas a montante por outras usinas, que podem ser de outras empresas, ao mesmo tempo em que sua operação afeta as usinas a jusante, de forma análoga.

A utilização dos recursos de geração e transmissão dos sistemas interligados permite reduzir os custos operativos, minimizar a produção térmica e reduzir o consumo de combustíveis, sempre que houver superávits hidrelétricos em outros pontos do sistema. Em períodos de condições hidrológicas desfavoráveis, as usinas térmicas contribuem para o atendimento ao mercado como um todo, e não apenas aos consumidores de sua empresa proprietária. Assim, a participação complementar das usinas térmicas no atendimento ao mercado consumidor também exige interconexão e integração entre os agentes.



Figura 7 – Centrais que compõem os sistemas isolados / Fonte: EPE

Nos Sistemas Isolados, indicados na figura 7, segundo dados de outubro de 2003 coletados pela EPE, havia 345 centrais elétricas em operação e distribuídas como segue:

- Região Norte: 304;
- Estado de Mato Grosso: 36;
- Estados de Pernambuco, Bahia, Maranhão e Mato Grosso do Sul: 5.

Tomados em conjunto, esses sistemas cobriam quase 50% do território nacional e consumia em torno de 3% da energia elétrica utilizada no País. Os mais importantes Sistemas Isolados, do ponto de vista da dimensão do consumo, são os que atendem às capitais da região Norte onde a geração de eletricidade é hidrotérmica ou puramente térmica, oriunda de unidades geradoras a diesel.

3.4.2. Geração de energia elétrica

O sistema de geração de energia elétrica do Brasil, com cerca de 91.170 MW instalados, é basicamente hidrotérmico, com forte predominância de usinas hidrelétricas. A Figura 8.1 mostra a participação dos tipos de centrais de geração na capacidade instalada no País. Essas centrais, para efeito de outorga, são objetos de concessão, autorização ou registro, segundo enquadramento realizado em função do tipo de central, da potência a ser instalada e do destino da energia.

Segundo o destino da energia, o empreendimento de geração pode ser classificado como autoprodução de energia (APE), produção independente de energia (PIE) ou produção de energia elétrica destinada ao atendimento do serviço público de distribuição (SP). A autoprodução é caracterizada quando o agente produz energia para o consumo próprio, podendo, com a devida pré-autorização, comercializar o excedente (APE-COM). Na produção independente, por sua conta e risco, o agente gera energia para comercialização com distribuidoras ou diretamente com consumidores livres.

A Figura 8.2 permite uma visualização da participação percentual das fontes renováveis e não renováveis na capacidade instalada para geração de energia elétrica no País. A redução de impactos ambientais negativos, a promoção de desenvolvimento sustentável e a diminuição de

riscos hidrológicos no suprimento de energia elétrica do País justificam políticas de diversificação da matriz energética do País¹⁴.

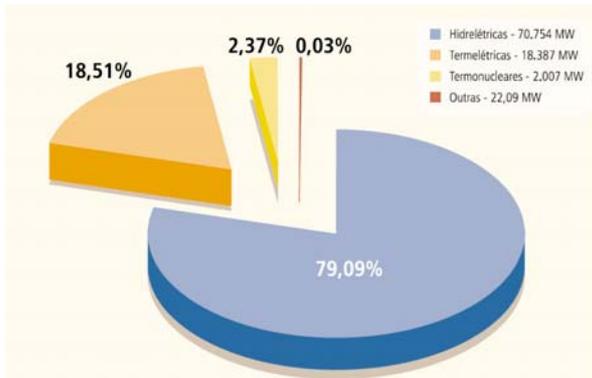


Figura 8.1 - Participação percentual dos tipos de centrais na capacidade instalada (MW) para geração de energia elétrica no Brasil

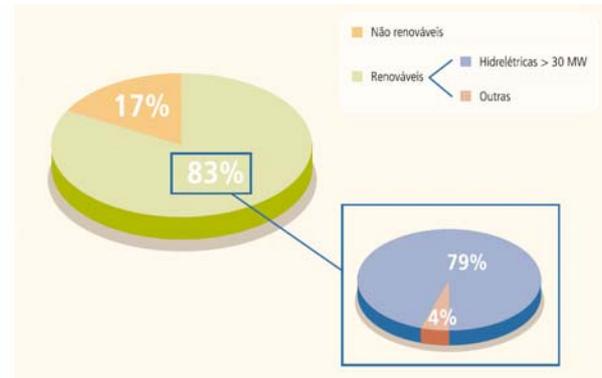


Figura 8.2 - Participação percentual das fontes renováveis e não renováveis na capacidade instalada (MW) para geração de energia elétrica no Brasil

Fonte: ANEEL – dados de outubro de 2003

3.4.3 Co-geração de energia elétrica

A geração termelétrica implica necessariamente a produção de calor residual, que pode ser aproveitado, ainda que parcialmente, por meio da co-geração. Essa tecnologia consiste na produção simultânea e seqüencial de calor de processo e potência mecânica e/ou elétrica. Além de opção importante como geração distribuída de energia elétrica, a co-geração é uma forma de racionalização do uso de recursos naturais e de redução de impactos socioambientais negativos, particularmente em decorrência da emissão de gases de efeito estufa¹⁵.

Grandes empresas brasileiras vêm implantando sistemas de co-geração com a utilização do gás natural ou do próprio lixo industrial. O material que antes era descartado pela indústria de celulose passou a ser utilizado como combustível para aquecer as caldeiras. No Brasil, destaca-se

¹⁴ Nesse sentido, para o SIN, destacam-se incentivos como o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) e recursos da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), instituídos pela Lei nº 10.438 de 26 de abril de 2002. O PROINFA tem como principal meta, a ser alcançada até 2022, o atendimento de dez por cento do consumo anual de energia elétrica no País por fontes alternativas (eólica, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa). Nos Sistemas Isolados, o principal incentivo ao aproveitamento de fontes alternativas é a sub-rogação da CCC – extensão dos benefícios da Conta de Consumo de Combustíveis –, em que se prevêem mecanismos para induzir a utilização de recursos energéticos locais, a valorização do meio ambiente e a maior eficiência econômica e energética.

¹⁵ Além da geração de energia mecânica e elétrica, a recuperação de calor residual pode ser destinada a sistemas de aquecimento de fluidos, climatização de ambientes, geração de vapor, secagem de produtos agrícolas etc. Um sistema padrão de co-geração consiste basicamente em uma turbina a vapor ou de combustão (turbina a gás), que aciona um gerador de corrente elétrica, e um trocador de calor, que recupera o calor residual e/ou gás de exaustão, para produzir água quente ou vapor. Desse modo, se gasta até 30% menos do combustível que seria necessário para produzir separadamente calor de geração e de processo e amplia-se a eficiência térmica do sistema, que pode atingir um índice de 90%.

ainda, na utilização da co-geração, o setor sucroalcooleiro, onde a co-geração é realizada com aproveitamento de biomassa. As empresas que investem em co-geração precisam obter autorização para implantação dos seus projetos.

3.4.4 Transmissão e distribuição de energia elétrica

Tradicionalmente, o sistema de transmissão é dividido em redes de transmissão e subtransmissão, em razão do nível de desagregação do mercado consumidor. A rede primária é responsável pela transmissão de grandes “blocos” de energia, visando ao suprimento de grandes centros consumidores e à alimentação de eventuais consumidores de grande porte. A rede secundária – subtransmissão – é basicamente uma extensão da transmissão, objetivando o atendimento de pequenas cidades e consumidores industriais de grande porte. A subtransmissão faz a realocação dos grandes blocos de energia – recebidos de subestações de transmissão – entre as subestações de distribuição.

A seleção das propostas para a outorga de concessão de serviço público de transmissão de energia elétrica (construção, operação e manutenção de instalações de transmissão da rede básica do sistema elétrico interligado) é feita por intermédio de licitações. Até o final de 2003, as licitações realizadas pela ANEEL para o sistema de transmissão resultaram em mais de 9.700 km em linhas de transmissão, com significativa predominância de empreendedores da iniciativa privada.

Na maioria dos Estados brasileiros, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, a área de concessão das empresas de distribuição corresponde aos limites geográficos estaduais; em outros, principalmente em São Paulo e no Rio Grande do Sul, existem concessionárias com áreas de abrangência menores. Há, também, áreas de concessão descontínuas, que ultrapassam os limites geográficos do Estado-sede da concessionária.

Esse universo de distribuidoras de energia elétrica é constituído por 24 empresas privadas, 21 privatizadas, 4 municipais, 8 estaduais e 7 federais (dados de 2004 / fonte: ANEEL). Segundo o controle acionário, cerca de 60% da energia elétrica são distribuídos por empresas cujo controle acionário é privado, como pode ser observado na Figura 9.

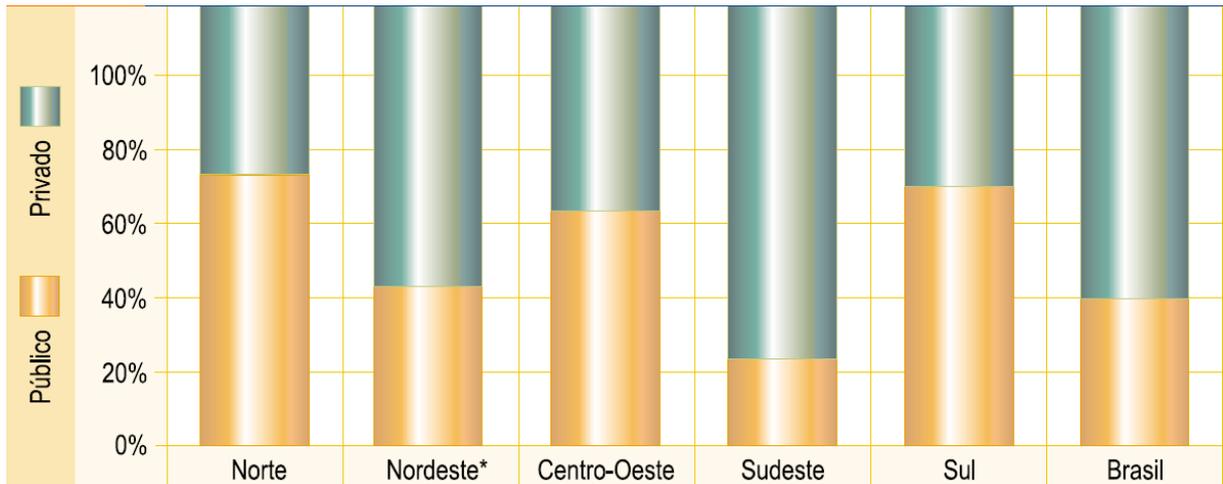


Figura 9 - Participação das distribuidoras no mercado de energia elétrica, segundo o controle acionário / Fonte: ANEEL

Os contratos de concessão das empresas prestadoras dos serviços de distribuição de energia estabelecem regras a respeito da tarifa, regularidade, continuidade, segurança, atualidade e qualidade dos serviços e do atendimento prestado aos consumidores e usuários¹⁶. Da mesma forma, definem penalidades para possíveis irregularidades.

3.4.5 Comercialização de energia elétrica

Os Agentes Comercializadores de Energia Elétrica são empresas que não possuem sistemas elétricos e que, sob autorização, atuam exclusivamente no mercado de compra e venda de energia elétrica para concessionários, autorizados ou consumidores que tenham livre opção de escolha do fornecedor (consumidores livres).

¹⁶ O desempenho das empresas distribuidoras referente à continuidade do serviço prestado de energia elétrica é medido com base em indicadores de conjunto e individuais, segundo Resolução ANEEL nº 024, de 27 de janeiro de 2000. Os indicadores de conjunto são denominados DEC e FEC. O DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) indica o número de horas em média que um determinado conjunto de unidades consumidoras fica sem energia elétrica durante um período, geralmente mensal. Já o FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) indica quantas vezes, em média, houve interrupção nas unidades consumidoras (residência, comércio, indústria etc). Os indicadores individuais, destinados a aferir a qualidade prestada diretamente ao consumidor, são: DIC, FIC e DMIC. Os indicadores DIC (Duração de Interrupção por Unidade Consumidora) e FIC (Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora) indicam, respectivamente, por quanto tempo e o número de vezes em que uma unidade consumidora ficou sem energia elétrica, durante um período considerado. O DMIC (Duração Máxima de Interrupção por Unidade Consumidora) é um indicador que limita o tempo máximo de cada interrupção ocorrida no período de um mês, impedindo que a concessionária deixe o consumidor sem energia elétrica durante um tempo muito longo.

Um outro instrumento permite a avaliação da melhoria da prestação dos serviços de energia elétrica, a partir da visão e satisfação do consumidor residencial. Trata-se do Índice ANEEL de Satisfação do Consumidor (IASC), resultante de pesquisa anual que a ANEEL realiza para avaliar o grau de satisfação dos consumidores residenciais com os serviços prestados pelas empresas distribuidoras de energia elétrica. O IASC gera indicadores comparáveis por região e porte de empresa e também compõe o cálculo de um componente do reajuste tarifário (Fator x). A partir da pontuação obtida pela concessionária distribuidora chega-se ao valor a ser utilizado no cálculo do Fator x, o qual será aplicado no reajuste tarifário anual imediatamente posterior à data da pesquisa.

Até julho de 2003, encontravam-se autorizadas a atuar como comercializadoras de energia 46 empresas. A Figura 10 apresenta a evolução do montante comercializado por esses agentes no âmbito do MAE.

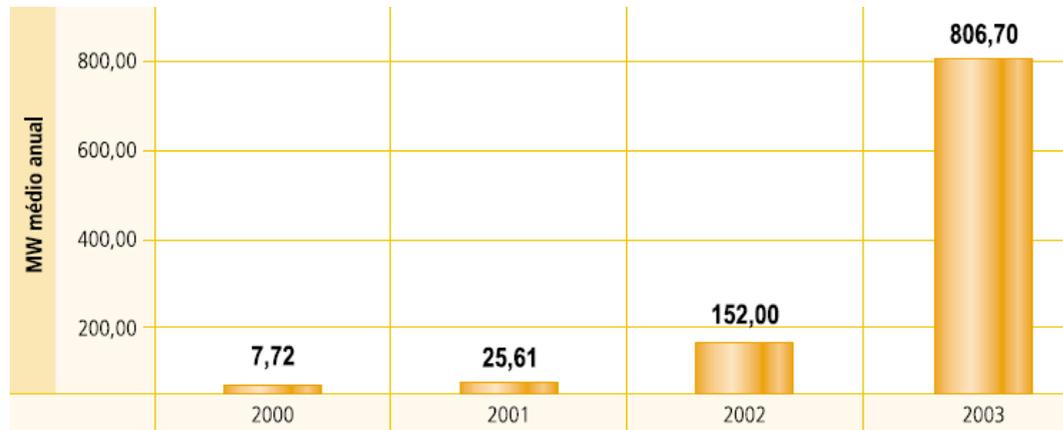


Figura 10 - Evolução do mercado das comercializadoras / Fonte: SINERCON

3.5 PERFIL DA DEMANDA ENERGÉTICA BRASILEIRA

3.5.1 A energia elétrica no contexto energético nacional

Dos 191 milhões de tep correspondentes ao consumo final de energia no Brasil em 2004, a parcela correspondente à energia elétrica foi de aproximadamente 16,2% (fonte: EPE/MME, 2005). Este número reflete um forte crescimento no uso da energia elétrica ao longo do tempo, pois desde 1970 o crescimento anual médio do consumo de eletricidade foi de 6,7%. No mesmo ano, o energético representava apenas 5,5% do consumo, conforme pode ser observado na Tabela 4.

A maior participação da energia elétrica ocorreu simultaneamente a diversas alterações na matriz energética nacional. De fato, o forte crescimento do consumo final, de 62,1 milhões de tep em 1970 para 191,1 milhões de tep em 2004, incorporou algumas mudanças nos padrões de uso da energia. Dentre essas, a mais acentuada foi a perda de participação da lenha, que representava 46% do consumo final do país em 1970. No ano de 2004, no entanto, sua participação passou a representar apenas 8% do consumo. Entre outras alterações, pode-se também destacar o crescimento do uso dos subprodutos da cana de açúcar, do gás natural e dos derivados de petróleo.

Tabela 4 – Consumo final de energia elétrica e taxas de crescimento

Discriminação	Consumo final (mil tep)		Participações percentuais		Taxa de crescimento (% a.a.)
	1970	2004	1970	2004	
Gás natural	70	12.185	0,1	6,4	16,4
Carvão mineral	88	3.594	0,1	1,9	11,5
Lenha	28.345	15.752	45,6	8,2	-1,7
Bagaço de cana	3.149	20.273	5,1	10,6	5,6
Outras fontes prim. renováveis	142	4.018	0,2	2,1	10,3
Gás de coqueria	250	1.342	0,4	0,7	5,1
Coque de carvão mineral	1.182	6.817	1,9	3,6	5,3
Eletricidade	3.410	30.923	5,5	16,2	6,7
Carvão vegetal	1.590	6.353	2,6	3,3	4,2
Álcool etílico	310	6.961	0,5	3,6	9,6
Outras secundárias - alcatrão	60	224	0,1	0,1	4,0
Subtotal não-derivados de petróleo	38.596	108.440	62,1	56,7	-8,7
Óleo diesel	5.393	32.657	8,7	17,1	5,4
Óleo combustível	6.600	6.431	10,6	3,4	-0,1
Gasolina	7.446	13.642	12,0	7,1	1,8
Gás liquefeito de petróleo	1.367	7.182	2,2	3,8	5,0
Nafta	6	7.169	0,0	3,8	23,2
Querosene	1.138	2.450	1,8	1,3	2,3
Gás de cidade	132	0	0,2	0,0	-100,0
Outras secundárias de petróleo	227	8.994	0,4	4,7	11,4
Produtos não-energ.de petróleo	1.202	4.163	1,9	2,2	3,7
Subtotal derivados de petróleo	23.510	82.688	37,9	43,3	3,8
Total	62.106	191.128	100,0	100,0	3,4

Fonte: EPE/MME, 2005

Foram várias as causas para as mudanças citadas, mas cabe destacar que as crises de preços do petróleo no mercado internacional na década de 70, os processos de industrialização e de urbanização, o aumento populacional, o crescimento das preocupações com o meio ambiente e o próprio desenvolvimento tecnológico na oferta e no uso da energia estão entre as principais. Com relação a este último item, devem ser ressaltados os avanços da indústria nacional na exploração de petróleo em águas profundas, a expansão hídrica do setor elétrico com a construção de hidrelétricas de grande porte e o desenvolvimento do programa do álcool para uso veicular. A capacidade do país em reduzir a dependência de fontes externas e se ajustar às diversas restrições que surgiram na área energética, ampliando a oferta, foi significativa.

Também pelo lado da demanda ocorreram mudanças que contribuíram para as alterações observadas na matriz energética nacional. No caso do aumento do uso da energia elétrica, por exemplo, ocorreu uma ampla expansão do número de consumidores residenciais ligados à rede de distribuição, ampliando os índices de eletrificação no país, bem como a grande penetração de

aparelhos eletroeletrônicos nas residências contribuindo para o aumento do consumo residencial do energético. De forma equivalente, o padrão de crescimento do setor de serviços, observado no crescimento do número de shopping centers e hipermercados, contribuiu para elevar a demanda pelo uso final de condicionamento de ar.

3.5.2 Evolução do consumo de energia elétrica por setor e por região geográfica

Na Tabela 5, a seguir, é apresentada a evolução do consumo final de energia elétrica pelos principais setores entre 1970 e 2004, em GWh. Na Figura 11, são mostradas as variações nas participações desses setores no mesmo período.

Tabela 5 – Consumo final de energia elétrica nos principais setores (GWh)

Consumo / ano	1970	1980	1990	2000	2004
Consumo final energético	39.668	122.705	217.657	331.638	359.564
Setor Energético	2.080	4.171	6.837	10.479	12.818
Residencial	8.365	23.263	48.666	83.613	78.577
Comercial	5.158	13.804	23.822	47.510	50.082
Público	3.565	10.386	18.133	29.200	30.092
Agropecuário	317	2.038	6.666	12.856	14.895
Transportes	648	823	1.194	1.250	1.039
Ferroviário	648	823	1.194	1.250	1.039
Industrial	19.535	68.220	112.339	146.730	172.061
Cimento	1.038	3.221	2.938	4.456	3.754
Ferro-gusa e aço	1.998	8.921	12.775	14.717	16.889
Ferro-ligas	574	2.902	6.211	6.398	7.659
Mineração e pelotização	453	2.714	5.955	7.429	9.292
Não-ferrosos e outros metálicos	3.343	11.102	25.543	28.970	33.907
Química	2.646	7.980	13.315	17.251	21.612
Alimentos e bebidas	1.757	6.280	10.335	16.173	19.851
Têxtil	1.936	4.576	6.266	6.983	7.776
Papel e celulose	1.667	5.089	7.688	12.144	14.098
Cerâmica	559	1.931	1.838	2.720	3.050
Outros	3.564	13.504	19.475	29.489	34.173

Fonte: EPE/MME, 2005

Em 2004 o setor industrial era o principal consumidor de energia elétrica no país, participando com 47,9% do total. Em relação a 1970, é possível observar que houve uma pequena queda na participação do setor, pois este representava 49,2% do total naquele ano. Em valores absolutos, no entanto, o aumento do consumo foi significativo: de 19.535 GWh para 172.061 GWh. Entre os principais segmentos do setor industrial, destaca-se o de não-ferrosos e outros da metalurgia, tendo participado com 19,7% (33.907 GWh) do consumo industrial de energia elétrica em 2004. A participação deste segmento, que inclui as indústrias de alumínio, já era significativa em 1970: 17,1%. Em seguida, destacam-se os segmentos química, alimentos e

bebidas e ferro gusa e aço, cujas participações em 2004 foram 12,6%, 11,5% e 9,8%, respectivamente.

No caso do setor residencial, o consumo de energia elétrica subiu de 8.365 GWh para 78.577 GWh, entre 1970 e 2004. No período, a participação do setor no consumo final de energia elétrica passou de 21,1% para 21,9%. Boa parte do aumento do consumo ocorreu em função das vantagens comparativas que este energético apresenta em relação aos demais. Os principais usos finais da energia nas residências são para condicionamento de ar, iluminação, cocção e aquecimento de água. Para os dois primeiros, o uso da energia elétrica é praticamente cativo.

Com relação ao setor comercial, é importante destacar sua forte heterogeneidade, sendo composto por empresas do comércio propriamente dito, de comunicações, instituições financeiras, Serviços Industriais de Utilidade Pública menos geração elétrica, setor financeiro, hotéis, supermercados, padarias, hospitais, entre outros. A eletricidade representava 59% de toda a energia consumida no setor em 1970 e evoluiu para 81% em 2004. A participação do setor no consumo final de energia elétrica em 2004 foi da ordem de 13,9%.

No setor de transportes, inversamente ao observado no setor comercial, a participação da energia elétrica no consumo final é bastante reduzida: inferior a 1%. Conforme observado na Tabela 5, em 2004 foram consumidos apenas 1.039 GWh em transportes, concentrados no modal ferroviário; muito pouco considerando o elevado consumo dos demais energéticos no setor, principalmente derivados de petróleo e gás natural.

Já no setor agropecuário, o consumo de energia elétrica em 2004 foi da ordem de 14.895 GWh, o que representou pouco mais de 4% do consumo final deste energético no país. Para o crescimento do uso da energia elétrica entre 1970 e 2004 contribuíram o aumento da mecanização e, principalmente, a adoção mais geral de práticas de irrigação nas plantações.

De acordo com a classificação do Balanço Energético Nacional, o consumo final do setor energético é composto pelo consumo de energia final nos campos de extração de petróleo e gás natural; nas minas de carvão mineral; nas refinarias de petróleo; nas unidades de processamento de gás natural - UPGN; nas centrais elétricas de serviço público e autoprodutoras; nas coquearias; nas destilarias; nas carvoarias e nas outras transformações. Em 2004, o consumo de energia

elétrica no setor foi de 12.818 GWh, o que representou 3,6% do consumo final desse energético. Destaca-se que em 1970 a participação era de 5,2%.

No setor público o principal energético consumido é a eletricidade, participando com 79% do consumo total do setor. As principais destinações desta incluem iluminação pública, distribuição de água e tratamento de esgotos. Em 1970 foram utilizados 3.565 GWh desse energético, atingindo 30.092 GWh em 2004.

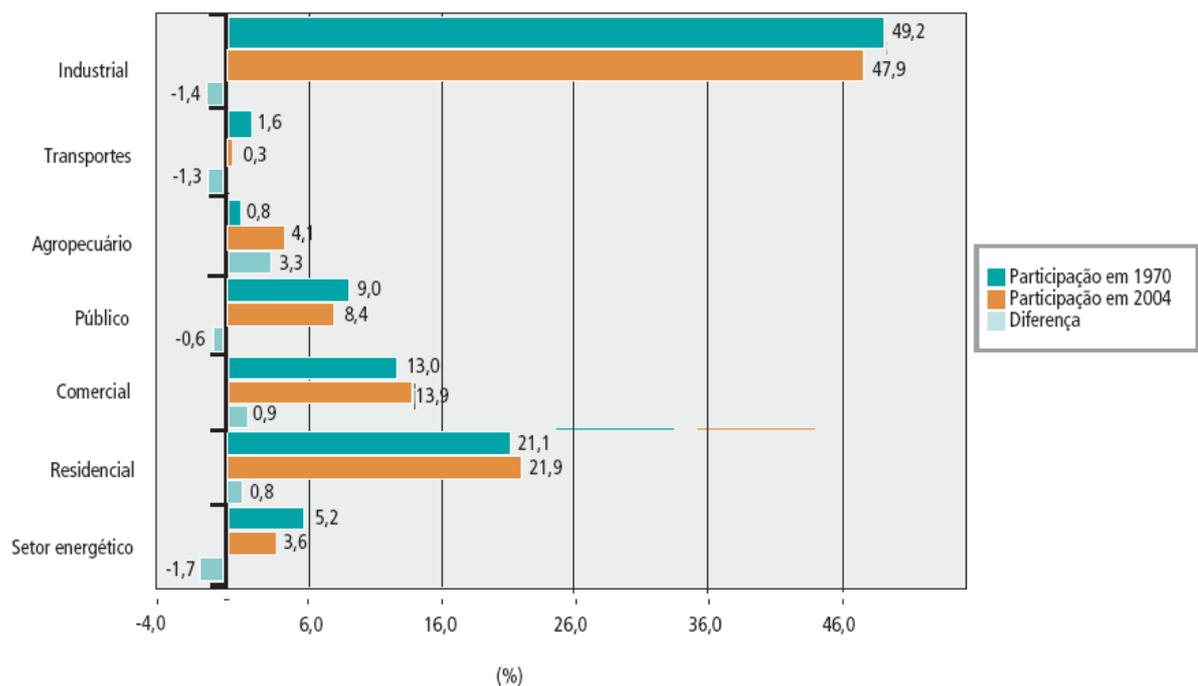


Figura 11 – Variações percentuais nas participações dos setores no consumo de energia elétrica (1970-2004) / Fonte: EPE/MME, 2005.

Na Tabela 6 são mostradas as evoluções do consumo de energia elétrica por região geográfica. Conforme a EPE (dados de 2006), do consumo final de energia elétrica foram excluídos os valores correspondentes à autoprodução de energia, resultando no mercado de fornecimento que, em seguida, foi aberto por região geográfica.

Em 2004 a região Sudeste apresentou o maior consumo de energia elétrica dentre as regiões, 172.029 GWh, tendo participado com 53,5% do mercado de fornecimento do país. Por outro lado, os menores consumos foram registrados nas regiões Norte e Centro-Oeste: 6,1% e 6,2% do mercado. Essas variações em algum grau refletem as diferenças entre os números de habitantes das regiões do Brasil, mas também são resultado de padrões de desenvolvimento econômico históricos que privilegiaram a concentração espacial. Cabe observar que as regiões de

menor consumo de energia elétrica vêm apresentando taxas de crescimento mais elevadas, o que é mostrado na Figura 12.

Tabela 6 – Consumo final de energia elétrica: autoprodução, mercado de fornecimento (GWh)

Consumo / ano	1970	1980	1990	2000	2004
Consumo final de energia elétrica	39.668	122.704	217.658	331.638	359.565
Autoprodução	3.709	8.342	11.907	25.010	37.912
Mercado de fornecimento	35.959	114.362	205.751	306.628	321.653
Sudeste	27.974	79.872	129.721	174.473	172.029
Sul	3.492	14.401	29.133	50.001	55.924
Nordeste	3.409	14.066	31.829	49.553	54.017
Centro-Oeste	618	3.455	6.174	16.829	20.015
Norte	466	2.568	8.894	15.772	19.668

Fonte: EPE, 2006.

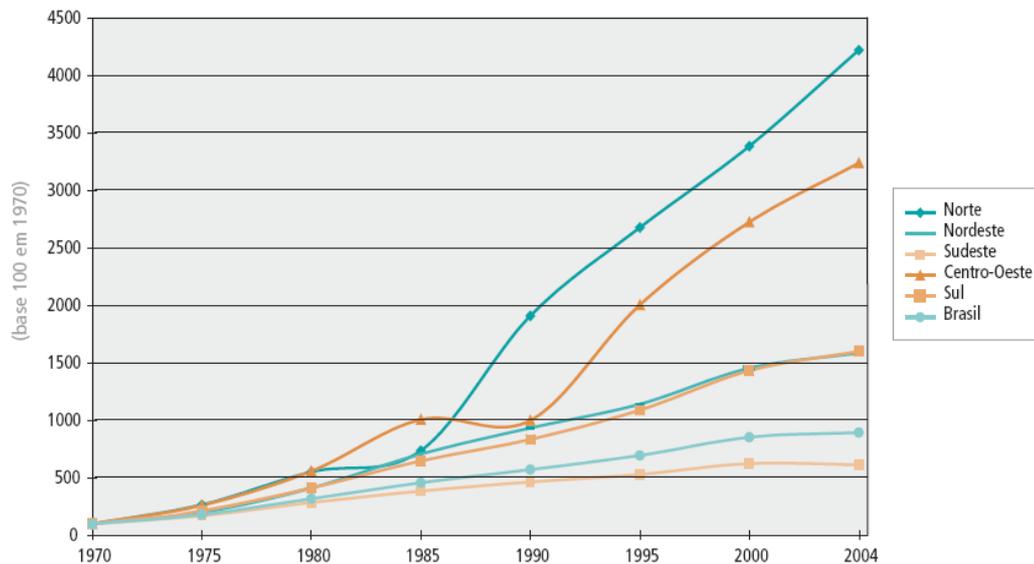


Figura 12 – Evolução do mercado de fornecimento de energia elétrica (base 100 em 1970) /
Fonte: EPE/MME, 2005.

3.5.3 Energia elétrica e economia

Em 1970, o Brasil apresentava um Produto Interno Bruto - PIB de cerca de R\$ 500 bilhões (em valores de reais de 2005) e uma população de 93 milhões de habitantes. Os consumos finais de energia e de energia elétrica eram equivalentes a 60,6 milhões tep e 39,7 TWh, respectivamente. A Tabela 2 (página 16) mostra que, trinta e cinco anos após, o PIB era 4 vezes maior (R\$ 1.938 bilhões), a população havia dobrado (185 milhões de habitantes), o consumo final de energia, triplicado (183,4 milhões tep) e, por fim, o consumo de energia elétrica foi o que apresentou o crescimento mais expressivo, crescendo quase 10 vezes: 375,2 TWh.

Os valores da tabela refletem o fato de que o contexto econômico e o panorama do setor energético guardaram uma forte correlação neste período: se, em alguns momentos, os planos econômicos e as crises externas afetaram o consumo energético, em outros, como no período do racionamento de energia, foi o sistema energético que limitou a trajetória de expansão do crescimento.

Entre as diversas perturbações no contexto econômico que ocorreram nos últimos anos, podem ser destacados os Planos Cruzado e Cruzado II em 1986, o Plano Bresser em 1987, o Plano Verão em 1989, os Planos Collor I e Collor II em 1990, o Plano Real em 1994, a crise financeira internacional no final da década de 90 (com suas conseqüências na economia nacional) e a volatilidade de 2002.

Com menor freqüência, mas também relevantes, cabe ressaltar os distúrbios associados ao setor energético, podendo ser citadas as crises de 1973 e 1979, quando os preços do petróleo no mercado internacional aumentaram fortemente; a crise do PROALCOOL no final da década de 80, e os racionamentos de energia elétrica em 2001 e 2002.

Especificamente em relação ao consumo de energia elétrica, pode-se observar uma desaceleração mais expressiva no seu crescimento ao longo do período entre 1970 a 1985 – acompanhando, embora de forma menos intensa, a evolução do crescimento do PIB. Após 1985, entretanto, a relação entre o crescimento do consumo de energia elétrica e o PIB é menos aparente, ainda mais durante o período do racionamento. Após o racionamento a relação entre os crescimentos do consumo e da economia volta a valores semelhantes aos do período antes do racionamento.

4 FATORES QUE INFLUENCIAM A DEMANDA DE ENERGIA

4.1 ANÁLISE DE PARÂMETROS E PREMISSAS

O atual processo de privatização do setor elétrico brasileiro impõe a necessidade do exame dos instrumentos de planejamento que podem contribuir para reduzir os problemas enfrentados pelo setor durante as recentes crises de energia. Como foi apresentado no capítulo anterior, uma das causas mais evidentes dessas crises foi o descompasso entre os investimentos para expansão da oferta e a demanda de energia, elaboradas por órgãos governamentais sujeitos a constantes modificações de estruturas de governança e orientações políticas que levavam a nenhum planejamento ou a planejamentos de caráter impositivo.

Para o sucesso do novo modelo de governança de mercado, é fundamental que o Ministério de Minas e Energia, devidamente assessorado pela EPE e pelos comitês de governança estabelecidos, forneça previsões confiáveis de expansão da demanda e conduza políticas favoráveis de forma a viabilizar investimentos para garantir o atendimento dessa demanda em condições adequadas. Isto implica a redução das incertezas e a adoção de parâmetros e métodos que forneçam insumos adequados para a realização dessas previsões em um setor complexo como a indústria da energia.

4.1.1 Elaboração de cenários

Segundo Caio e Bermann (1998), um cenário caracteriza uma base fundamental para qualquer exercício de planejamento, na medida em que congrega um conjunto coerente e plausível, não necessariamente exato, de acontecimentos endógenos e exógenos, aos quais estão associados determinados agentes e uma escala cronológica.

O propósito primário de um cenário é organizar, sistematizar e delimitar as incertezas, explorando sistematicamente, os pontos de mudança ou manutenção dos rumos de uma dada evolução de situações. Dentro das técnicas de cenários, são utilizadas como instrumentos principais de trabalho:

- a) *análise estrutural*, que consiste em um esforço de compreensão do objeto de estudo a partir da identificação das variáveis-chaves e das relações de causalidade diferenciada,

estabelecendo os elos de dependência e motricidade e articulando-as em um sistema lógico de determinações do futuro e

- b) *investigação morfológica*, que é um recurso simplificado de combinação de um conjunto reduzido de hipóteses coerentes e consistentes que convergem para a configuração dos cenários, tendo como base, o estudo das estruturas que regem os mecanismos que exercem algum tipo de influência sobre o objeto de estudo.

Na elaboração de cenários, é necessário antecipar as trajetórias prováveis para o período em análise, assinalando as tendências mais marcantes, considerando-se os avanços da ciência e tecnologia e a influência de variáveis sócio-econômicas, fortalecendo assim, o reconhecimento da influência dos diversos agentes envolvidos. Esta antecipação torna-se deveras complicada em escopos de grande complexidade como a situação da previsão de demanda de eletricidade, agravada pelas características de investimentos de grande porte que são realizados para suprimento dessa demanda. Estes investimentos possuem longos períodos de maturação, o que exige a utilização de variáveis e parâmetros de controle adequados, suficientes e relevantes, tornado essencial para a qualidade das previsões estatísticas obtidas o uso de diferentes técnicas de simulação, que serão exploradas no próximo capítulo deste trabalho.

4.1.2 Variáveis e parâmetros de previsão do mercado

A economia mundial apresenta um processo dinâmico. Assim, segundo Caio e Bermann (1998), correlacionar mecanicamente consumo de energia com PIB ou indicadores de desempenho econômico, seja por elasticidade-renda, seja por elasticidade-preço, pode conduzir a graves desvios de previsão.

Há que se considerar que os setores econômicos possuem características distintas e os agentes intervenientes dos vários mercados atuam de forma peculiar em cada setor, de acordo com os aspectos sócio-econômicos inerentes. Na figura 13 é apresentado o modelo de previsão de cenários utilizado pela EPE para estudo da demanda de energia elétrica no processo de planejamento de longo prazo da demanda energética no Brasil.

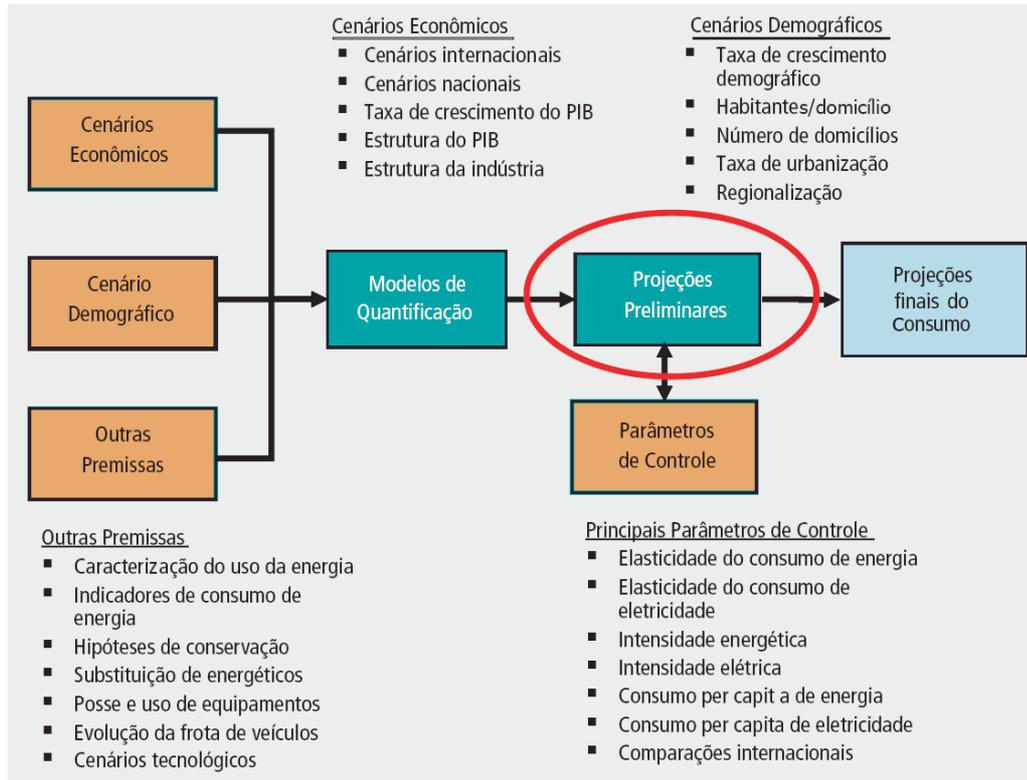


Figura 13 - Modelo de previsão de cenários utilizado / Fonte: MME / EPE

Conforme apresentado na figura 13, além de uma série de premissas e das informações que compõem os cenários sócio-econômicos considerados e os determinantes diretos da demanda de energia, no modelo utilizado pelo EPE são também consideradas uma série de variáveis complementares na forma de parâmetros de controle e indicadores relacionados às características estruturais específicas inerentes aos setores de atividade econômica e aspectos de evolução tecnológica e de otimização dos processos. Essas informações são processadas por modelos quantitativos e utilizadas para verificar e validar projeções preliminares e ajustá-las até chegar a números consistentes para as projeções de consumo de energia.

Também é necessário, conforme apresentado na figura 14, prever mudanças tecnológicas nos processos que consomem a energia, que por questões de aumento de produtividade, restrições ligadas ao meio ambiente, custos ou outros fatores, geram modificações nas fontes de energia empregadas. São esses parâmetros que fazem as correlações entre:

- a) a energia útil necessária, que se relaciona diretamente ao processo produtivo e ao atendimento das necessidades sociais e econômicas; essa energia utilizada será gerada a partir de uma variedade de fontes disponíveis, conforme a matriz energética disponível para geração;

- b) a energia final, cuja demanda depende das fontes utilizadas e dos rendimentos de conversão; uma vez definidas a energia por forma de utilização, as participações das fontes e os rendimentos obtêm-se a quantidade de energia final cuja produção é demandada para atender-se a necessidade de energia útil.

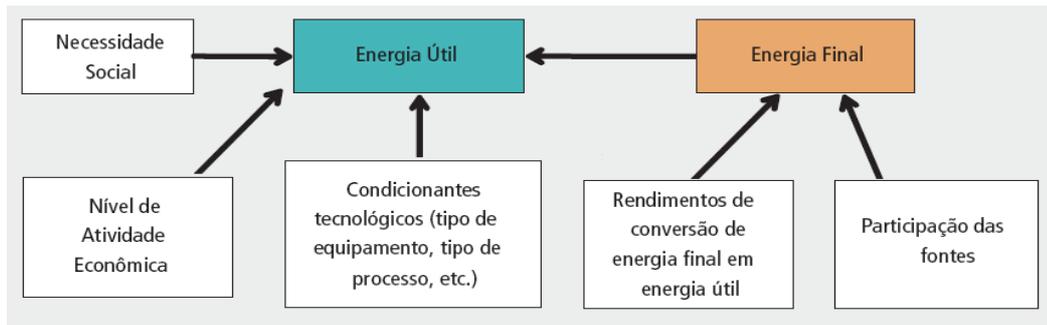


Figura 14 – Inter-relações de condicionantes gerais para energia útil/energia final

Conforme apresentado na figura 15, a análise da demanda de energia útil e a conseqüente análise de demanda de energia final é realizada de forma estratificada por setor econômico, pois os parâmetros e premissas de controle tem maior utilidade nos modelos de projeção quando analisados de forma segmentada considerando as características de cada setor econômico.

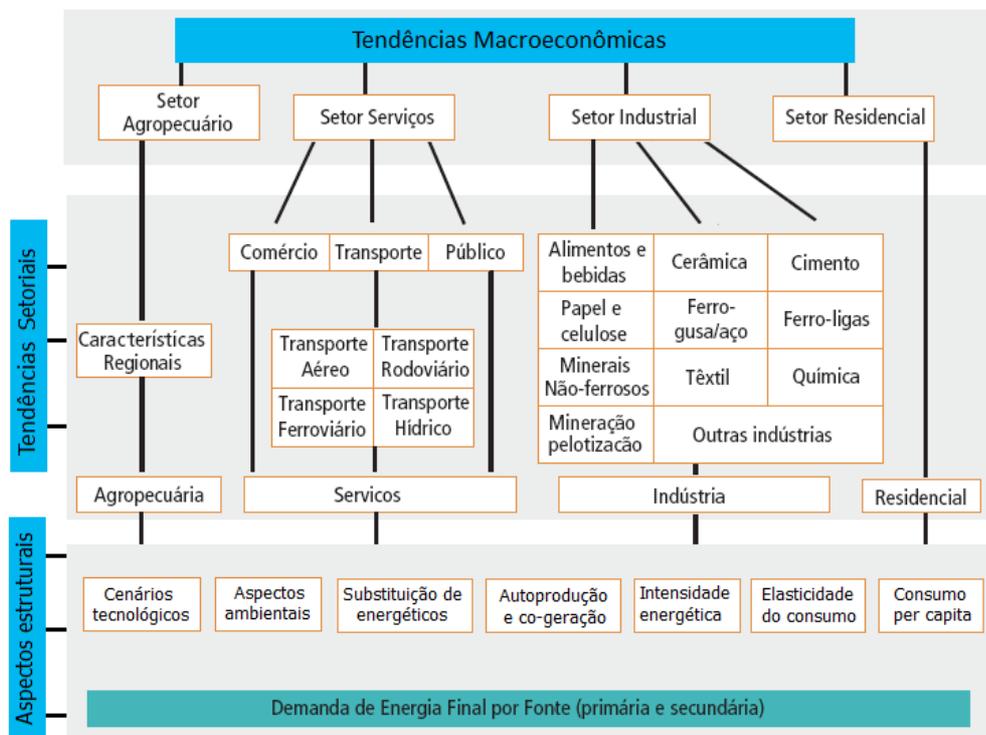


Figura 15 – Estrutura de parâmetros utilizada nas projeções da demanda de energia / Fonte: Elaboração própria a partir do modelo utilizado pela EPE.

Nos itens a seguir serão apresentadas as *tendências setoriais* para as variáveis e parâmetros de controle especificamente ligadas à indústria de energia e que se referem aos setores agropecuário, de serviços, industrial e residencial, além dos *parâmetros estruturais* aplicáveis ao mercado como um todo, conforme indicado na figura 15.

4.2 ANÁLISE DE PARÂMETROS SETORIAIS

Para entender a evolução do perfil da demanda de energia elétrica, além da evolução de indicadores macroeconômicos ou de atividade, como aumento da população e sua renda ou aumento dos níveis de produção industrial e de ocupação no setor de serviços, é importante conhecer como evolui o perfil de consumo em cada setor do mercado de energia. O perfil de consumo, inovações tecnológicas e aplicação da energia elétrica são alguns fatores que podem indicar tendências relevantes para indicar a demanda futura de energia elétrica, principalmente nos setores mais elétrico-intensivos. Nos itens foram resumidas informações utilizadas pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) na elaboração do Plano Nacional de Energia 2030.

4.2.1 Setor industrial

Em função das diferenças entre os setores industriais, ao serem realizadas projeções de demanda de energia cabe analisar com um maior grau de profundidade principalmente segmentos da indústria que por suas características são elétrico-intensivos, sendo adotadas pela EPE premissas específicas em relação a estas variáveis, exemplificadas no quadro 5 para alguns segmentos.

Quadro 5 – Variáveis de interesse específico por segmento do setor industrial / Fonte: EPE

Segmento	Variáveis de interesse específico
Cimento	<ul style="list-style-type: none"> i) consumo específico de calor (kcal/kg de clínquer¹⁷): relacionando à tecnologia específica de calcinação das matérias primas empregadas; ii) participação por tipo de cimento portland produzido: envolvendo a predominância ou não de tipos de cimento mais energo-intensivos; iii) teor de adições ativas ao cimento: incluindo-se hipóteses sobre a participação de materiais residuais na produção de cimento, tais como a escória de alto forno e materiais pozolânicos¹⁸.

¹⁷ O clínquer é um material sinterizado e peletizado, resultado da calcinação (1450 °C) da mistura do calcário (75 a 80%), da argila (20 a 25%) e de componentes químicos como o silício, o alumínio e o ferro. O **clínquer** pode ser definido como cimento numa fase básica de fabrico, a partir do qual se fabrica o cimento Portland, habitualmente com a adição de sulfato de cálcio, calcário e/ou escória siderúrgica.

Quadro 5 – Variáveis de interesse específico por segmento do setor industrial / Fonte: EPE (continuação)

Ferro-gusa e aço	<ul style="list-style-type: none"> i) participação de tecnologias e rendimentos de conversão na etapa de redução: permite estimar o consumo associado de coque de carvão mineral, carvão vegetal e eletricidade, para a indústria como um todo; ii) participação de tecnologias e rendimentos de conversão na etapa de aciaria; iii) participação de tecnologias e rendimentos de conversão na etapa de laminação, considerando laminação a quente a frio; iv) percentual de eletricidade co-gerada, pelo aproveitamento de gases combustíveis produzidos no processo siderúrgico, tais como: gás de alto-forno, gás de aciaria e gás de coqueria.
Papel e Celulose	<ul style="list-style-type: none"> i) participação dos tipos de papel na produção física; ii) consumo específico de energia térmica e elétrica para produção de celulose; iii) consumo específico de energia térmica e elétrica para produção por tipo de papel; iv) participação da lixívia¹⁹ na geração total de eletricidade da indústria.
Química	<ul style="list-style-type: none"> i) participação de diferentes tecnologias de produção de soda-cloro, permitindo considerar hipóteses sobre a evolução relativa de processos baseados em células de mercúrio, diafragma e de membrana; ii) consumo específico de eletricidade por tecnologia de produção.
Alumínio	<ul style="list-style-type: none"> i) estrutura de participação do alumínio na produção total do segmento; ii) taxa de crescimento da produção de alumina²⁰; iii) consumo específico de eletricidade para produção de alumina; iv) consumo específico de eletricidade para produção de alumínio primário; v) participação de cada tecnologia na produção de alumínio primário.

Conforme apresentado na figura 16 a seguir, o valor adicionado de cada segmento é uma variável de entrada para a estimativa do consumo setorial de energia, estabelecido em termos da energia útil demandada por uso e fonte, o que favorece o tratamento de questões relacionadas à eficiência energética envolvida em usos específicos da energia.

Nessa análise é utilizada a primeira estrutura do Balanço de Energia Útil - BEU, ou seja: calor de processo, aquecimento direto, força motriz, refrigeração, eletroquímica e iluminação.

¹⁸ Materiais siliciosos ou silico-aluminosos, naturais ou artificiais, que contém um elevado teor de sílica em forma reactiva, isto é numa qualquer forma não cristalina (vítrea) e finamente pulverizada capaz de reagir, na presença de água e à temperatura normal, com hidróxido de cálcio à temperatura normal, formando então silicatos de cálcio estáveis com apreciável capacidade cimentante.

¹⁹ Lixívia é um composto químico para limpeza e desinfecção de superfícies, cujo produto activo, o hipoclorito de sódio tem a fórmula química NaClO.

²⁰ Alumina ou óxido de alumínio é o principal componente da bauxita, o principal minério de alumínio.

De uma forma geral no setor industrial, a EPE considera no processo de estimação da demanda o fluxo de inter-relação de variáveis apresentado na figura 16, sendo as principais variáveis independentes:

- i) *indicadores físicos para a projeção*: estimados a partir da energia útil por forma de destinação e da produção física do segmento para um ano determinado. Permite-se, ainda, o estabelecimento de hipóteses tanto sobre a participação de cada energético no uso final de energia em certa destinação (por exemplo, para geração de calor de processo), quanto sobre ganhos tecnológicos de cada unidade produtiva (o que significa também hipóteses sobre a penetração de uma nova tecnologia ou a substituição de tecnologias);
- ii) *participação de cada tecnologia na produção de determinado produto*: variável que possibilita avaliar os impactos de uma substituição tecnológica no processo produtivo.
- iii) *participação de cada fonte em uma destinação específica*: indica as possibilidades de substituição de energéticos e o impacto de programas de incentivos ao uso de determinadas fontes energéticas, cujo potencial se mostrar competitivo;
- iv) *rendimentos de conversão de energia final em energia útil ou consumos específicos de equipamentos*: variáveis que permitem avaliar os impactos da substituição tecnológica.

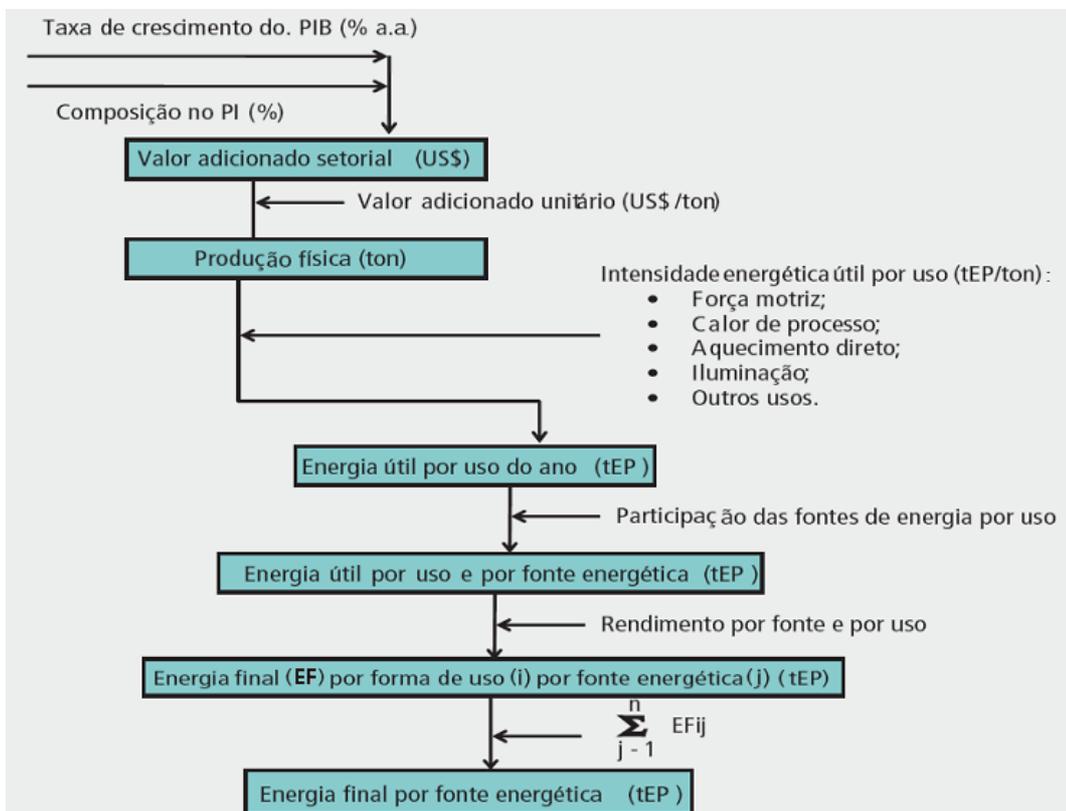


Figura 16 – Esquema de estimativa da demanda de energia nos segmentos do setor industrial / Fonte EPE

4.2.2 Setor agropecuário

A estimativa da demanda de energia no setor agropecuário é realizada a partir da desagregação do consumo de energia, dividindo-se o consumo atribuível à produção agrícola em culturas permanentes ou temporárias (conforme classificação adotada pelo IBGE) e à produção animal. Esta divisão permite, por exemplo, realizar hipóteses acerca da modernização tecnológica neste setor. São variáveis consideradas nesta estimativa: a taxa de crescimento anual da produção física, o índice da eletrificação rural, o consumo específico de óleo diesel por cultura e o consumo de eletricidade e de lenha na unidade de beneficiamento.

Na Figura 17, apresenta-se o processo de estimativa da demanda de energia final no setor agropecuário brasileiro, que apresenta uma lógica semelhante à descrita para o setor industrial.

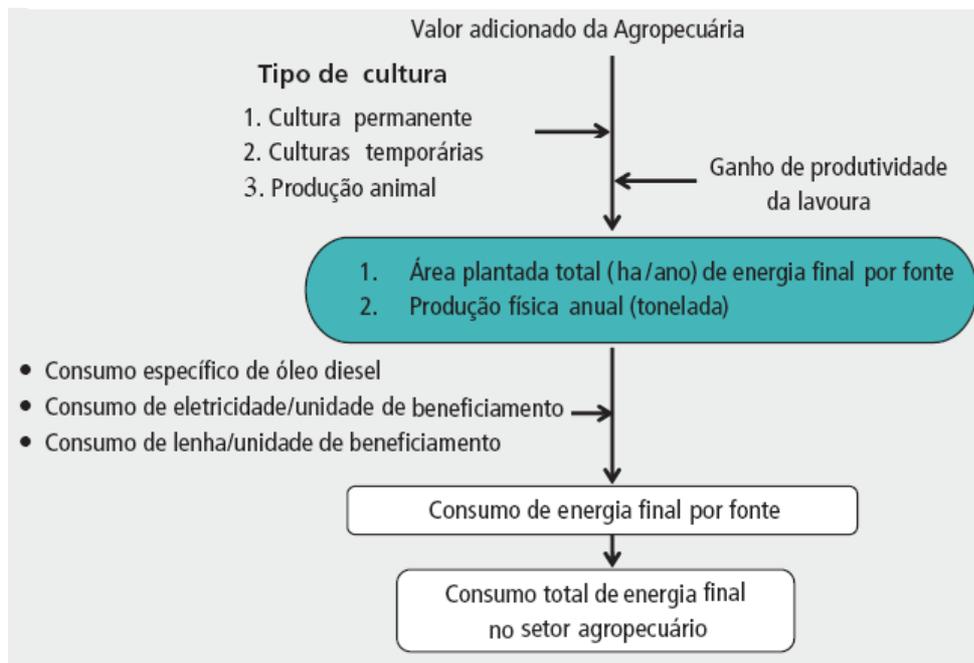


Figura 17 – Esquema de estimativa da demanda de energia no setor agropecuário / Fonte: EPE

4.2.3 Setor residencial

O método de quantificação empregado neste setor também é baseado em uma abordagem *bottom-up*, pois a estrutura e o nível de demanda como um todo dependem de fatores:

- i) *sociais* - por exemplo, a densidade demográfica regional, tipo e quantidade de eletrodomésticos por residência),
- ii) *sócio-econômicos* - prioridade em desenvolvimento de certas indústrias ou setores econômicos, a política do país para transporte público),

- iii) *puramente econômicos* - por exemplo, a influência da mudança de preços de combustível) e
- iv) *puramente tecnológicos* - como a evolução das eficiências de certos tipos de equipamento, penetração no mercado de novas tecnologias ou formas de energia).

O ponto de partida para esta estimativa é a construção do ano-base. Para a elaboração do ano-base referente ao setor residencial, impende obter variáveis associadas ao cenário demográfico, tais como: a população, a taxa de urbanização, o número de domicílios e o número de habitantes por domicílio. A Figura 18 representa de forma esquemática o modelo de simulação paramétrico utilizado para as projeções de consumo de energia elétrica no setor residencial.

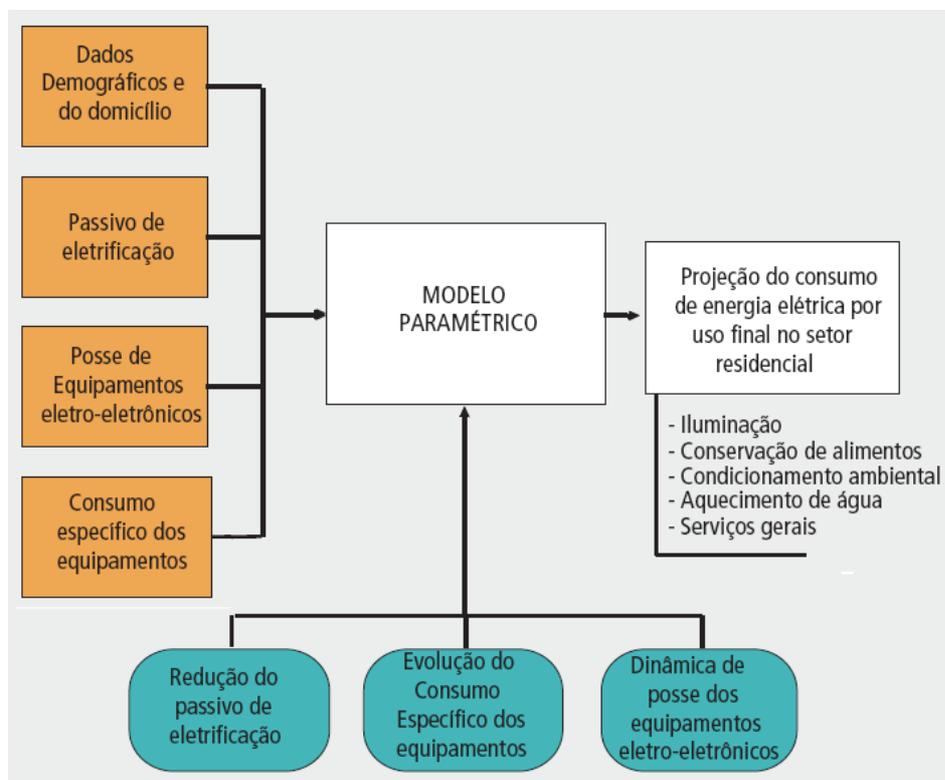


Figura 18 – Esquema de estimativa da demanda no setor residencial / Fonte EPE

Conforme apresentado na figura 18, de modo específico, a estimativa da demanda de energia elétrica no setor residencial é realizada com base no percentual de domicílios ligados à rede elétrica e no consumo específico de energia elétrica por domicílio ligado à rede. Este, por sua vez, é projetado por uso final a partir da posse dos principais equipamentos, de hábitos de consumo das famílias e das potências dos equipamentos, o que permite a incorporação de ganhos de eficiência.

O consumo residencial de energia elétrica é desagregado em cinco usos finais, quais sejam: iluminação; conservação de alimentos (geladeira e freezer); aquecimento de água (chuveiro elétrico); condicionamento de ar (ar condicionado); e serviços gerais (lavadora de roupas, lavadora de louças, TV, microondas etc.). Portanto, para cada equipamento associado a um uso final é determinado o consumo específico, cujo cálculo considera o tempo médio de uso e a potência média. Esta variável, por sua vez, permite incorporar um ganho de eficiência, variável por cenário, ao longo do tempo.

4.2.4 Setores comercial, público e de transportes

A modelagem de demanda dos setores comercial e público segue uma sistemática semelhante. A modelagem para o setor de transporte considera as substituições intermodais e intramodais.

No primeiro caso, pode-se considerar, entre outras: a substituição feita pelas pessoas entre ônibus urbano e metrô, ônibus interurbano e trem, e ônibus interurbano e avião; e para o transporte de cargas, a substituição entre o modal rodoviário de um lado e o ferroviário ou hidroviário, por outro lado.

No caso de substituição intramodal, pode-se avaliar, por exemplo, a substituição entre transporte coletivo (ônibus urbano) e transporte individual (táxi). Especificamente para o caso da energia elétrica, os modelos consideram a introdução de tecnologias como os veículos híbridos (a bateria – VEB e híbridos – VEH).

As principais variáveis utilizadas para a estimativa de evolução da demanda de energias nesses setores são listadas no quadro 6 a seguir.

Quadro 6 – Variáveis de interesse específico dos setores comercial, público e de transportes

Setor	Variáveis de interesse específico
Comercial	<ul style="list-style-type: none"> i) elasticidade calor-produto do setor serviços; ii) intensidade energética de consumo de óleo diesel; iii) intensidade energética do consumo de eletricidade; iv) participação das fontes na demanda por calor; e v) rendimentos de conversão energia final por uso.

Quadro 6 – Variáveis de interesse específico dos setores comercial, público e de transportes (continuação)

Público	<ul style="list-style-type: none"> i) elasticidade calor-produto do setor público; ii) consumo específico per capita de óleo diesel; iii) consumo específico per capita de eletricidade do poder público; iv) consumo específico per capita de eletricidade para iluminação pública; v) consumo específico de eletricidade para água, esgoto e saneamento; vi) percentual de domicílios com rede de água; vii) percentual de domicílios com acesso à rede elétrica; viii) participação das fontes na demanda por calor; e ix) rendimentos de conversão de energia final por uso.
Transportes	<ul style="list-style-type: none"> i) taxa de crescimento de vendas de veículos flex fuel, híbridos a bateria e híbridos; ii) percentuais da quilometragem anual percorrida no caso de um VEH utilizando combustível fóssil e no caso de um veículo flex fuel utilizando gasolina; iii) consumo específico de eletricidade de um VEB e de um VEH; e de combustível de um VEH.

Fonte: EPE

4.3 ANÁLISE DE PARÂMETROS ESTRUTURAIS

Os parâmetros estruturais aqui descritos estão entre os principais fatores que podem influenciar a demanda futura de energia elétrica. Estão ligados à características tecnológicas e sócio-econômicas do mercado consumidor e o entendimento dos fatores que influenciam suas tendências de crescimento bem como sua correlação com a demanda de energia é a base para a definição de sistemas de modelagem de demanda, que serão discutidos no capítulo 5.

4.3.1 Consumo per capita

A taxa de consumo de energia per capita é um parâmetro bastante relevante para estimação da demanda de energia, não só pela variação do consumo em si por pessoa, conforme fatores de elasticidade de consumo a serem descritos no próximo item, para pela expansão da base de consumidores em função dos seguintes fenômenos:

- a) ainda que em ritmo menos acelerado, o número absoluto de habitantes continua em crescimento no Brasil e no mundo, passando de 2,5 bilhões em 1950 para 4,1 bilhões em 1975, e 6,6 bilhões em 2005 (United Nations, 2004). O acréscimo se faz de forma

diferenciada em função da renda dos países. Em trinta anos a taxa média anual de crescimento da população nos países de baixa renda (1,75% ao ano) foi mais de três vezes superior à verificada nos países de renda alta (0,49%). O crescimento da população nos países muito pobres foi de 2,6% anuais. No Brasil, esse crescimento tem se comportado como apresentado na Tabela 7 e as projeções para os próximos anos estimadas pela EPE são apresentadas na Tabela 8:

Tabela 7 - Taxa de crescimento populacional / Fonte: IBGE

Região	1970	1980	1991	2000
Brasil	5,8	4,3	2,8	2,4
Norte	8,2	6,4	4,1	3,1
Nordeste	7,5	6,1	3,7	2,6
Sudeste	4,6	3,4	2,3	2,1
Sul	5,5	3,6	2,5	2,2
Centro-Oeste	6,4	4,5	2,6	2,2

Tabela 8 - Projeção do crescimento populacional / Fonte: EPE

Região	2005	2010	2020	2030
Brasil	154.343,3	167.838,1	191.067,2	209.918,7
Varição entre períodos (% a.a.)	-	1,69	1,30	0,95
Norte	10.658,5	12.029,8	14.438,3	16.430,4
Varição entre períodos (% a.a.)	-	2,45	1,84	1,30
Nordeste	36.749,9	39.929,3	45.385,7	49.762,1
Varição entre períodos (% a.a.)	-	1,67	1,29	0,92
Sudeste	72.520,1	78.205,8	88.076,0	96.195,3
Varição entre períodos (% a.a.)	-	1,52	1,20	0,89
Sul	22.712,1	24.664,4	27.932,9	30.500,6
Varição entre períodos (% a.a.)	-	1,66	1,25	0,88
Centro-Oeste	11.702,7	13.008,7	15.234,3	17.030,5
Varição entre períodos (% a.a.)	-	2,14	1,59	1,12

- b) além de estar em crescimento, existe ainda uma forte tendência de migração da população do campo para a cidade. Entre 1950 e 2005 a urbanização passou de 52% para 74% nos países desenvolvidos, enquanto se elevava de 18% para 42% nos em desenvolvimento. No Brasil passou de 36% para 84% (United Nations, 2005); no Brasil, esse movimento tem se comportado conforme apresentado na figura 19, sendo as projeções dos próximos anos elaboradas pela EPE apresentadas na tabela 9;

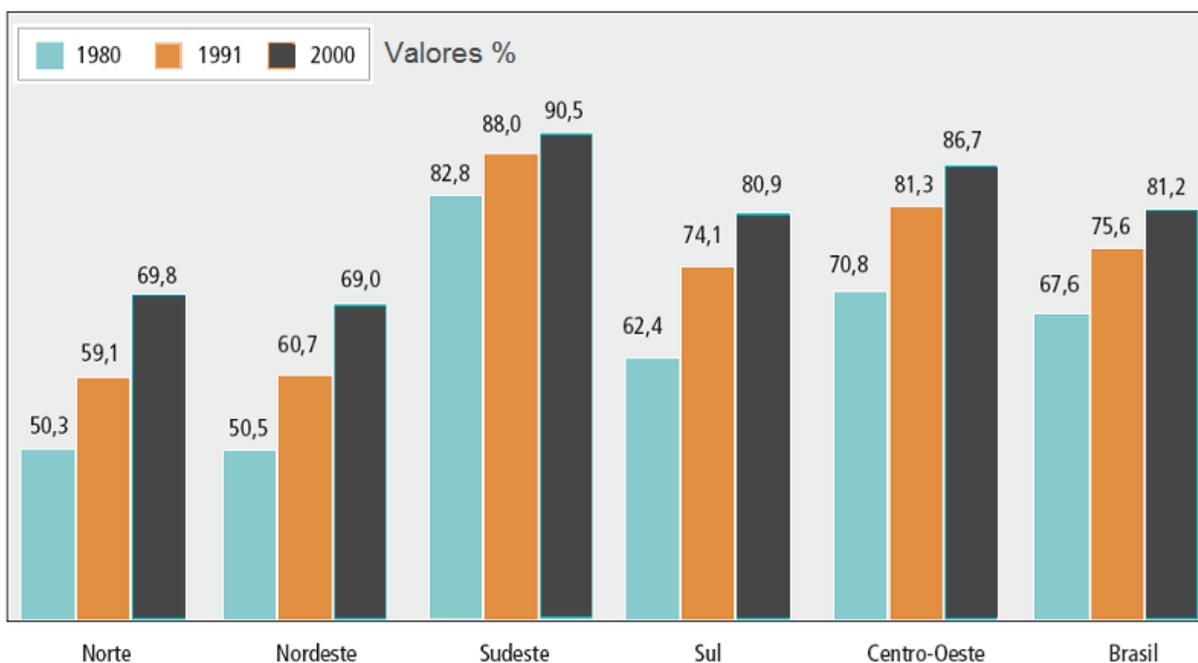


Figura 19 – Grau de urbanização – Brasil e regiões / Fonte: IBGE 2002

Tabela 9 - Projeção da taxa de urbanização / Fonte: EPE

Região	2005	2010	2020	2030
Brasil	83,2	84,7	86,8	88,0
Norte	71,7	73,2	75,3	76,4
Nordeste	71,6	73,7	76,7	78,5
Sudeste	91,8	92,8	94,1	94,9
Sul	83,7	85,7	88,3	89,7
Centro-Oeste	89,0	90,6	92,5	93,3

- c) o aumento do nível de urbanização leva ao aumento do número de domicílios que terão acesso à rede elétrica. Dois aspectos precisam ser considerados: a taxa de ocupação por domicílio, influenciada pela diminuição da quantidade de pessoas nos núcleos familiares devido a diversos fatores sociais (ver figura 20), que tem impacto na demanda de energia em função do não-compartilhamento de seu uso; e a taxa de domicílios permanentes e ocupados, que efetivamente vão influenciar na contagem de domicílios com acesso à rede elétrica. Na tabela 10 é apresentada a estimativa da EPE para a taxa de domicílios permanentes ocupados.

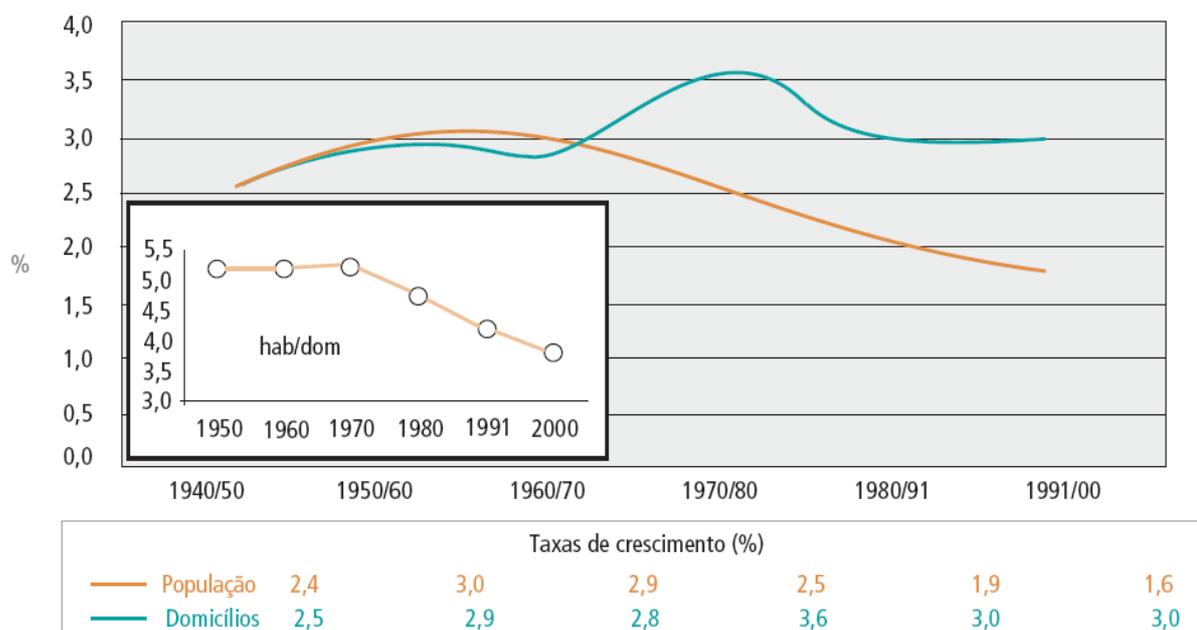


Figura 20 – Evolução da taxa de habitantes por domicílio / Fonte: IBGE

Tabela 10 - Projeção do total de domicílios permanentes ocupados / Fonte: EPE

Região	2005	2010	2020	2030
Brasil	51.406,6	57.511,4	69.746,4	81.837,4
Varição entre períodos (% a.a.)	-	2,27	1,95	1,61
Norte	3.379,7	3.895,7	4.921,5	5.929,1
Varição entre períodos (% a.a.)	-	2,88	2,36	1,88
Nordeste	12.748,6	13.973,5	16.385,4	18.728,4
Varição entre períodos (% a.a.)	-	1,85	1,61	1,35
Sudeste	23.227,0	26.004,6	31.602,4	37.182,1
Varição entre períodos (% a.a.)	-	2,28	1,97	1,64
Sul	8.282,9	9.307,9	11.394,8	13.484,7
Varição entre períodos (% a.a.)	-	2,36	2,04	1,70
Centro-Oeste	3.768,3	4.329,7	5.442,3	6.513,2
Varição entre períodos (% a.a.)	-	2,82	2,31	1,81

4.3.2 Elasticidade do consumo

A correlação entre a evolução das atividades produtivas (medida pelo Produto Interno Bruto – PIB) e o correspondente consumo global de energia (medida em toneladas equivalentes de petróleo – tep) vem sendo estudada em muitos países nas últimas décadas. Segundo Leite (2007), não são precisas as comparações internacionais nesses domínios, pois que, além das dificuldades da avaliação de equivalências energéticas, introduzem-se taxas de conversão de moedas e índices de preços internos quase sempre discutíveis.

Não obstante, os principais indicadores da renda e da energia no mundo demonstram a relação entre renda e demanda de energia: os 1.154 milhões de habitantes das nações de alta renda, que compõem predominantemente a OECD e que correspondem a apenas 18% da população mundial, demandam um pouco mais da metade da energia total. O consumo por habitante das nações da OECD está sendo, assim, quase cinco vezes o das demais nações, em desenvolvimento ou subdesenvolvidas, conforme apresentado na tabela 11.

Tabela 11 – População e oferta interna de energia do mundo / Fonte: IEA, 2005

	Mundo	OECD	Mundo sem OECD
Energia (milhões de tep)	10.579	5.395	5.184
População (milhões)	6.268	1.154	5.114
Energia (%)	100	51	49
População (%)	100	18	82

Os indicadores per capita e de oferta de energia interna mostram, por outro lado, que existe forte correlação entre renda e energia, independentemente do nível de renda, conforme apresentado na tabela 12.

Tabela 12 – Relação entre PIB e oferta interna de energia no mundo – OIE / Fonte: IEA, 2005

Regiões	PIBperCAPITA US\$ (1)	OIEperCAPITA TEP (2)	RELAÇÃO (1)/ (2) US\$/tep
OECD	22.160	4.670	4,75
Não-OECD	3.570	970	3,69
Mundo	6.007	1.050	4,15

No período 1965-1980, a energia acompanhava o PIB e seu crescimento era mais acentuado que o aumento da população. Nos dois decênios subsequentes reduziu-se fortemente a relação Energia/PIB, sendo que no último decênio do século XX o crescimento do consumo de energia foi menor do que o da própria população. A correlação entre os níveis de consumo de energia e de renda dos diversos países pode ser apreciada a partir de dois pontos de vista:

- O crescimento econômico e o correspondente aumento da renda requerem maior disponibilidade de energia;
- O aumento do consumo de energia resulta em maior produção e, por conseguinte, em maior renda. Trata-se na realidade de um processo circular.

Segundo Leite (2007), ao contrário do que ocorre nos países desenvolvidos, em que há uma tendência de estabilização do consumo de energia per capita, nos países em desenvolvimento, como no Brasil, existe ainda uma forte relação consumo de energia/renda, em função principalmente do seu fraco desempenho econômico nas últimas décadas.

A tendência à estabilização do consumo nos países industrializados é explicável, principalmente, pelo alto nível de renda já alcançado. Dispõem de recursos que lhes permitem não só plena satisfação de suas necessidades como também capacidade de promover o desenvolvimento necessário para alcançar maior eficiência na produção e no uso da energia. Ao contrário, nos países em desenvolvimento, que ainda não atenderam às necessidades elementares de grande parte de sua população, o crescimento da demanda de energia tende a permanecer elevado em relação ao da renda. Conforme Pêgo Filho e Campos Neto (2008), a elasticidade-renda do consumo tem se comportado no Brasil conforme apresentado no quadro 7.

Quadro 7 – Evolução da elasticidade-renda no consumo de energia / Fonte: IPEA

Década de 1980	A elasticidade-renda do consumo de energia elétrica apresentou valores extremamente elevados na faixa de 3,8 .
Década de 1990	A média da elasticidade-renda do consumo caiu para 1,7 em função de mudanças estruturais no perfil do mercado consumidor, destacadamente no que se refere ao setor industrial, em virtude da reduzida taxa de crescimento do produto industrial, da modernização tecnológica, do uso mais eficiente do insumo eletricidade, e da menor participação das indústrias eletrointensivas, que não apresentaram expansões significativas. Entre 1990 e 1995 o mercado de energia elétrica (incluindo autoprodutores) cresceu 4,0% ao ano, contra uma variação do PIB de 3,1% no mesmo período. A elasticidade resultante foi 1,3. No período 1995-2000 a elasticidade foi superior, atingindo 2,0, em função do crescimento de 4,7% ao ano do consumo total de energia elétrica e de 2,3% do PIB.
Década de 2000	No entanto, no período 2000-2005, o consumo total de energia elétrica apresentou crescimento médio abaixo do histórico, tendo ocorrido em 2001 uma redução da ordem de 7%, por conta do racionamento. Paralelamente, a economia brasileira apresentou crescimento baixo na média do período, pouco acima de 2%. A redução do consumo, como consequência do racionamento, fez com que a elasticidade no período fosse reduzida para 1,02 . Para o período de 2007 a 2011, o MME trabalha com uma trajetória de referência, que resulta em uma taxa média de 5,2% ao ano de crescimento do consumo de energia elétrica, e de 4,2% ao ano para o PIB. Estas hipóteses estabelecidas resultam em uma elasticidade-renda do consumo total de energia elétrica de 1,23 no período.

4.3.3 Intensidade energética

Existem várias formas de mensurar as relações entre indicadores econômicos e energéticos. Um dos indicadores mais usados, especialmente em estudos comparativos, é o Indicador de Intensidade Energética (IIE), que é a razão entre o consumo de energia de um país, expresso em alguma unidade energética (por exemplo, em tep), e o valor do seu PIB, mensurado em unidades monetárias²¹. Em outros termos, o IIE expressa quanto de energia é necessário para a produção de uma unidade monetária do PIB.

O Indicador de Intensidade Energética é, dessa forma, também considerado uma medida da eficiência da utilização da energia para a geração de riqueza no país. De uma maneira geral, pode-se afirmar que a eficiência energética aumentava quando se consegue realizar um serviço e/ou produzir um bem com uma quantidade de energia inferior à que era usualmente consumida. Nesse sentido, ser eficiente do ponto de vista energético equivale a gastar menos quantidade de energia para se obter um mesmo resultado final; ou ainda, gastar a mesma quantidade de energia e obter maiores rendimentos.

Um indicador de intensidade energética muito alta aponta a necessidade de utilizar muita energia para gerar cada unidade de PIB. Segundo Queiroz (2007), a comparação IIE tende a revelar disparidade entre países e regiões devido às diferentes dotações de recursos energéticos, os hábitos de consumo de energia, o clima, o grau de desenvolvimento tecnológico, o rendimento energético dos equipamentos etc. Na tabela 13 é apresentada a intensidade energética no Brasil para os consumidores industriais que possuem alta intensidade energética.

Tabela 13 – Intensidade energética nos segmentos industriais / Fonte: EPE/MME, 2005.

Setor	Intensidade energética ¹ (tep/mil US\$)	Intensidade energética relativa ²
Indústria - total	0,386	1,00
Extrativa mineral	0,803	2,08
Não metálicos	1,035	2,68
Metalurgia ³	1,341	3,47
Química	0,258	0,67
Alimentos e bebidas	0,876	2,27
Têxtil	0,533	1,38
Papel e celulose	0,817	2,12
Outras	0,057	0,15

Notas: 1 - Em US\$ constante de 2003; 2 - Relativa à intensidade energética da indústria como um todo; e
3 - Inclui os seguintes segmentos industriais ferro-gusa e aço; ferro-ligas e não-ferrosos e outros da metalurgia.

²¹ O termo unidades monetárias não implica necessariamente que o indicador do PIB não desconte a inflação.

Esse indicador, no limite, era tão geral e precário para interpretar a relação entre o consumo de energia e a atividade econômica quanto o coeficiente elasticidade-renda, dado que o seu numerador e o seu denominador não eram mais homogêneos do que os presentes na elasticidade-produto. Sua melhor utilização era dedicada ao estudo de desagregações setoriais e fatoriais, possibilitando a busca pelos verdadeiros fatores explicativos do consumo energético. A partir da década de 1980, as modificações conjunturais e estruturais ocorridas no cenário internacional promoveram relevantes alterações nos critérios de aproveitamento de recursos energéticos. Se antes a maior parte das avaliações se concentrava nas perspectivas de expansão de oferta de energia, atualmente a ênfase no uso eficiente de energia torna-se preponderante.

A tabela 14 mostra as projeções para a intensidade energética e a tabela 15 mostra as projeções para intensidade elétrica (parcela de energia elétrica no consumo energético) para diferentes cenários macroeconômicos²².

Tabela 14 – Projeção de indicadores econômicos e de energia / Fonte: EPE

Discriminação/Ano	2005	2010	2020	2030	Média no período
PIB [R\$ bilhões de 2005]	1.939	2.415	3.837	6.712	-
Varição média no período (% a.a.)	-	4,5	4,7	5,8	5,1
População [milhões de habitantes]	185	198	220	239	-
Varição média no período (% a.a.)	-	1,3	1,1	0,8	1,0
PIB per capita [R\$ de 2005/hab]	10.452	12.195	17.434	28.136	-
Varição média no período (% a.a.)	-	3,1	3,6	4,9	4,0
Consumo final de energia ⁽¹⁾ [mil tep]	165.044	207.334	309.268	474.014	-
Varição média no período (% a.a.)	-	4,7	4,1	4,4	4,3
Consumo final de energia per capita ⁽¹⁾ [tep/hab]	0,890	1,047	1,405	1,987	-
Varição média no período (% a.a.)	-	3,3	3,0	3,5	3,3
Intensidade energética do PIB [tep/mil R\$ de 2005]	0,085	0,086	0,081	0,071	-0,7
Intensidade energética do PIB [tep/mil US\$ de 2005]	0,207	0,209	0,196	0,172	-0,7
Elasticidade-renda do consumo de energia	-	1,04	0,86	0,76	0,85

²² Os cenários utilizados nas projeções da EPE podem ser caracterizados como segue:

- **Cenário A:** Mais favorável, neste cenário o setor de serviços aumenta sua participação de 53,1% para 60,8% do PIB total em 2030, decorrente de um crescimento mais vigoroso da economia e da melhor distribuição de renda nacional e o setor agropecuário mantém sua participação relativamente constante.
- **Cenário B1:** Neste cenário, o setor industrial também perde participação relativa também por conta do crescimento significativo do setor serviços, mas em ritmo menos acentuado do que o observado no cenário A.
- **Cenário B2:** Neste cenário, adicionalmente aos blocos econômicos, o elevado custo-Brasil – visível principalmente nos gargalos relacionados à infra-estrutura – impedem as empresas brasileiras de aproveitar plenamente suas vantagens comparativas. Neste cenário, disputas comerciais e a dificuldade em remover as barreiras protecionistas acabam por prejudicar, por exemplo, a inserção mais ativa do agronegócio brasileiro no mercado internacional, exceto em alguns nichos específicos de mercado, em que as vantagens comparativas brasileiras são muito elevadas.
- **Cenário C:** A fragmentação do mundo, impedindo um comércio mais vigoroso entre países, e a administração pouco eficaz das questões domésticas geram um ambiente de reduzido crescimento econômico e pouca alteração da estrutura setorial do PIB.

Tabela 15 – Evolução dos indicadores econômico-energéticos por cenário / Fonte: EPE

Discriminação	2005	2030			
		A	B1	B2	C
Produto interno bruto (R\$ bilhões de 2005)	1.938	6.712	5.290	4.256	3.337
Varição média no período (% ao ano)	-	5,1	4,1	3,2	2,2
População total residente (milhões)	185	239	239	239	239
Varição média no período (% ao ano)	-	1,0	1,0	1,0	1,0
PIB per capita (R\$ [2005]/hab)	10.449	28.136	22.175	17.841	13.988
Varição média no período (% ao ano)	-	4,0	3,1	2,2	1,2
Consumo final de energia elétrica (TWh ⁽²⁾)	362	1.245	1.047	946	859
Varição média no período (% ao ano)	-	5,1	4,3	3,9	3,5
E. elétrica per capita (kWh/hab/ano)	1.950	5.220	4.388	3.966	3.602
Varição média no período (% ao ano)	-	4,0	3,3	2,9	2,5
Intensidade elétrica do PIB kWh/mil R\$ de 2005	193,6	192,2	205,0	230,3	266,7
Elasticidade-renda do Consumo de energia elétrica	-	1,00	1,06	1,23	1,60

4.3.4 Substituição de energéticos

A adequação de reservas de combustíveis fósseis e do urânio, em conjunto, e em escala mundial, para atender a demanda, considerando-se horizonte de tempo aqui adotado de vinte a trinta anos, não traz preocupação, conforme apresentado na tabela 16.

Tabela 16 – Reservas mundiais de recursos energéticos não-renováveis (2002) /Fonte: WEC, 2005

Recursos	Países com as cinco maiores reservas	% do total mundial	Participação do Brasil	Reservas mundiais (A)	Produção mundial (B)	Relação (A)/(B)
Carvão	Estados Unidos, Rússia, China, Índia, Austrália	76	1,0%	909 bilhões de t	4.823 milhões de t	188
Petróleo	Arábia Saudita, Iraque, Irã, Emirados, Kuwait	61	0,9%	1.099 bilhões de barris	26,7 bilhões de barris	41
Gás	Rússia, Irã, Qatar, Arábia Saudita, Emirados	68	<0,1%	171 trilhões de m ³	2.600 bilhões de m ³	65
Urânio	Austrália, Canadá, Casaquistão, Níger, Brasil	73	3,5%	2.458 milhões de t de U	32.586 t de U	75

Quanto à relação entre reservas e produção, o caso menos favorável é o do petróleo, em que a reserva reconhecida corresponde a 41 anos de produção equivalente à de 2002. Considerando-se o ainda crescente consumo, o horizonte provável é menor. Note-se, no entanto, que a avaliação das reservas recuperáveis de petróleo não pode ser precisa, a cada momento se

modifica em função de novas descobertas ou de novas tecnologias de extração, e isso pode ocorrer, como vem ocorrendo, em diversos pontos do globo.

Apesar da situação relativamente confortável com relação às reservas, a preocupação ambiental, associada à percepção de um horizonte limitado para a economia do petróleo motivam esforços do melhor aproveitamento das energias renováveis. Entre elas é conveniente distinguir as tradicionais, hidráulica e biomassa, das que requerem novas tecnologias, notadamente a energia solar e eólica, que se encontram disponíveis em cada caso. Tem menor significado as energias geotermal e das marés, pela sua concentração em pontos bem definidos, necessidade de soluções específicas ou de aproveitamento tecnicamente difícil.

O potencial de energia hidráulica já foi quase totalmente aproveitado nos países industrializados. Os países detentores dos cinco maiores potenciais são: China, Rússia, Brasil, Canadá e Estados Unidos, conforme apresentado na tabela 17. Os dados brasileiros são detalhados nas tabelas 18 (potencial ainda não explorado) e 19 (potencial aproveitado).

Tabela 17 – Potencial mundial de energia hidráulica (2002) / Fonte: WEC, 2005.

PAÍSES	POTENCIAL MW/ANO (A)	GERAÇÃO MW/2002 (B)	RELAÇÃO B/A, %	CAPACIDADE INSTALADA MW	FATOR DE CAPACIDADE %
China	1.270.000	257.000	20	83.000	37
Rússia	852.000	164.000	19	45.000	42
Brasil	811.000	285.000	35	65.000	50
Canadá	522.000	345.000	66	67.000	58
EUA	501.000	263.000	52	80.000	38

Tabela 18 - Potencial hidrelétrico brasileiro por bacia hidrográfica / Fonte: ELETROBRAS, 2003

Bacia	Estimado		Inventariado		Total (MW)	
	(MW)	% em relação ao total	(MW)	% em relação ao total	(MW)	% em relação ao total
Bacia do Rio Amazonas	64.164,49	78,8	40.883,07	23,0	105.047,56	40,6
Bacia do Rio Tocantins	2.018,80	2,5	24.620,65	13,9	26.639,45	10,3
Bacia do Atlântico Norte/Nordeste	1.070,50	1,3	2.127,85	1,2	3.198,35	1,2
Bacia do Rio São Francisco	1.917,28	2,4	24.299,84	13,7	26.217,12	10,1
Bacia do Atlântico Leste	1.779,20	2,2	12.759,81	7,2	14.539,01	5,6
Bacia do Rio Paraná	7.119,29	8,7	53.783,42	30,3	60.902,71	23,5
Bacia do Rio Uruguai	1.151,70	1,4	11.664,16	6,6	12.815,86	5,0
Bacia do Atlântico Sudeste	2.169,16	2,7	7.296,77	4,1	9.465,93	3,7
Total	81.390,42	100	177.435,57	100	258.825,99	100

Segundo Leite (2007), de modo geral os números relativos ao potencial ainda por desenvolver são otimistas e dão uma primeira perspectiva errônea, bem maior do que a que poderá vir a ser efetivamente realizada. Além da falta de estudos adequados nos países menos

desenvolvidos, a maior parte do potencial tecnicamente exequível está sujeita a obstáculos de natureza social ou ambiental, ou mesmo política, e não será realizado.

Tabela 19 - Capacidade instalada por bacia hidrográfica (MW) / Fonte: ELETROBRAS, 2003

Bacia	Capacidade Instalada (MW)	
Bacia do Rio Amazonas	667,30	1,0%
Bacia do Rio Tocantins	7.729,65	11,7%
Bacia do Atlântico Norte/Nordeste	300,92	0,5%
Bacia do Rio São Francisco	10.289,64	15,5%
Bacia do Atlântico Leste	2.589,00	3,9%
Bacia do Rio Paraná	39.262,81	59,3%
Bacia do Rio Uruguai	2.859,59	4,3%
Bacia do Atlântico Sudeste	2.519,32	3,8%
Brasil	66.218,23	100%

O potencial de expansão da biomassa como fonte de energia se divide entre a madeira, derivados de outras origens agrícolas e resíduos urbanos. A madeira sempre teve grande participação na matriz energética mundial, sob a forma de lenha para queima direta, complementarmente, em muito menor escala, como carvão vegetal e licor negro proveniente da indústria da celulose. A maior parte é utilizada com técnica primitiva em países pobres, conforme ilustrado na tabela 20. A Europa e a América do Norte consomem apenas 13% do total. Trata-se de uma fonte que tem amplo espaço para crescimento mediante reflorestamento, com possibilidade de contribuir para produzir energia e carvão segundo técnicas que vão sendo desenvolvidas, se estas se tornarem comercialmente interessantes.

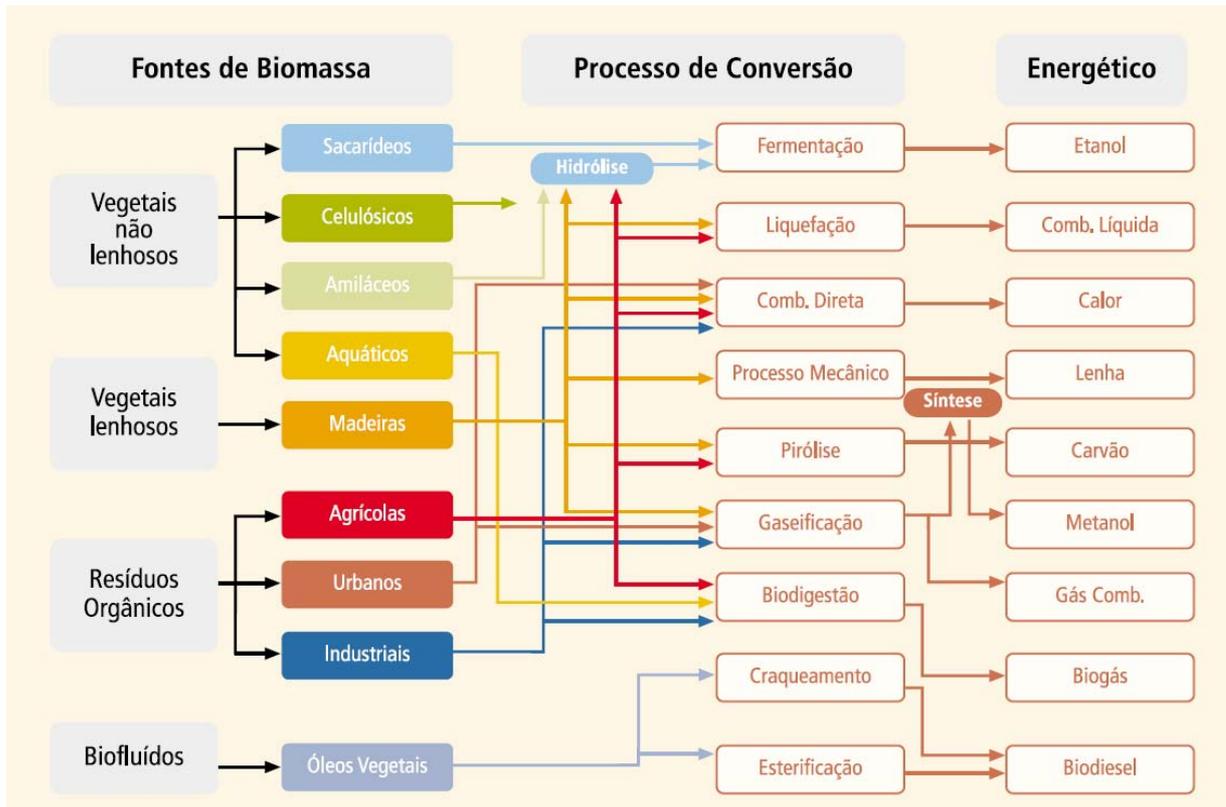
Tabela 20 – Consumo de biomassa (Mtep) / Fonte: AIE, 1998

Pais ou Região	Biomassa [1]	Outros	Total [2]	[1/2] %
Mundial	930	5.713	6.643	14
China	206	649	855	24
Leste Asiático	106	316	422	25
Sul da Ásia	235	188	423	56
América Latina	73	342	415	18
África	205	136	341	60
Países em desenvolvimento	825	1.632	2.457	34
Países da OCDE	81	3.044	3.125	3

Entre as outras origens agrícolas de biomassa, continua a ter posição de destaque a cana-de-açúcar, notadamente no Brasil, onde não é fantasia imaginar-se que ainda possa ter substancial

crescimento. Toma corpo a utilização de oleaginosas para produção complementar ao óleo diesel. Isso se faz tanto a partir de grandes culturas, como a soja e o milho nos Estados Unidos, quanto a partir de culturas menos extensas, como, por exemplo, a mamona no Brasil e a recente possibilidade de utilização do biodiesel a partir de diferentes fontes. A figura 21 mostra as possibilidades de utilização potencial da biomassa.

Figura 21 – Diagrama dos processos de conversão energética da biomassa / Fonte: EPE



Estão em intenso desenvolvimento, algumas já com instalações em operação comercial, as tecnologias para aproveitamento das energias de origem solar e eólica com possibilidades de ocupar parcela significativa na Matriz Energética futura. Ambas têm caráter intermitente, o que condiciona a sua utilização. A primeira tem imenso potencial no que se refere à sua utilização mediante painéis solares para aquecimento de água.

Na geração de eletricidade, segundo tecnologias de alto investimento, podem ser úteis no atendimento de situações especiais que dificilmente possam ser alcançadas por outras fontes. Nas instalações eólicas, os grandes avanços técnicos viabilizaram a sua utilização em áreas privilegiadas do mundo quanto à velocidade e ao regime dos ventos. A sua utilização, em escala comercial, tem limitações: requer áreas livres de ocupação urbana, o que vem sendo contornado com instalações no mar, além de alto investimento, que provavelmente será reduzido com a

esperada expansão da escala de produção dos equipamentos. A sua implantação comercial se tem limitado a alguns poucos países industrializados. Embora ainda haja divergências entre especialistas e instituições na estimativa do potencial eólico brasileiro, segundo estimativas coletadas pela EPE, a maioria dos estudos indica valores maiores que 60.000 MW, bem aquém do potencial efetivamente aproveitado, apresentado na tabela 21.

Tabela 21 – Energia eólica – capacidade instalada no mundo / Fonte: EPE

País/região	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Alemanha	2080	2874	4445	6113	8734	12001
Estados Unidos	1590	1927	2492	2555	4245	4645
Espanha	512	834	1530	2402	3550	4830
Dinamarca	1116	1450	1742	2297	2456	2889
Europa (exceto Alemanha, Dinamarca e Espanha)	1058	1411	1590	2610	2760	3637
Ásia	1116	1194	1287	1574	1920	2184
Austrália e Pacífico	33	63	116	221	410	524
Continente americano (exceto EUA e Brasil)	52	128	194	223	302	353
África e Oriente Médio	24	26	39	141	147	149
Brasil	3	7	20	20	20	22
Total	7584	9914	13455	18156	24544	31234

5 METODOLOGIAS DE PROJEÇÃO DE DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA

5.1 TRABALHANDO COM INCERTEZAS

Com o crescimento econômico e o desenvolvimento tecnológico, verifica-se a substituição de combustíveis por eletricidade no segmento industrial e o crescimento da eletrificação nos segmentos residencial, comercial e de serviços. Esses fatores vêm induzindo um crescimento do consumo de eletricidade no Brasil, que foi bastante destacado durante as décadas de 60 e 70.

No entanto, além de eventuais erros de projeções ocasionados por momentos de aceleração ou desaceleração econômica, outros fatores como melhorias na eficiência do uso da energia e a elasticidade dos preços impactam nos resultados das projeções. Melhorar a exatidão das projeções e produzir planos de investimentos mais realistas é condição essencial para as empresas de eletricidade e empresa elétrico-intensivas realizem planejamentos eficientes.

A construção de modelos de previsão traz inerentemente uma combinação de ações de julgamento e de análises estatísticas, sendo estes os principais fatores responsáveis pela introdução de erros de projeção. Além disso, a volatilidade dos ambientes atuais é bem diferente da situação em que foram produzidos os primeiros modelos econométricos. Segundo Dipp (2001), as maiores fontes de incertezas atualmente são provenientes de:

- a) **Ritmos de crescimento econômico:** as interações dos fatores econômicos locais ou globais que induzem a variações entre períodos de crescimento maiores, menores ou períodos de recessão é um dos maiores desafios para os planejadores devido a necessidade de distinguirem mudanças estruturais de longo prazo e períodos cíclicos de curto prazo, especialmente porque o consumo de eletricidade tem uma forte ligação com o desenvolvimento econômico.
- b) **Fatores de mercado:** o mercado cativo de uma companhia de energia está sujeito a rápidas e permanentes mudanças. Estas mudanças devem ser analisadas sob dois aspectos: A maneira como a concessionária vê seus consumidores e como os consumidores tomam suas decisões com relação ao consumo de energia. O mercado muda de maneira que nem tudo se reflete nos dados históricos e, daí a necessidade de

um acompanhamento permanente do consumo de energia por cada segmento do mercado em separado.

- c) **Fatores tecnológicos:** um inesperado e explosivo crescimento nas tecnologias da computação e de comunicações na última década permite às concessionárias serem mais produtivas e aumentarem os serviços a seus consumidores levando em conta o valor dos serviços nos seus custos. Coletivamente estes progressos tecnológicos possuem um potencial para alterar o uso da energia drasticamente, fato este que adiciona incerteza às projeções da demanda de energia.
- d) **Fatores ambientais:** geralmente os planejadores das concessionárias pensam diferentemente as suas operações quando discutem fatores ambientais como o aquecimento global, chuva ácida e emissões de particulados. Entretanto, um fenômeno igualmente importante está tomando lugar no mercado de energia. As decisões de investimentos tomadas pelos grandes investidores em relação às regulamentações ambientais. Estas decisões incluem análises sobre os níveis de poluição emitidos, eficiência na produção, bem como a escolha da forma de energia a ser utilizada.
- e) **Fatores políticos:** decisões políticas são tomadas mundialmente pelo impacto da situação energética (Ex: preço do petróleo), mas o mais importante, é que decisões políticas em níveis regionais se tornaram mais complexas devido a objetivos múltiplos e às vezes conflitantes, que levam os tomadores de decisão a direções opostas. Estes objetivos estão relacionados com a qualidade ambiental, a estabilidade do crescimento econômico e com a competição por limitados recursos energéticos.
- f) **Fatores sociais:** fatores como o crescimento demográfico têm sido analisados mais freqüentemente nos trabalhos de projeções, para assim minimizarem-se as chances de surpresas. Embora ferramentas para estudos demográficos tenham sido desenvolvidas e utilizadas a um longo tempo, novas questões, baseadas em necessidades de detalhamento de usos finais, estão sendo levantadas incrementando as possibilidades destas ferramentas.

Segundo Dipp (2001), a introdução destas e de outras fontes de incertezas conduziram a uma evolução nas metodologias de projeção na indústria de energia elétrica, que além de modelos

matemáticos de complexidade cada vez maior conforme ilustrado na figura 22, incluem análises de cenários e de planos de negócio, com abordagens semelhantes aos processos de planejamento estratégico adotados há tempos por outros setores econômicos.

Para uma discussão dos novos paradigmas de planejamento e previsão de mercado, é importante analisar as metodologias utilizadas no passado recente, e os modelos atuais, que permitem a inserção de variáveis exógenas.

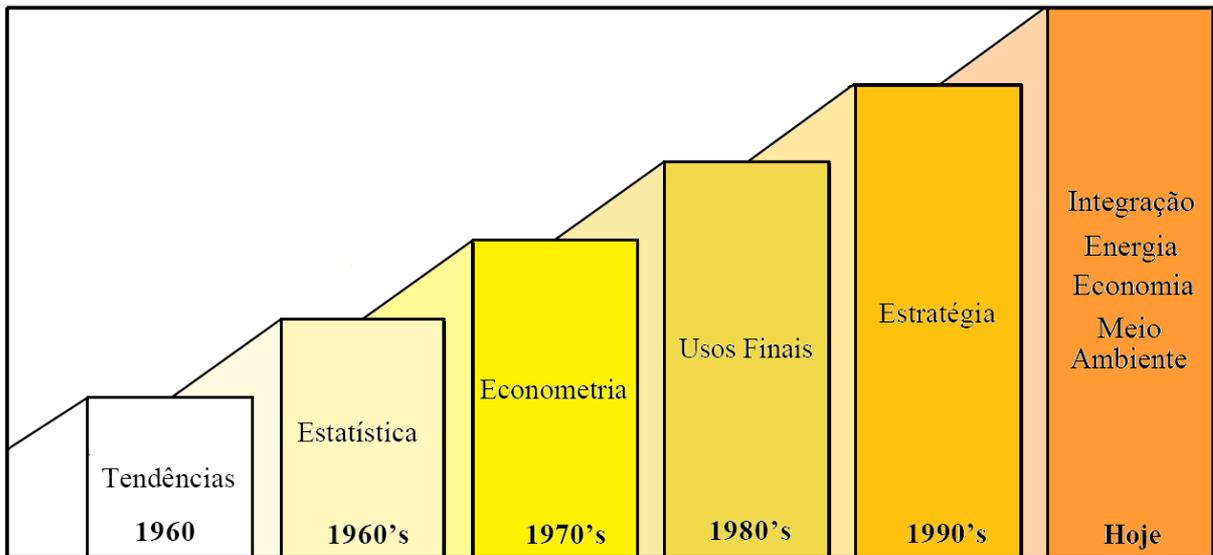


Figura 22 – Evolução da metodologia da projeção da demanda / Fonte: adaptação a partir de Dipp (2001)

A economia mundial apresenta um processo dinâmico. Assim, correlacionar mecanicamente o consumo de energia com o desempenho econômico, seja por elasticidade-renda, seja por elasticidade-preço, pode conduzir a graves desvios de previsão. Segundo Caio e Bermann (1998), deve-se considerar que o processo evolutivo das nações possui características distintas e os agentes intervenientes dos vários mercados atuam de forma peculiar em cada nação ou estado, de acordo com os aspectos sócio-econômicos de cada região.

A gestão tradicional das empresas de energia, desde a década de 1990 já inicia com um cenário macroeconômico almejado, onde as informações relativas a evolução do mercado, constituem-se num dado externo, não manipulável diretamente, baseado em grande parte na evolução histórica dos parâmetros socioeconômicos.

Nesse esquema clássico de planejamento de suprimento do setor energético se busca suprir as necessidades utilizando as alternativas disponíveis de suprimento tradicionais. Porém, a realidade atual obriga a adoção de novas formas de planejamento e de gestão das empresas. Estas

necessitam hoje associar as políticas de energia, de economia e de meio-ambiente de forma a constituir um todo integrado e coerente.

Assim os novos conceitos de política de energia devem comportar fundamentalmente soluções tecnológicas que tenham como características básicas o mínimo custo para os indivíduos e sua coletividade, a mínima dependência externa para o país e a máxima segurança energética, associadas ao mínimo nível de poluição para a sociedade. Essa estrutura deve conter as diversas fases de implantação de uma política de energia promovendo a comparação das alternativas de gestão da demanda de energia com as soluções de suprimento inseridas dentro das políticas econômicas e de meio-ambiente.

5.2 MODELOS DE PREVISÃO DE DEMANDA

5.2.1 Modelos econométricos

No início das atividades de planejamento, modelos econométricos tradicionais e simplificados foram utilizados nas previsões de demanda de energia. Segundo Queiroz (2007), o trabalho de referência na análise de uma relação econométrica entre a demanda de energia e crescimento econômico foi publicado por E. Mason (1955) e constatava a existência de uma correlação significativa entre a renda nacional e o consumo de energia per capita, buscando estabelecer estimativas sobre a elasticidade-renda da energia a partir da análise de dados relativos à renda nacional e ao consumo de energia de 42 países para o ano de 1952.

Nesses períodos, os preços reais de energia apresentavam uma tendência decrescente e, por conseguinte, despertavam pouco interesse como variável explicativa para o crescimento do consumo de energia. O choque representado pela alta do preço do petróleo, em 1973, levou à revisão dessa posição, indicando a necessidade de introduzir a variável elasticidade-preço nos modelos explicativos do comportamento do consumo de energia.

A crise dos juros internacionais e o segundo choque do petróleo, em 1979, a elevação das taxas de inflação, a redução do crescimento econômico e as dificuldades macroeconômicas dos países em desenvolvimento - e mesmo de um grande número de países desenvolvidos - são fatores que caracterizam o fim das regularidades de comportamento anteriores e dificultaram a aplicação de técnicas e dos modelos econométricos. Estes se apoiavam ou se fundamentavam na evolução das séries históricas, presumindo a existência de um regime imutável de políticas e de

comportamento dos agentes econômicos.²³ A evolução dos modelos econométricos, segundo Queiroz (2007) se deu conforme resumido no quadro 8.

Quadro 8 – Evolução dos modelos econométricos

Período	Referência / obra	Conclusões
Década de 60	Yves Mainguy / <i>L'Economie de l'energie</i> (1967)	A relação de proporcionalidade entre as variações no consumo de energia e a renda nacional poderia ser traduzida em uma elasticidade muito próxima a 1 para a maioria dos países.
Década de 70	Joel Darmstadter / <i>Energy in the World Economy</i> (1971)	Embora a relação entre consumo de energia e PIB fosse estreita, ela não era próxima de 1. Darmstadter (1971) constatou que havia dispersões significativas, que não podiam ser ignoradas, entre diferentes grupos de países, segundo os diferentes estágios de desenvolvimento. O modelo econométrico simples utilizado por Darmstadter era especificado da seguinte forma: $\text{Log}(E/P) = \alpha + \beta Y/P,$ Onde E/P representa o consumo de energia <i>per capita</i> (E é a energia, mensurada em toneladas equivalentes de carvão, P representa a população, em número de habitantes) e Y/P, a renda <i>per capita</i> .
	Peter E. Janosi e Leslie E. Grayson / <i>Patterns of energy consumption and economic growth and structure</i> (1972)	Em 1972, Peter E. Janosi e Leslie E. Grayson publicaram o trabalho “Patterns of energy consumption and economic growth and structure” que continha um modelo baseado nas relações entre o crescimento do PIB e o consumo de energia no período de 1953 a 1965 para 30 países. Os resultados encontrados foram excelentes para o modelo que expressava: $\text{Log } E = \alpha + \beta \text{PIB}.$ Nesse trabalho, a forte relação entre o crescimento econômico e o consumo de energia foi confirmada, mas os coeficientes de elasticidade em relação ao PIB nos países mais ricos era quase sempre inferior a 1, enquanto era superior a esse valor nos países mais pobres. Segundo suas conclusões, a elasticidade do consumo de energia em relação ao PIB parecia ser tanto mais elevada quanto maior fosse o crescimento da indústria em uma economia predominantemente agrícola. A tendência se invertia à medida que a participação da indústria aumentava no PIB.

²³ Os modelos econométricos anteriores à década de 1970 ignoravam o que hoje é referido por “Crítica de Lucas”, formulada por Robert E. Lucas. O influente paper de Lucas (*Economic Policy Evaluation: A Critique*, in K. Brunner and A.M. Meltzer (eds.), **The Philips Curve and Labor Markets**, Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy, Volume 1, North-Holland, Amsterdam, 1976) contribuiu de maneira decisiva para o descrédito sobre a utilidade prática da econometria. De forma simplificada, Lucas argumentou que os parâmetros de um modelo econométrico não poderiam ser utilizados para propósitos de política, uma vez que os agentes econômicos estariam constantemente revisando suas expectativas diante de mudanças no ambiente econômico.

Segundo Caio e Bermann (1998) os modelos econométricos não conseguem decompor quantitativamente o peso dos principais agentes intervenientes. Supõe-se simplesmente que as variáveis se mantenham inalteráveis, *ceteris paribus*. Esse fato reduz bastante o grau de precisão do fundamento empírico e do valor explicativo das análises de correlação e do uso dos coeficientes de elasticidade, os quais apresentam uma margem de erro proporcional à influência simultânea dessas forças sobre o consumo de energia.

Para um horizonte de tempo compatível com a base estatística e num contexto de estabilidade e regularidade do crescimento econômico, essas metodologias ainda possuem sua validade quando utilizadas no horizonte de curto prazo, uma vez que geralmente, em um espaço de tempo relativamente pequeno, não ocorrem transformações substanciais na estrutura econômica, social e tecnológica. Contudo, tornava-se necessária a utilização de abordagens alternativas que pudessem explicar melhor o comportamento do consumo de energia.

5.2.2 Modelos técnico-econômicos

A fragilidade constatada nos modelos econométricos culminou no desenvolvimento de outros métodos, com o objetivo de se obter melhor compreensão dos fatores determinantes da demanda de energia, combinando análise econômica e estudos técnicos.

Os modelos técnico-econômicos procuram expor as necessidades de energia útil de maneira mais desagregada possível, selecionadas por usos mais importantes, e incorporam na previsão da demanda de energia, mediante auxílio de cenários econômicos previamente elaborados por especialistas em planejamento, o elemento da incerteza quanto ao futuro.

Estas técnicas visam associar os requisitos de energia útil a indicadores físicos de atividades consumidoras de energia, o que permite isolar a influência da substituição de energéticos que possuam diferentes graus de eficiência e preços, além de referenciar os indicadores econômicos e o peso tecnológico no crescimento da demanda de energia.

No decorrer da maturação dos modelos técnico-econômicos continuou-se a utilizar, pelo menos parcialmente, modelos econométricos no tratamento da demanda e da oferta de energia. Surgiram assim, os modelos de equilíbrio, que utilizam as vantagens dos métodos econométricos enquanto instrumentos de previsão, agregados aos modelos de segregação, que consideravam, entre outros aspectos, a evolução das opções tecnológicas, a influência das políticas setoriais,

principalmente nas áreas mais importantes, tais como a indústria, o transporte, a habitação e a classe rural.

O quadro 9 foi elaborado a partir de Greening et. AL. (2007) e de Caio e Bermann (1998), organizando uma relação entre os tipos de métodos que podem ser aplicados e as questões ou situações que indicam sua aplicação, bem como vantagens e desvantagens associadas. Nessa tabela foram mantidas também as abordagens econométricas.

Os exemplos de modelos citados apenas ilustram as diferentes abordagens, havendo vários modelos complementares aos citados.

Quadro 9 – Comparação entre métodos de análise de demanda de energia

Técnica de Análise	Aplicações / Questões típicas	Vantagens e desvantagens
<p>Métodos econométricos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modelos de equações simples • Modelos de múltiplas equações • Análise de séries temporais <p><i>Exemplo: Modelo VAR</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Qual será a demanda agregada para uma fonte de energia? • Qual será o impacto de uma alteração de preço ou de tarifas na demanda de energia ou tipo de fonte energética utilizada? • Mudanças de fontes de energia ou mudanças estruturais modificam a demanda de energia? 	<p><u>Vantagens:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • variedade de modelos disponíveis em diferentes graus de sofisticação; • podem ser utilizados para analisar a correlação entre diferentes aspectos; • resultados podem ser depurados por meios mais sofisticados. <p><u>Desvantagens:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • perda de detalhes técnicos nas equações de simulação; • o resultado depende da qualidade e disponibilidade de dados históricos <p>Especificidade dos resultados obtidos.</p>
<p>Decomposição de tendências energéticas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Decomposição de índices e análises de correlações • Desagregação de demanda, conduzindo análise por setores ou segmentos <p><i>Exemplo: Modelo de Requerimentos</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Quais os impactos de mudanças estruturais ou de mudanças em eficiência energética nas projeções de demanda agregada de energia? • Os atributos de previsão são os mesmos para diferentes regiões ou segmentos? 	<p><u>Vantagens:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • fornece análises e correlações entre mudanças na demanda de energia e fatores específicos; • complemento útil aos métodos top-down e bottom-up. <p><u>Desvantagens:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • método sem refinamento e pouca aceitação por simplicidade dos modelos envolvidos. • sensibilidade das informações em relação ao nível de desagregação utilizado.

Quadro 9 – Comparação entre métodos de análise de demanda de energia (continuação)

Técnica de Análise	Aplicações / Questões típicas	Vantagens e desvantagens
<p>Modelos “Top-down”:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modelos macro-econométricos • Modelo de equilíbrio geral • Modelos de simulação estáticos ou dinâmicos <p><i>Exemplo: Matriz Insumo-produto de Leontieff</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Quais são as conseqüências econômicas de políticas de setores específicos da indústria na demanda de energia? • O crescimento econômico será impactado por políticas industriais? • Qual o efeito potencial de uma política de eficiência energética na indústria? 	<p><u>Vantagens:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • fundamentação na teoria econômica; • análise de interações globais entre uma série abrangente de indicadores econômicos; • incorporação de projeções econométricas para parâmetros utilizados nos modelos. <p><u>Desvantagens:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • a utilização de funções de produção agregadas limitam a inserção da influência de aspectos tecnológicos nas projeções; • detalhamento de dados necessários para suportar as análises conduzidas; • dificuldade para aplicação (apenas políticas com efeitos quantitativos mensuráveis).
<p>Análises micro-econômicas em setores específicos da indústria:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modelos de otimização e de simulação <p><i>Exemplo: Modelo MESSAGE</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Qual o impacto de riscos técnicos e econômicos na realização de um investimento? • Quais tecnologias satisfazem aspectos econômicos e ambientais no consumo de energia? 	<p><u>Vantagens:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • fornecer detalhes para um setor ou segmento específico; • prover informações e conclusões que podem integrar outros tipos de análises. <p><u>Desvantagens:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • falta de interação com outros setores da economia e não consideração de possíveis interações; • escopo de análise limitado.
<p>Modelos “Bottom-up” ou de engenharia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modelos híbridos • Modelos de otimização e de simulação <p><i>Exemplos: Modelo MARKAL e Modelo LEAP</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Quais são as implicações nas projeções de demanda de energia se uma política de redução de emissão de gases foi estabelecida? • Qual a tecnologia mais adequada para o atendimento de metas de redução de emissão de gases ou aumento de eficiência energética? • Qual o efeito da introdução de uma nova tecnologia na demanda de energia? 	<p><u>Vantagens:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • consideração de tecnologias e processos específicos; • podem ser incluídas características de tecnologias específicas. <p><u>Desvantagens:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • quantidade de detalhes necessários; • necessidade de realização de previsões sobre evoluções tecnológicas que podem não se mostrar efetivas.

5.2.2.1 Modelo VAR

Para ilustrar uma abordagem econométrica, foi selecionado o modelo de Modelagem de Vetores Auto-regressivos (VAR), aplicando-o na estimação da relação entre vetores de consumo de energia elétrica e as elasticidades de longo-prazo que influenciam esse consumo (vetores de cointegração). Segundo Schmidt e Lima (2004) este tipo de modelagem²⁴ permite levar em consideração as variáveis e suas defasagens, permitindo conciliar as tendências de curto e longo prazos.

A demanda residencial por energia elétrica pode ser descrita, a princípio, como um resultado de um problema de maximização de utilidade, sujeita a uma restrição orçamentária. Já as demandas comercial e industrial podem ser descritas como um problema de minimização de custo, sujeito a um certo nível de produção. Contudo, como a demanda por eletricidade, seja para um indivíduo ou máquina pode ser interpretada como um fator que participa de processos ou atividades produtoras de bens. Desta forma, um modelo que pode descrever o problema pode assumir a forma de uma “função de demanda derivada” por energia elétrica:

$$C_t = kP_t^\alpha Y_t^\beta L_t^\delta S_t^\phi, \quad k > 0, \alpha < 0, \beta > 0, \delta < 0, \phi > 0$$

que tomando o seu logaritmo, chega-se à seguinte equação linear de demanda por energia elétrica:

$$\text{Log}C_t = \text{Log}k + \alpha\text{Log}P_t + \beta\text{Log}Y_t + \delta\text{Log}L_t + \phi\text{Log}S_t$$

Onde:

- C_t = consumo (residencial, comercial ou industrial) de energia elétrica no tempo t ;
- P_t = tarifa (residencial, comercial ou industrial) de energia elétrica no tempo t ;
- Y_t = renda (rendimento do trabalhador, no caso residencial, e PIB nos casos comercial e industrial) no tempo t ;
- L_t = preço dos aparelhos eletrodomésticos (residencial) ou eletrointensivos (ligados ao comércio ou indústria) no tempo t ;
- S_t = preço de um bem substituto à energia elétrica no tempo t (o único segmento que tem um possível bem substituto à energia elétrica é o industrial);
- $\xi_p = \alpha$ é a elasticidade-preço,
- $\xi_r = \beta$ é a elasticidade-renda,

²⁴ Publicada originalmente em:

Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegrating vectors. *Journal of economic dynamics and control*, 12:231-254.

Johansen, S. (1991). Estimation and hypothesis testing of cointegrating vectors in Gaussian vector autoregressive models. *Econometrica*, 59:155-80.

- $\xi = \delta$ é a elasticidade-preço do estoque dos aparelhos eletrodomésticos/eletrointensivos,
- $\xi = \quad$ é a elasticidade-preço do bem substituto e
- $k =$ constante.

Os dados para a estimação da demanda por energia elétrica poderiam, a princípio, ter três periodicidades distintas : mensal, anual ou trimestral. Para a estimação da demanda deve ser aplicado logaritmo natural aos valores observados para se obter as elasticidades da demanda por energia elétrica, como parâmetros da equação estimada.

Após testes estatísticos complementares que definem parâmetros de apoio à aplicação do modelo (utilização da constante e de tendência e defasagens de dados a serem utilizadas) parte-se para a verificação da cointegração entre as séries escolhidas, fazendo-se uso de um VAR. Se as séries cointegrarem, pode-se dizer que há uma relação de longo prazo entre elas e os coeficientes do vetor de cointegração serão as elasticidades de longo prazo da demanda por energia elétrica.

Assim, pode-se expressar o VAR das seguintes formas:

a) simplificada (sem constante ou tendências):

$$\begin{bmatrix} C_t \\ P_t \\ Y_t \\ L_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{10} \\ A_{20} \\ A_{30} \\ A_{40} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{11}A_{12}A_{13}A_{14} \\ A_{21}A_{22}A_{23}A_{24} \\ A_{31}A_{32}A_{33}A_{34} \\ A_{41}A_{45}A_{43}A_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{t-1} \\ P_{t-1} \\ Y_{t-1} \\ L_{t-1} \end{bmatrix}$$

b) com constante e tendências:

$$\begin{bmatrix} C_t \\ P_t \\ Y_t \\ L_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{10} \\ A_{20} \\ A_{30} \\ A_{40} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{11}A_{12}A_{13}A_{14} \\ A_{21}A_{22}A_{23}A_{24} \\ A_{31}A_{32}A_{33}A_{34} \\ A_{41}A_{45}A_{43}A_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{t-1} \\ P_{t-1} \\ Y_{t-1} \\ L_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{10}t_C \\ B_{20}t_P \\ B_{30}t_Y \\ B_{40}t_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_t^C \\ e_t^P \\ e_t^Y \\ e_t^L \end{bmatrix}$$

c) completo, com constante, tendências e defasagens:

$$\begin{bmatrix} C_t \\ P_t \\ Y_t \\ L_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{10} \\ A_{20} \\ A_{30} \\ A_{40} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_{11}A_{12}A_{13}A_{14} \\ A_{21}A_{22}A_{23}A_{24} \\ A_{31}A_{32}A_{33}A_{34} \\ A_{41}A_{45}A_{43}A_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{t-1} \\ P_{t-1} \\ Y_{t-1} \\ L_{t-1} \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} B_{11}B_{12}B_{13}B_{14} \\ B_{21}B_{22}B_{23}B_{24} \\ B_{31}B_{32}B_{33}B_{34} \\ B_{41}B_{45}B_{43}B_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{t-2} \\ P_{t-2} \\ Y_{t-2} \\ L_{t-2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{10}t_C \\ B_{20}t_P \\ B_{30}t_Y \\ B_{40}t_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_t^C \\ e_t^P \\ e_t^Y \\ e_t^L \end{bmatrix}$$

5.2.2.2 Modelo de requerimentos

O Modelo de Requerimentos analisa em separado cada um dos setores de consumo. São considerados geralmente os seguintes setores de consumo: Residencial; Rural; Industrial; Comercial e Transporte. Em todos esses setores, há a preocupação em se identificar os grupos de consumidores que são homogêneos do ponto de vista energético, ou seja, os grupos que tenham consumos específicos, com a mesma estrutura por usos e por fontes similares. Esses grupos são denominados módulos homogêneos. Uma vez que a homogeneidade absoluta não existe, é necessário definir os limites de variação para que, efetivamente, esses módulos possam ser considerados homogêneos.

O esquema básico do modelo consiste em analisar de forma seqüencial os setores de consumo, definindo uma série de estratificações hierarquizadas que permitem a determinação destes módulos homogêneos, respeitando as características do requerimento energético e as possibilidades de aproveitamento dos mesmos, em função das particularidades setoriais. Segundo Caio e Bermann (1998), esse processo é suficientemente flexível, tanto para o usuário definir em cada segmento a configuração dos setores a serem analisados em função dos dados disponíveis, como para as suas características próprias do sistema observado.

5.2.2.3 Matriz Insumo-Produto de Leontief

Este método foi originalmente desenvolvido para analisar e avaliar as relações entre os diversos setores produtivos e de consumo de uma economia nacional. O modelo de insumo-produto foi concebido como uma técnica de auxílio no planejamento central de uma economia estatizada que visava uma descrição mais detalhada destas relações. Por ironia do destino ele acabou sendo aplicado para descrever a economia norte-americana. Procurava-se definir aqueles setores com maior “efeito repercussão” no processo econômico, partindo-se da constatação de que havia limitação capital (K), para investimentos (I). Um resumo do método pode ser avaliado no Anexo C.

O modelo de insumo-produto de Leontief²⁵ é geralmente construído para observar dados econômicos de uma região geográfica específica (nação, estado, regiões de planejamento, etc.). A idéia básica é que a atividade de um grupo de indústrias produtoras de mercadorias (outputs)

²⁵ Wassily Leontief, economista russo radicado nos Estados Unidos em 1931, desenvolveu o modelo insumo-produto em finais da década de 1930, sendo premiado com o Nobel de Economia no ano de 1973. O termo “insumo-produto” constitui uma tradução imprecisa do correspondente em inglês *input-output*.

consome mercadorias de outras indústrias (inputs) ao longo do processo de produção industrial num dado período de tempo. As linhas do quadro de insumo-produto registram os fluxos de saídas de produção, mostrando como a produção de um determinado setor de atividade produtiva se distribui entre os demais setores da economia, sendo possível avaliar a partir daí as demandas de energia em cada setor inter-relacionado.

Segundo Caio e Bermann (1998), essa metodologia possui um caráter eminentemente estático, sendo concebido a partir de refinamentos de modelos econométricos para considerar a evolução dos vários agentes intervenientes de uma sociedade. Esses agentes passam por etapas de desenvolvimento cujas mudanças, por vezes, são radicais, pois combinam avanços tecnológicos com hábitos de consumo.

Dentro de um processo logístico, pode-se deduzir que no longo prazo, quando os principais processos de produção que se inter-relacionam, atingirem um estágio de maturação aceitável, as mudanças serão muito sutis, não influenciando fortemente nas necessidades de insumos básicos para se produzir determinado bem. Nesse tempo, quando ocorrer uma estabilidade relativa²⁶ entre os vários setores da sociedade, pode-se aplicar este modelo, pois os coeficientes técnicos de produção estarão interagindo de forma satisfatória, viabilizando então, o seu emprego nas áreas de planejamento dos principais segmentos da sociedade.

5.2.2.4 Modelo MESSAGE

O modelo MESSAGE (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact) foi desenvolvido pela Agência Internacional de Energia Atômica da ONU (AIEA/ONU). O objetivo desse modelo é eleger os meios de produção energética que permitam abastecer uma demanda de fontes secundárias (exógena à metodologia), de forma a minimizar os custos de operação e manutenção, ao longo do período observado. Por sua formulação, o modelo analisa as substituições possíveis entre fontes energéticas nos diferentes centros de transformação, através do nível de consumo final.

Conforme apresentado na figura 23, o modelo fornece uma estrutura para representar um sistema de energia e todas as suas interdependências desde a extração das fontes de energia, importação e exportação, conversão, transmissão, distribuição e provisão de energia aos usuários finais. Ele possibilita o desenvolvimento de cenários de planejamento que minimize os custos

²⁶ Apesar da evidente instabilidade dos coeficientes em nível detalhado, como o método é aplicado a níveis mais agregados, o uso do mesmo justifica-se com a hipótese de que boa parte da instabilidade dos coeficientes microeconômicos se compensa e se suaviza no plano mais geral.

totais de operação do sistema a partir de restrições e parâmetros impostos ao modelo. Diversos parâmetros podem ser agregados ao modelo, tais como capacidade instalada, tecnologias, requisitos de energia, requisitos ligados à operação do sistema, custo, emissões atmosféricas, entre outros.

O modelo considera uma série de fontes primárias (petróleo, carvão, gás natural, urânio hidroeletricidade, solar geotermia e outras), e os centros de transformação que permitem obter as energias secundárias demandadas (eletricidade, combustíveis líquidos e gasosos, carvão, solar e calor distribuído). Essas demandas podem ser subdivididas regionalmente. Cada fonte de energia primária (exceto a solar e a hidroeletricidade) pode ser dividida em um número opcional de classes, tendo em conta, o preço de extração, a qualidade da fonte e a localização dos depósitos.

Essa estratificação permite representar no modelo, relações não lineares entre os custos de extração e a quantidade disponível de recursos. Em seguida, essas fontes primárias são transformadas, direta ou indiretamente, em fontes secundárias que satisfazem a demanda.

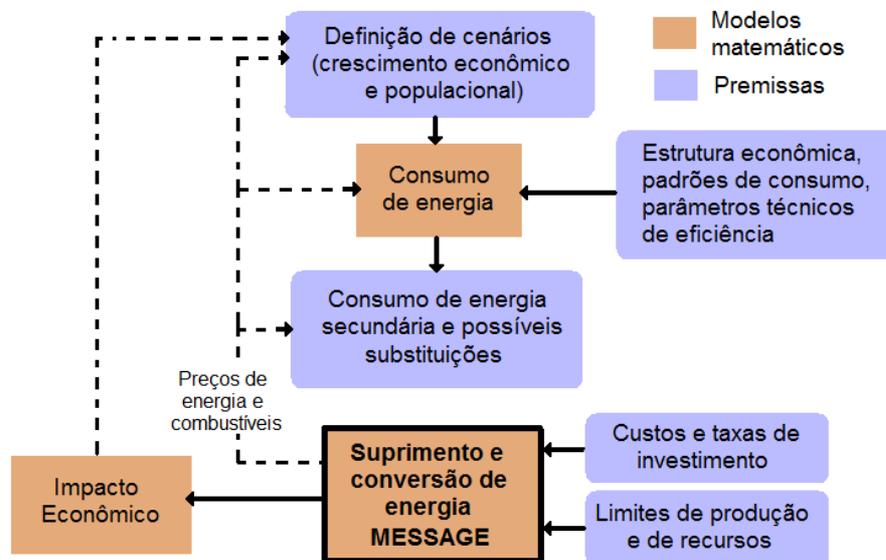


Figura 23 – Utilização do Modelo MESSAGE / Fonte: IIASA

5.2.2.5 Modelo MARKAL

O modelo MARKAL desenvolvido pela International Energy Agency²⁷ é utilizado para encontrar a composição ótima de atendimento da demanda pelas formas de energia disponíveis

²⁷ A Agência Internacional de Energia é sediada em Paris. Foi fundada pela OECD em 1974, após a primeira crise do Petróleo. Inicialmente era dedicada à prevenir interrupções no suprimento de petróleo, bem como atuar como uma fonte de informações e estatísticas sobre o Mercado internacional de petróleo e sobre outros setores de energia. Atualmente também tem desenvolvido

(“cardápio energético”). O modelo MARKAL tem sido aplicado para estudar o impacto de novas tecnologias a partir da demanda de energia útil, valendo-se de programação linear multiperiódica. Para isso, toma como função-objetivo, o valor presente dos custos do sistema energético, a partir da oferta primária até a energia útil. O modelo MARKAL calcula também o custo marginal de um dado recurso.

A exemplo do modelo MESSAGE, o “MARKet ALlocation model” representa os fluxos de energia desde a extração de fontes primárias até a utilização da energia em cada uso final. A diferença substancial, segundo Caio e Bermann (1998) é que o primeiro integra ao processo de otimização, a seleção do tipo de equipamento dos consumidores, desagregado por uso e tipo de fonte utilizada.

O modelo MARKAL requer como dado exógeno os consumos de energia útil para todos os usos em cada um dos setores do consumo em análise. Admite-se para essa seleção, um detalhamento das diversas tecnologias disponíveis, aplicadas nos vários processos de transformação, especialmente no tocante à produção de energia elétrica e de calor, conforme esquematizado na figura 24:

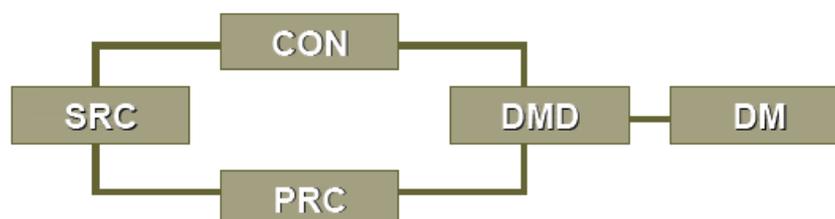


Figura 24 – Sistema energético de referência adotado no sistema MARKAL

Legenda:

- SRC = Fonte de energia primária
- COM = Unidade de conversão de energia
- PRC = Unidade de produção de energia
- DMD = Equipamentos que demandam energia para produção de produtos e serviços (demanda desagregada)
- DM = Demanda final de energia

Enquanto o modelo MESSAGE inclui o cálculo dos efeitos ambientais de cada tecnologia, no MARKAL, este se estende ao usuário final. Os efeitos ambientais não são somente mensurados, mas também selecionados entre as tecnologias disponíveis, com base nos limites admitidos de contaminação. A função objetivo utilizada pelo modelo pode ser múltipla, determinando vários impactos tecnológicos, inclusive de segurança no suprimento, considerando também, as emissões de CO₂ e outros gases.

5.2.2.6 Modelo LEAP

O sistema LEAP foi criado pelo Stockholm Environment Institute²⁸ para o planejamento de alternativas energéticas por meio da criação de cenários econômicos, tecnológicos, energéticos e ambientais definidos de maneira exógena. O sistema LEAP (IEE, 2006) foi desenvolvido para o planejamento de alternativas energéticas baseadas nos cenários socioeconômicos, energéticos e ambientais. Conforme apresentado de forma esquematizada na figura 25, inicia-se com a análise da demanda por meio de um modelo técnico-econômico do tipo contábil, ou seja, os determinantes da demanda são definidos de maneira exógena.

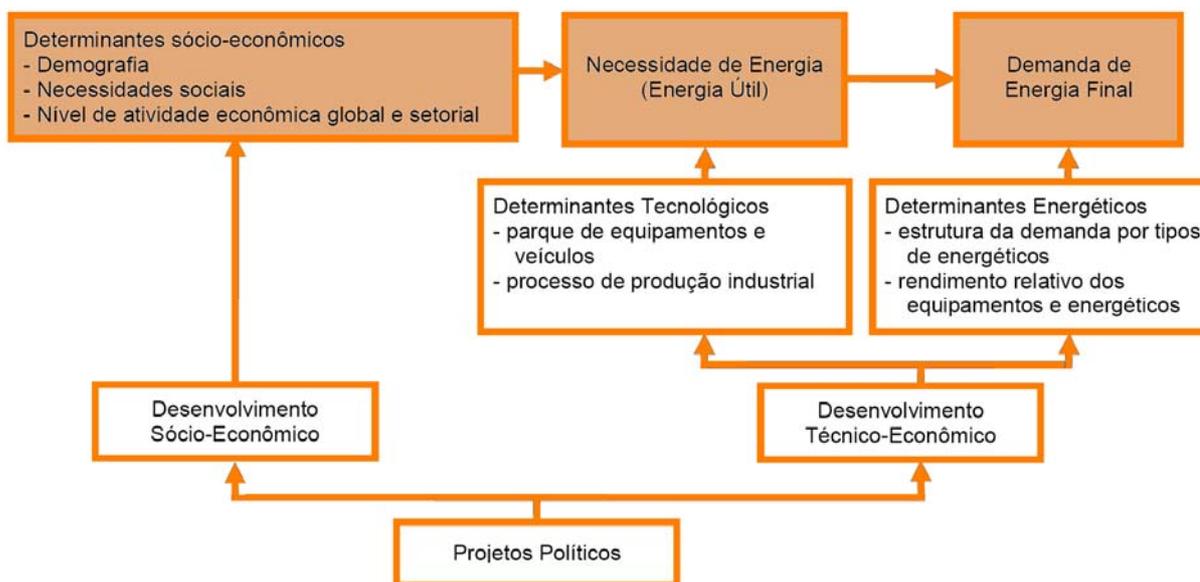


Figura 25: Análise Geral da Demanda Final - Sistema LEAP

Estes determinantes refletem o nível de satisfação das necessidades dos indivíduos, os níveis de atividade econômica, as mudanças tecnológicas e os processos de substituição entre os

²⁸ Instituto formado pelo governo da Suécia em 1989 para desenvolver pesquisas científicas que englobam questões ligadas ao desenvolvimento e ao meio-ambiente. Atualmente as pesquisas do instituto envolvem temas relacionados ao aquecimento global, sistemas de energia, vulnerabilidade e governança, recursos hídricos e poluição do ar.

diferentes energéticos. Segundo o modelo, a previsão da demanda de energia dos setores produtivos de uma economia depende, basicamente, da evolução de duas variáveis:

- a) do nível de atividade de cada setor, expressado por um indicador apropriado (valor agregado, produção física bruta, etc.;
- b) da intensidade energética (consumo específico), definida a partir da quantidade de energia necessária para a produção de uma unidade do indicador selecionado.

Conseqüentemente, as necessidades energéticas resultam de dois fatores: de um lado, o crescimento econômico e sua estrutura (participação dos diferentes setores) e, de outro, as condições e modalidades do aproveitamento da energia nos processos produtivos. Dentro deste último fator deve-se considerar também a estrutura dos energéticos utilizados e suas possibilidades de substituição, além das mudanças possíveis no uso da energia, resultantes do desenvolvimento de novas tecnologias ou dos avanços em conservação e eficiência.

O esquema, resumido a seguir, corresponde ao enfoque principal adotado pelo sistema LEAP para a análise da demanda futura. Para cada um dos sub-setores considerados, a relação básica que permite estabelecer a demanda de energia (DE) para cada período é dada pela expressão:

$$DE = IE \times NA$$

De acordo com a estrutura do modelo, as duas variáveis são analisadas de maneira exógena. O nível de atividade setorial (NA) e da fração de cada setor é calculado com base no Produto Interno Bruto (PIB), nos períodos considerados. Uma vez que o valor para o ano base seja conhecido, fundamentado nas especificações do modelo, a intensidade energética (IE) evolui sob a influência de dois fatores:

- a) **efeito estrutura**, que considera as mudanças da intensidade energética devido à alterações na composição ou estrutura da produção; e,
- b) **efeito técnico**, que engloba as mudanças de intensidade ligadas à introdução de novas tecnologias ou às políticas de conservação e economia de energia. Tal como as variáveis macroeconômicas, estes dois parâmetros são considerados de maneira exógena para cada período de previsão.

A análise da demanda do LEAP pode ser resumida conforme quadro 10.

Quadro 10 – Resumo da Análise Geral da Demanda Final (Sistema LEAP)

Na **primeira etapa**, a demanda é desagregada em grandes setores com funções econômicas e necessidades de energia semelhantes (indústria, transporte, residencial, comercial, público e agropecuário). Estes setores são, então, divididos em módulos energéticos homogêneos (sub-setores), cuja evolução é descrita a partir de um número restrito de parâmetros técnicos e variáveis explicativas.

Numa **segunda etapa**, identifica-se, para cada um dos diversos módulos homogêneos, inicialmente, a energia útil (essencialmente **uso calor**) para as diversas necessidades, nas quais competem as várias formas energéticas. Nos casos em que, em condições normais, as necessidades correspondam, a usos específicos nos quais só pode ser empregado um único energético (e.g. iluminação com eletricidade) ou no caso de setores nos quais ainda existem incertezas sobre como identificar ou mensurar adequadamente as necessidades de energia útil (e.g. setor transporte, cujo uso final é a força motriz), utiliza-se a energia final na competição entre os energéticos.

Na **terceira etapa**, a projeção da demanda de energia é embasada em um quadro global de desenvolvimento econômico e social. É feita a análise dos determinantes sociais, econômicos e tecnológicos que afetam a demanda no longo prazo, assim como a identificação das inter-relações existentes. As simulações das necessidades de energia são executadas por meio de um conjunto de hipóteses que exprimem a evolução dos contextos demográficos, sócio-econômicos, regulatórios, ambientais e tecnológicos no período estudado.

5.3 MODELOS INTEGRADOS

5.3.1 Planejamento Integrado de Recursos

A abordagem de planejamento mais efetiva segundo Dipp (2001) é a que promove um Planejamento Integrado de Recursos (PIR). Este tipo de planejamento requer que conheça com detalhes tanto as características do mercado consumidor (tecnologias, hábitos dos consumidores, etc.) bem como as características do sistema elétrico em operação e suas perspectivas de expansão por meio de cenários de projeções. O planejamento elétrico tradicional tem procurado expandir os recursos da oferta com o propósito de atender ao crescimento da demanda futura com segurança e minimizando os custos desta expansão. Já com o uso do PIR significa que estas opções serão consideradas incluindo ainda os custos ambientais e sociais, inseridos num contexto político incluindo as realimentações necessárias para correção de desvios, conforme apresentado na figura 26.

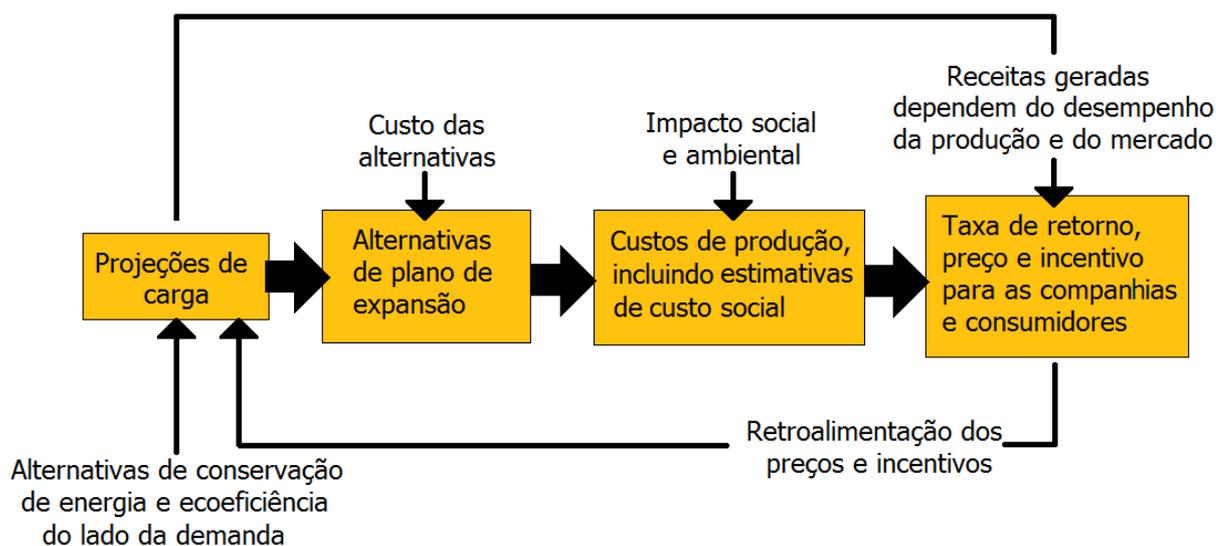


Figura 26 – Elementos de um modelo integrado de planejamento / Adaptado de Dipp (2001)

Para exemplificar uma abordagem de Planejamento Integrado, pode ser apresentada a metodologia utilizada pela EPE nos estudos de projeção da demanda final de energia no Brasil. Como já visto, ela possui uma abordagem integrada, conciliando um modelo baseado no Método de Requerimentos para determinar as projeções de demanda setoriais com uma abordagem por meio do modelo MESSAGE para analisar aspectos ligados ao mercado de energia e seus aspectos específicos como intercâmbio de fontes primárias de energia, inovações tecnológicas e aspectos sócio-econômicos que podem influenciar na demanda de energia elétrica. No modelo utilizado

pela EPE a estimativa do consumo de energia final no longo prazo corresponde a uma etapa do processo de planejamento de longo prazo do setor energético, como ilustrado na Figura 27.

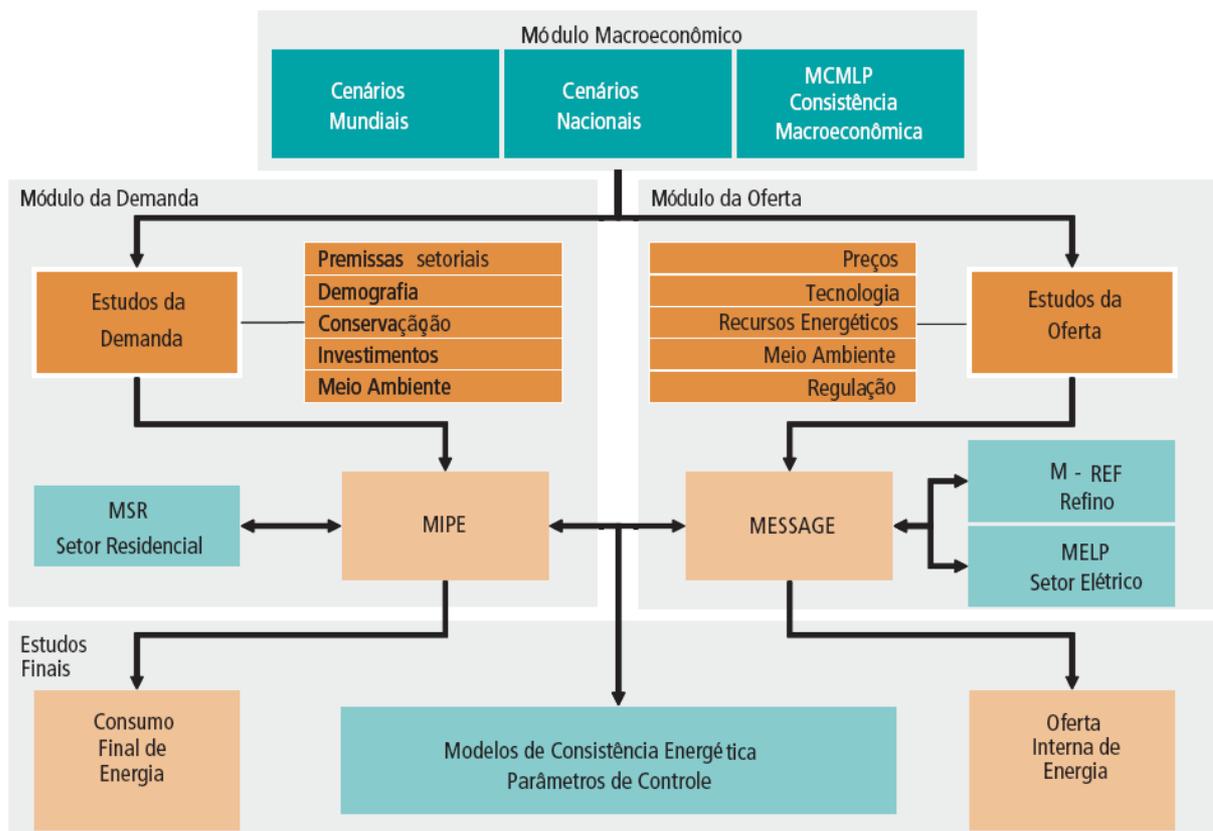


Figura 27 - Representação do processo de planejamento de longo prazo do setor energético / Fonte: EPE

Pelo modelo, o nível de demanda de energia depende de aspectos relacionados tanto ao padrão de desenvolvimento do país bem como à intensidade deste crescimento. Assim, este nível depende de fatores tais como:

- A necessidade social de energia, função dos padrões de consumo da população - ou seja, do tipo de bens demandados pela mesma - bem como do nível absoluto em que se estabelece esta demanda;
- A estrutura agroindustrial do país ao longo do tempo, que se correlaciona ao tipo de bens/produtos demandados pela sociedade, bem como com as estratégias de mercado adotadas pelos grupos industriais, com relação aos mercados de exportação e o tipo de produto exportado;
- O perfil de expansão do setor de comércio/serviços para atendimento da demanda de bens/serviços por parte da população, cuja distribuição de renda e padrões de consumo define esta demanda.

Por sua vez, a evolução dos aspectos acima citados, no longo prazo, é sujeita a uma série de incertezas, o que pode gerar várias trajetórias possíveis, de modo que o tratamento mais conveniente desta avaliação envolve a elaboração de cenários econômicos e energéticos, de modo a apreender os limites dos impactos advindos destas possíveis trajetórias. A quantificação consistente destes cenários estabelecidos gera, por sua vez, parâmetros qualitativos e quantitativos da economia, a partir dos quais derivarão diferentes implicações para o consumo de energia no longo prazo.

Em termos metodológicos, além do efeito relacionado ao ambiente econômico no qual se inserem os consumidores de energia, também importa o padrão como este uso de energia final se processa, o que é apreendido através da formulação das premissas setoriais específicas e de hipóteses de penetração de alternativas eficientes do uso de energia. A quantificação destes efeitos, por em nível absoluto sua vez, permite a obtenção da demanda de energia total e o perfil desta demanda, ou seja, que tipo de energético ganha importância em cada cenário.

Para a estimativa de evolução da demanda de energia a EPE utiliza como ferramenta de simulação o Modelo Integrado de Planejamento Energético - MIPE, um modelo de requerimentos baseado em aspectos técnico-econômico de projeção de demanda e de oferta de energia e de emissões de CO₂ advindos do uso de energia. O modelo permite avaliar a implicação de cenários prospectivos de padrões de uso da energia e estilos de desenvolvimento nas trajetórias de demanda e de oferta de energia projetadas para o Brasil para o horizonte de análise.

As projeções elaboradas dependem dos cenários macroeconômicos e setoriais estabelecidos e, conseqüentemente, das hipóteses econômicas e tecnológicas adotadas. Portanto, dependem da qualidade da análise, não apenas da ferramenta de simulação utilizada. Outra limitação que impacta no modelo de requerimentos é a qualidade da informação disponível. Na Figura 25 é ilustrado esquematicamente o processo de estimativa do valor adicionado setorial, a partir das premissas originárias dos cenários mundiais e nacionais.

Para estimativa da demanda de energia por setor, o modelo é definido por três módulos, cada módulo representado nesta estrutura geral passa por um detalhamento, que visa à modelagem de cada segmento dos setores de consumo. A estrutura básica do MIPE utilizada neste estudo para a projeção da demanda setorial é apresentada na Figura 28, que ilustra a divisão do modelo em módulos e em sub-módulos, integrados para a projeção.

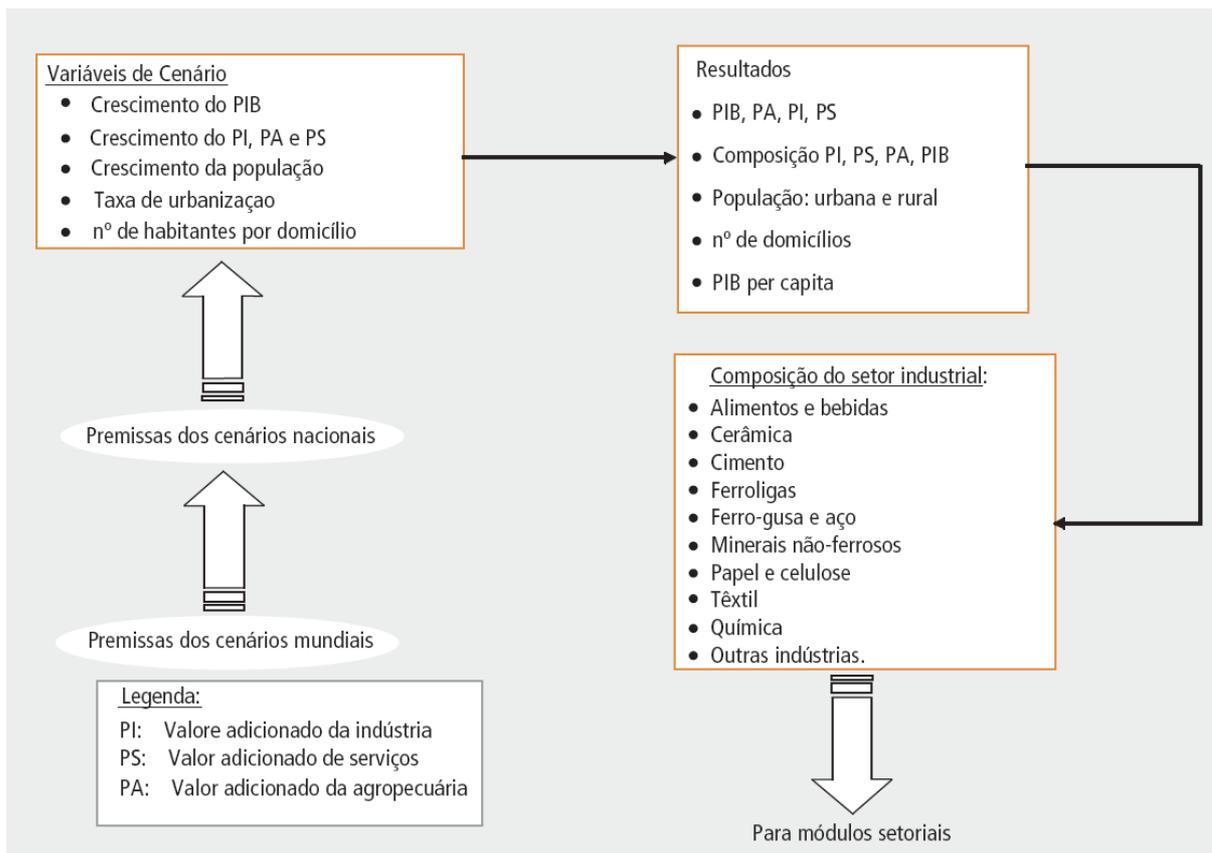


Figura 28 - Entrada e saída de dados do módulo macroeconômico do MIPE / Fonte EPE

O **Módulo 1**, correspondendo ao “*módulo macroeconômico*”, no qual se definem as variáveis de cenário e a distribuição do produto entre os setores de demanda. Como o MIPE não realiza testes de consistência macroeconômica, a definição de variáveis tais como o crescimento do PIB, a composição estrutural do PIB na economia e as taxas de crescimento devem ser realizados exogenamente, sendo variáveis de entrada no MIPE, como ilustrado na Figura 29. Os resultados obtidos neste módulo incluem: (i) PIB anual; (ii) valor adicionado da indústria, agropecuária e de serviços; (iii) evolução da população urbana e rural; (iv) PIB per capita; (v) número de domicílios por ano. Na Figura 26 é apresentado o esquema típico de entrada de dados para o módulo macroeconômico.

O **Módulo 2**, que corresponde ao “*módulo de demanda de energia*”, no qual se definem as variáveis de análise de cada segmento de cada setor, para obtenção das demandas de energia útil e final.

O **Módulo 3**, denominado “*módulo de consumo final de energia*”, no qual se agregam os resultados do módulo anterior e os resultados do consumo de energia do setor energético.

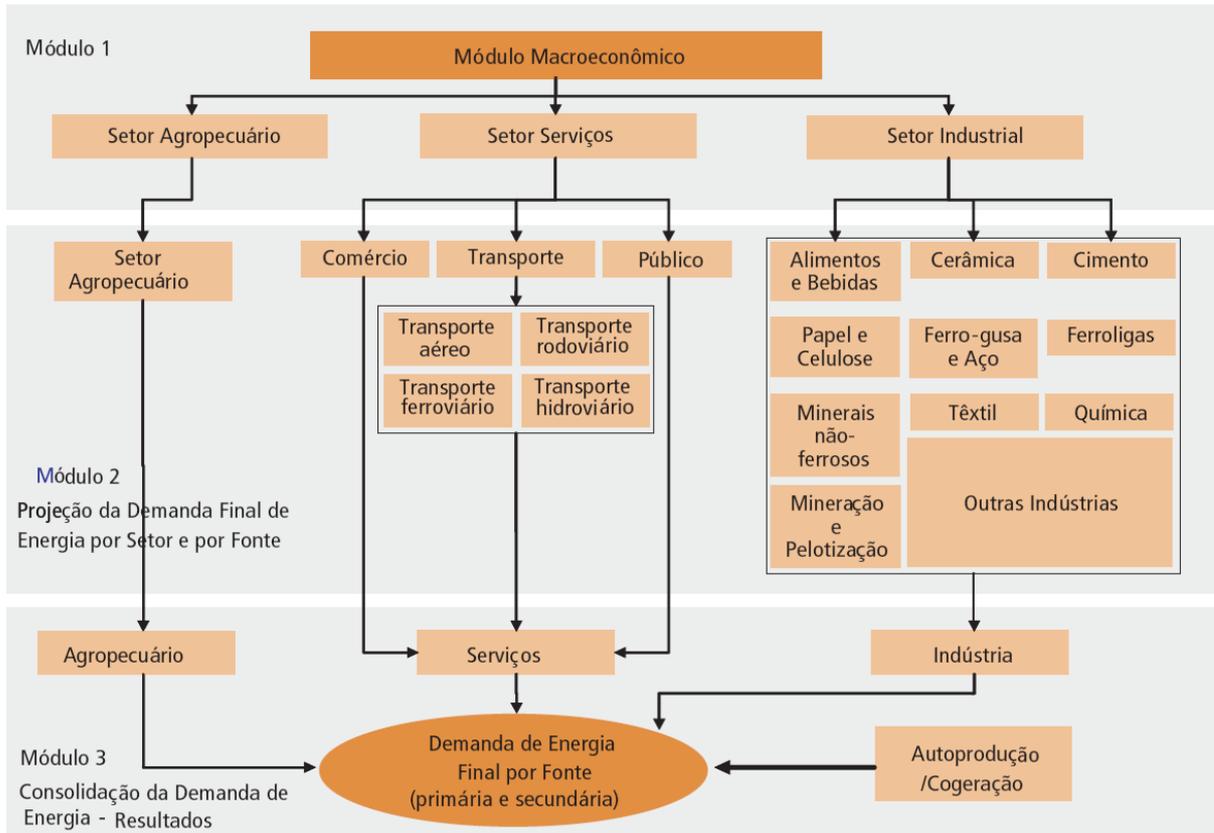


Figura 29 - Estrutura do MIPE utilizada nas projeções da demanda setorial de energia / Fonte: EPE

5.3.2 Recomendações sobre utilização de modelos de projeção

Armstrong (2001) traz uma série de recomendações sobre a utilização de métodos de projeção. Em suas conclusões, a combinação de métodos e a comparação de resultados aumenta a exatidão das projeções, na medida em que tais projeções forem baseadas em dados relevantes e independentes entre si. Há dois modos de gerar projeções independentes: utilização de conjuntos diferentes de dados – que analisem o mesmo fenômeno de forma complementar – e utilização de diferentes métodos de projeção.

Quanto maior a variedade de dados e métodos maior é a expectativa de melhoria e exatidão do resultado das projeções em relação àquelas obtidas por meio da aplicação de métodos únicos. Armstrong traz uma série de recomendações, entre as quais:

- Utilização de diferentes dados ou métodos – além dos benefícios já citados, essa abordagem pode auxiliar na correção de erros de projeção gerados pela utilização de ferramentas estatísticas; como recomendação, a situação ideal é a utilização de pelo menos cinco métodos combinados;

- b) Utilização de procedimentos formais para comparação de métodos de projeção – a combinação deve ser feita de modo estruturado, com procedimentos analisados e descritos da forma mais acurada possível; deve-se evitar dar pesos diferentes aos resultados parciais obtidos a partir da aplicação dos diferentes métodos;
- c) Utilização de ponderação entre métodos - quando aplicadas, técnicas de ponderação não devem ser baseadas apenas em fatores subjetivos, pois provavelmente implicarão no aumento de erros de projeção; apenas devem ser utilizadas ponderações quando houver fortes evidências técnicas para suportar os diferentes pesos atribuídos;
- d) Utilização de metas ajustáveis – citando o trabalho de diversos pesquisadores, Armstrong descreve que a utilização de médias ajustáveis, por exemplo medianas, fornece valores finais muito mais apurados do que os obtidos por média simples, pois dessa forma são filtradas fontes de ruído que podem impactar nas médias utilizadas como dados de entrada;
- e) Ciclos de aprendizagem – o procedimento de projeção deve ser repetido e testado continuamente, tentando identificar quais dos métodos individuais têm fornecido dados de menor erro, em relação aos valores efetivamente obtidos na prática, permitindo ajustar modelos, inserir ou excluir métodos ou alternar pesos atribuídos para obtenção de um resultado final cada vez mais apurado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora não seja mais recomendável analisar de forma desassociada o sistema econômico e o meio ambiente, como se pode concluir a partir da análise do resumo teórico apresentado no Capítulo 2, ainda não existe um modelo definitivo de análise integrada. Pode-se conjecturar, no entanto, que seja possível selecionar entre as diferentes correntes de pensamento da economia do meio ambiente apresentadas, qual delas, dependendo do grau de desenvolvimento econômico e das características da Matriz Energética do país analisado ou setor econômico de interesse, seria a mais relevante.

Os modelos de Economia Ecológica oriundos das conclusões do Clube de Roma são bastante adequados para situações onde há problemas com a poluição gerada e sinais de que a atividade econômica está excedendo a capacidade do meio ambiente em assimilar os resíduos industriais. É o caso, por exemplo, de países como a Índia e a China que enfrentam o problema de demanda de energia para sustentar as suas taxas de crescimento e desenvolvimento econômico e possuem matrizes energéticas fortemente baseadas na utilização de combustíveis fósseis, principalmente o carvão.

No caso do Brasil, se por um lado nos aproximamos da China e da Índia no que se refere, guardadas as proporções, a uma situação de desenvolvimento econômico acelerado e existência de restrições ambientais, por outro lado, devido não apenas a fatores naturais, mas também em função do desenvolvimento das normas e regulamentos ambientais que impactam na ampliação da atividade econômica, possuímos uma situação muito mais vantajosa. A nossa Matriz Energética e os recursos naturais fornecem uma grande possibilidade para utilização de fontes de energia renováveis.

Conforme se pode concluir a partir dos dados apresentados no Capítulo 3, a energia renovável representava 45,9% da Matriz Energética Brasileira em 2007. Essa proporção é das mais altas do mundo, contrastando significativamente com a situação de China e Índia, com a média mundial, de 12,9%, e mais ainda com a média dos países da OECD, de apenas 6,7%.

Em função dessa característica, para análise de políticas públicas no Brasil, de forma global, parecem ser mais adequadas as abordagens baseadas na **Economia Ambiental Neoclássica**, que podem considerar o meio ambiente essencialmente neutro. Em regiões não pertencentes ao Sistema Integrado Nacional (SIN) e no caso de avaliação de novas fontes

alternativas de energia, podem ser mais adequadas abordagens baseadas em **Correntes Desenvolvimentistas** da Economia do Meio Ambiente, voltadas ao desenvolvimento de propostas alternativas para regiões menos desenvolvidas.

Outra abordagem que pode ser considerada é a utilização dos modelos de Economia Ambiental Neoclássica para análises de *curto prazo* ou *específicas* a um determinado setor da economia ou região. Já As abordagens Desenvolvimentistas podem ser mais adequadas à análises de *grande abrangência* ou de *longo prazo*.

Em qualquer caso, na aplicação dos modelos, vale lembrar a recomendação de Leite (2007), que salienta que o conhecimento técnico é igualmente crucial para a compreensão das relações econômicas que se estabelecem, pois num país como o Brasil onde a geração de Energia Elétrica pode ser expandida de diferentes formas, todas as formas de energia podem ser consideradas, teoricamente, substitutas próximas entre si.

Além disso, a produção, o transporte, a distribuição e a comercialização de energia são atividades econômicas que necessitam de preços adequados para remunerar os pesados investimentos, de longo tempo de maturação, realizados pelos agentes econômicos. Como em outros mercados, o problema de equilíbrio de oferta e de demanda está presente, com pelo menos duas particularidades bastante relevantes:

- a primeira está relacionada com a dotação de recursos energéticos, repartida de forma desigual entre as regiões do país.
- a segunda decorre de uma especificidade que distingue esse insumo das demais fontes de energia: o fato do insumo eletricidade não ser um produto estocável, mas dependente de processos simultâneos de geração, transmissão distribuição e utilização; esta simultaneidade na produção e no consumo torna imprescindível o conhecimento do “Balanço Energético”, ou seja, a relação entre a oferta e sua estrutura e a demanda de energia e sua composição, tanto no passado como em seu futuro a médio e longo prazo.

Em função disso, é de suma importância para a indústria elétrica a possibilidade de antecipação do comportamento da demanda para planejamento de suas operações, assim como todos os demais segmentos da indústria dependem desse planejamento para a realização de seus planos de investimentos de longo prazo. Daí a importância da utilização de ferramentas capazes

de realizar um planejamento da demanda de energia com graus de risco e de incerteza apropriados. No Capítulo 4 salientou-se a importância dessas ferramentas de planejamento levarem em consideração:

- a análise de cenários que congreguem um conjunto coerente e plausível de acontecimentos endógenos e exógenos, aos quais estão associados os agentes participantes da indústria de energia elétrica;
- um conjunto de variáveis complementares na forma de parâmetros de controle e premissas quanto às características estruturais específicas inerentes aos setores de atividade econômica e aspectos de evolução tecnológica.

Pode-se observar que a maioria das metodologias utilizadas para projeções de mercado partem de um mesmo conjunto de hipóteses básicas sobre o comportamento provável dos fatores que influenciam a oferta e a demanda de energia, segundo os diversos tipos de consumidores e as diversas fontes de energia primária. Esses fatores incluem, em geral, análises do desenvolvimento econômico, de eficiência energética, de transferência de tecnologia, além de aperfeiçoamentos institucionais e financiamento do desenvolvimento. Dentre esses, os indicadores demográficos são os que envolvem as menores incertezas.

Todas as demais variáveis, como as expectativas de crescimento econômico, avanço tecnológico e de sua dispersão geográfica dependem da evolução da renda. A avaliação destas variáveis traz, por sua vez, a médio e longo prazo, grandes dificuldades. Basta notar a recente desaceleração da economia causada pela crise financeira internacional em 2008, a flutuação do preço do barril de petróleo e as discussões da comunidade internacional sobre o aquecimento global e a adoção de políticas restritivas à emissão de gases estufa.

Os movimentos de preços considerados altos desencadeiam, principalmente nos países industrializados, surtos de políticas energéticas e tecnológicas voltadas para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia. Nos períodos de estabilidade relativa, tende-se para a complacência com a dependência do petróleo, como é o caso que vivenciamos nesse momento. Ao formar cenários para elaboração de projeções de demanda, pontos críticos a serem observados são: a variedade de critérios fundamentais e de aspectos técnicos como o caso da equivalência energética entre as várias fontes primárias em comparação com o petróleo e a divergência quanto à energia hidráulica.

Mas o principal ponto de incerteza que pode ser percebido na grande maioria do material pesquisado diz respeito às emissões atmosféricas e aos compromissos assumidos em Kyoto e todos os desdobramentos existentes desde então de se voltar aos níveis de emissão de 1990. A expectativa expressa tanto nestas como nas demais projeções é extremamente pessimista. Dados resumidos por Leite (2007) apresentam projeções nas quais até 2010 as emissões dos países da OECD terão crescido 26%, enquanto as do segundo grupo terão aumentado em 64%, sendo a China e a Índia as responsáveis por quase metade desse acréscimo. Como o aspecto ambiental da poluição irá impactar na velocidade de alterações tecnológicas e em políticas restritivas às demandas torna-se maior a interrogação para a aplicação dos modelos de projeção de longo prazo.

Em função de todos esses fatores e incertezas, no Capítulo 5 enfatiza-se a importância das contribuições de Dipp (2001) e Armstrong (2001). Segundo Dipp, a abordagem de planejamento mais efetiva é a que promove um Planejamento Integrado de Recursos (PIR), requerendo o conhecimento e análise detalhados das:

- características do mercado consumidor (tecnologias, hábitos dos consumidores, etc.),
- características do sistema elétrico em operação e suas perspectivas de expansão por meio de cenários de projeções,
- aspectos ambientais, sociais e políticos,
- realimentações necessárias para correção de desvios.

Já Armstrong (2001) lembra que a combinação de métodos e a comparação de resultados devem ser utilizadas para aumentar a exatidão e consistência das projeções, ressaltando que tais projeções complementares devem ser baseadas em dados relevantes e independentes entre si.

REFERÊNCIAS

- ALIER, Juan Martinez. Economia e ecologia: questões fundamentais. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ciências Sociais – ANPOCS, Volume 7, 1992. Disponível em <http://www.anpocs.org.br/portal/publicacoes/rbcs_00_07/rbcs07_05.htm>. Acessado em 15 out. 2008.
- ARMSTRONG, J. Scott. **Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioner**. Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers, 2001.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica: ANEEL, 2005, 2.a ed.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Resenha Energética**. Brasília: MME, 2008.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME - EPE, 2007.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Centro de Memória da Energia**. Brasília – MME – Eletrobrás. Disponível em <<http://www.memoria.eletrabras.com>>. Acessado em 30 Out., 2008.
- CAIO, Leonardo Santos, BERMANN, Célio. **Análise das metodologias de previsão de mercado de energia elétrica face ao novo perfil de planejamento no ambiente pós-privatização**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO,3, 1998, São Paulo. ANAIS III Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. SÃO PAULO-SP: Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, 1998.
- CAMARGO, L. B. G. C. **O Setor Elétrico Brasileiro e sua Normatização contemporânea**. Dissertação (Bacharelado Direito) – UNISANTOS, Santos, 2005.
- CAVALCANTI, Clovis (Org.). André Furtado, Andri Stahel, Antônio Ribeiro, Armando Mendes, Celso Sekiguchi, Clóvis Cavalcanti, Dália Maimon, Darrell Posey, Elson Pires, Franz Brüseke, Geraldo Rohde, Guilherme Mammana, Héctor Leis, Henri Ayselrad, Josemar Medeiros, José Luis D'Amato, Maria Lúcia Leonardi, Maurício Tolmasquim, Oswaldo Sevá Filho, Paula

Stroh, Paulo Freire, Peter May, Regina Diniz, Antônio Rocha Magalhães. **DESENVOLVIMENTO E NATUREZA: Estudos para uma sociedade sustentável.** INPSO/FUNDAJ, Instituto de Pesquisas Sociais, Fundação Joaquim Nabuco, Ministério de Educação, Governo Federal, Recife, Brasil, 1994.

DIPP, Clarck J. F. **Proposição de metodologia e estruturação de um modelo para planejamento integrado de recursos em sistemas regionais de distribuição de energia elétrica.** 2001. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica Do Rio Grande Do Sul, PUC-RS, Porto Alegre, 2001.

GREENING, Lorna A., BOYD, G., ROOP, Joseph M., Modeling of industrial energy consumption: An introduction and context. Elsevier: Energy Economics 29, 2007. Págs. 599–608.

GREENSPAN, Alan. **A era da turbulência – aventuras em um novo mundo.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

IEE USP - Instituto de Eletrotécnica e Energia. **Relatório de Projeção da Matriz Energética do Estado do Rio Grande do Norte Ano 2004 – 2030.** Secretaria Extraordinária de Energia e Secretaria de Desenvolvimento Econômico. Rio Grande do Norte, 2006.

IIASA. Research Center. **MESSAGE - Energy Modeling Framework.** Disponível em <<http://www.iiasa.ac.at/Research/ENE/model/message.html>>. Acessado em 10 Dez., 2008.

LEITE, A. D. **A energia do Brasil.** Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1997.

LEITE, A. D. **A energia do Brasil.** 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

LUCAS Jr, Robert E. Econometric Policy Evaluation: A Critique. In **The Phillips Curve and Labor Markets.** (Eds. Karl Brunner e Allan H. Meltzer). Vol. 1 de Carnegie-Rochester Conferences on Public Policy. Supplementary Series of the Journal of Monetary Economics. North-Holland e The Graduate School of Management, University of Rochester. 1976.

MUELLER, Charles C. **Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente.** Brasília: Editora Universidade de Brasília: Finatec, 2007.

OLIVEIRA, A. R. E. **A Evolução do Conceito Físico de Trabalho no Contexto das Máquinas**. 2006. 289 f. Dissertação (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2006.

PÊGO FILHO, B., CAMPOS NETO, Carlos A. S. **O PAC e o setor elétrico: desafios para o abastecimento do mercado brasileiro (2007-2010)**. Texto para discussão / IPEA; 1329. Disponível em <http://www.ipea.gov.br/sites/000/2/publicacoes/tds/td_1329.pdf>, Acessado em 10/12/2008. **Brasília** : IPEA, 2008.

QUEIROZ, Helder Pinto Júnior [et al.]. **Economia da Energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

SCHIMIDT, Cristiane A. J., LIMA, Marcos A. M. A Demanda por Energia Elétrica no Brasil. Revista Brasileira de Economia – RBE, Ed. 58, Jan/Mar 2004, páginas 67-98. Rio de Janeiro: RBE, 2004.

SCHRATTENHOLZER, Leo. **The Energy Supply Model MESSAGE**. IIASA Research Reports. Laxenburg: IIASA, 1981.

STERN, Nicholas. **The Economics of Climate Change: The Stern Review**. Nova Iorque: Cambridge University Press, 2007.

THEIS, Ivo Marcos. **Crescimento Econômico e demanda de energia no Brasil**. Blumenau: FURB, 1990.

VIANNA, Luiz Fernando Leone. **As Associações Setoriais e um passeio pela história da energia elétrica no Brasil**. Brasília: Apine, 2004. Disponível em <<http://www.apine.com.br/ArtigosApine.asp>>. Acessado em 15 out. 2008.

VIEIRA FILHO, J. E. R., CUNHA, M. P., FERNANDES, C. L. L. **O setor de energia elétrica em Minas Gerais: uma análise insumo-produto**. XII Seminário sobre a Economia Mineira, 2006, Diamantina – MG. CEDEPLAR – UFMG, Diamantina, 2006.

WORLD BANK. The International Bank for Reconstruction and Development. **Global Economic Prospects – managing the next wave of globalization**. Washington, DC: The World Bank, 2007.

ANEXO A – Balanço Energético Consolidado

O Balanço Energético é um quadro contábil que procura descrever os fluxos energéticos ao longo de um sistema energético. Ele é aplicado para um determinado espaço socioeconômico e para um período de tempo definido, explicitando as relações existentes entre o setor energético e os demais setores da economia. Por meio desse quadro contábil acompanham-se os fluxos físicos entre os produtores de energia e os diversos agentes consumidores, discriminando-se a quantidade de energia que é produzida, transformada e utilizada.

A partir do Balanço Energético é possível analisar a evolução de um sistema energético ao longo do tempo, assim como realizar análises comparativas entre sistemas energéticos de distintas regiões.

Em um Balanço Energético, as linhas registram as operações e os agregados. As operações descrevem o trânsito dos fluxos, as variações de estoque e se constituem na sucessão de etapas percorridas pelos fluxos energéticos desde a origem até o seu destino. Os agregados estabelecem as sínteses parciais a cada etapa importante do trânsito. As colunas do Balanço Energético Nacional (BEN) registram as fontes e as formas de energia, de acordo com as etapas dos fluxos energéticos representadas.

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

Na tabela 22 da página a seguir é apresentada a última edição do Balanço Energético Brasileiro (BEN), publicada em 2008 pelo Ministério de Minas Energia do Brasil com dados referentes a 2007 e unidades expressas em mil tep.

FLUXO	PETRO-LEO	GÁS NA-TUBAL	CARVÃO VAPOR	CARVÃO METAL	URÂNIO U235	HIDRÁULICA	LE-NHA	PROD.CAMA	OUTR.PRIM.	TOTAL PRIMAR.	ÓLEO DIESEL	ÓLEO COMB.	GASOLINA	GLP	NAFTA	QUEROSENE	GÁS CIDADE	COQUE C.MIN.	URÂNIO C/1000	ELETRICIDADE	CARVÃO VEGET.	ÁLCOOL ETLIL	O.SEC. PETR.	NÃO EN.PETR.	OUTR. C.MIN.	TOTAL SECUND.	TOTAL	
PRODUÇÃO	90.765	18.025	2.257	3.401	92	32.165	28.618	40.458	7.676	223.679	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	223.679
IMPORTAÇÃO	21.515	9.094	0	10.999	2.505	0	0	0	44.113	4.324	112	8	1.096	3.693	733	0	1.088	992	3.514	9	0	0	2.734	1.108	0	19.411	63.524	
VARIACÃO DE ESTOQUES	-343	0	26	-16	-124	0	0	0	-457	-30	-105	68	-39	115	-6	0	-43	-3.685	0	0	0	-747	22	71	-3	-4.421	-4.878	
OFERTA TOTAL	111.938	27.119	2.283	11.076	6.002	32.165	28.618	40.458	7.676	267.335	4.295	7	1.057	3.807	727	0	1.005	-2.693	3.514	9	-747	2.756	1.179	-3	14.990	282.325		
EXPORTAÇÃO	-21.813	0	0	0	0	0	0	0	-21.813	-1.530	-8.088	-2.854	-14	-20	-1.403	0	-1	0	-175	0	-1.864	-182	-700	-4	-16.824	-38.647		
NÃO APROVEITADA	0	-1.774	0	0	0	0	0	0	0	-1.774	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.774	
REINJEÇÃO	0	-3.146	0	0	0	0	0	0	0	-3.146	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3.146	
OFERTA INTERNA BRUTA	90.125	22.199	2.283	11.076	6.002	32.165	28.618	40.458	7.676	240.602	2.765	-8.082	-2.778	1.043	3.787	-676	0	1.004	-2.693	3.340	9	-2.611	2.575	479	7	-1.845	238.758	
TOTAL TRANSFORMAÇÃO	-90.144	-6.579	-1.939	-7.660	-6.002	-32.165	-12.308	-13.713	-2.707	-173.217	32.065	14.608	17.096	6.579	3.972	3.330	1.387	5.737	2.693	38.234	6.483	11.702	8.393	4.565	210	157.005	-16.212	
REFINARIAS DE PETRÓLEO	-90.144	0	0	0	0	0	0	0	-1.663	-91.807	33.211	15.853	15.994	5.128	7.109	3.330	0	0	0	0	0	0	6.414	4.565	0	91.604	-202	
PLANTAS DE GÁS NATURAL	0	-2.732	0	0	0	0	0	0	922	-1.810	0	0	418	1.363	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.781	-29	
USINAS DE GASEIFICAÇÃO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
COQUERIAS	0	0	-8	-7.660	0	0	0	0	0	-7.667	0	0	0	0	0	0	1.621	5.737	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR	0	0	0	0	-6.002	0	0	0	0	-6.002	0	0	0	0	0	0	0	0	5.906	0	0	0	0	0	0	0	5.906	-96
CENTRAIS ELET. SERV. PÚBLICO	0	-2.108	-1.900	0	0	-30.896	0	0	-28	-34.932	-1.155	-951	0	0	0	0	-2.34	0	-3.213	34.180	0	0	0	0	0	0	28.861	-6.071
CENTRAIS ELET. AUTOPRODUTORAS	0	-1.044	-31	0	0	-1.269	-171	-1.910	-2.242	-6.668	-294	0	0	0	0	0	0	0	0	4.054	0	0	-380	0	-5	2.851	-3.817	
CARVOARIAS	0	0	0	0	0	0	-12.137	0	0	-12.137	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.483	0	0	0	0	6.483	-5.705	
DESTILARIAS	0	0	0	0	0	0	0	-11.803	0	-11.803	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.702	0	0	0	11.702	-101	
OUTRAS TRANSFORMAÇÕES	0	-695	0	0	0	0	0	0	305	-390	298	0	684	89	-3.137	0	0	0	0	0	0	0	2.359	0	0	293	-97	
PERDAS DISTRIB. ARMAZENAGEM	0	-108	-5	-10	0	0	0	0	0	-123	-7	-24	0	0	0	0	0	-18	0	-6.130	-187	-124	-96	-37	0	-6.623	-6.747	
CONSUMO FINAL ENERGÉTICO	0	15.502	342	3.401	0	0	16.310	26.745	4.969	67.270	34.936	6.988	14.342	7.433	7.793	2.632	1.387	6.716	0	35.443	6.247	8.967	10.850	4.948	203	148.294	215.585	
CONSUMO FINAL ENERGÉTICO SETOR ENERGÉTICO	0	14.731	342	3.401	0	0	16.310	26.745	4.969	66.499	34.936	6.988	14.342	7.433	7.793	2.632	1.387	6.716	0	35.443	6.247	8.612	10.709	4.948	147	13.384	141.555	
RESIDENCIAL	0	221	0	0	0	0	7.812	10.594	0	14.416	132	1.058	0	53	0	348	0	0	0	1.485	0	0	3.557	0	0	6.633	21.049	
COMERCIAL	0	275	0	0	0	0	77	0	0	353	56	116	0	302	0	0	0	0	0	5.034	73	0	0	0	0	5.582	5.935	
PÚBLICO	0	56	0	0	0	0	0	0	0	56	94	85	0	422	0	0	0	0	0	2.900	0	0	0	0	0	3.500	3.557	
AGROPECUÁRIO	0	12	0	0	0	0	2.356	0	0	2.368	5.099	61	0	19	0	0	0	0	0	1.508	7	0	0	0	0	6.694	9.062	
TRANSPORTES - TOTAL	0	2.252	0	0	0	0	0	0	0	2.252	28.731	930	14.342	0	0	2.618	0	0	0	1.35	0	8.612	0	0	0	0	55.369	57.621
RODOVIÁRIO	0	2.252	0	0	0	0	0	0	0	2.252	27.741	0	14.287	0	0	0	0	0	0	0	0	8.612	0	0	0	0	50.640	52.892
FERROVIÁRIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135	0	0	0	0	0	717	717	
AÉREO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56	0	0	2.618	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.674	2.674	
HIDROVIÁRIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.338	1.338	
INDUSTRIAL - TOTAL	0	8.092	342	3.401	0	0	6.065	16.152	4.969	39.021	725	4.247	0	740	0	4	1.039	6.716	0	16.565	5.649	7.152	0	0	56	42.894	81.915	
CIMENTO	0	24	24	36	0	0	0	0	260	344	41	26	0	12	0	0	0	56	0	371	222	2.302	0	0	0	3.029	3.373	
FERRO GUSA E AÇO	0	1.214	3	2.512	0	0	0	0	0	3.730	14	145	0	88	0	0	1.039	6.320	0	1.579	4.775	0	495	0	56	14.511	18.241	
FERRO LIGAS	0	29	0	0	0	0	99	0	0	1.28	0	65	0	0	0	0	104	0	0	746	616	0	144	0	0	1.675	1.803	
MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO	0	233	1	639	0	0	0	0	0	872	242	763	0	21	0	1	0	86	0	928	0	0	429	0	0	2.470	3.342	
MÃO FERROSOS E OUT. METALURG.	0	632	0	119	0	0	0	0	0	751	0	1.124	0	90	0	0	0	151	0	3.273	9	0	583	0	0	5.231	5.982	
QUÍMICA	0	2.259	85	0	0	0	51	0	105	2.501	152	481	0	62	0	0	0	0	0	1.985	17	0	2.517	0	0	5.215	7.715	
ALIMENTOS E BEBIDAS	0	587	46	0	0	0	1.885	16.116	10	18.644	77	451	0	88	0	0	0	0	0	1.926	0	0	76	0	0	2.618	21.262	
TÊXTIL	0	372	0	0	0	0	96	0	0	468	3	108	0	11	0	0	0	0	0	685	0	0	0	0	0	807	1.275	
PAPEL E CELULOSE	0	597	80	0	0	0	1.296	36	4.555	6.565	65	471	0	29	0	0	0	0	0	14.26	0	0	0	0	0	1.991	8.555	
CERÂMICA	0	960	33	0	0	0	1.885	0	35	2.914	7	313	0	153	0	0	0	0	0	284	0	0	0	0	0	170	0	927
OUTRAS INDÚSTRIAS	0	1.186	69	95	0	0	752	0	2	2.105	124	301	0	184	0	2	0	0	0	3.362	11	0	487	0	0	4.420	6.525	
CONSUMO NÃO IDENTIFICADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
AJUSTES ESTADÍSTICOS	19	-10	3	-4	0	0	0	0	0	8	13	-5	23	-189	34	-23	0	7	0	0	-8	0	-22	-59	0	-243	-2.4	

ANEXO B – Histórico resumido da oferta de energia elétrica no Brasil

O resumo a seguir foi preparado a partir de extratos do artigo de Vianna (2004), organizando-se os fatos mais relevantes por ordem cronológica.

a) Década de 1930

Em 1930, a capacidade instalada de energia elétrica do Brasil que em 1920 era em torno de 360 MW se duplicou, atingindo 780 MW.

O setor elétrico era afeto ao Ministério da Agricultura — tendo sido criada em 1933 a Divisão de Águas, ligada àquele Ministério, e o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM — e passava por importante fase, marcada pelo início da era Getúlio Vargas (1930 a 1945), que promoveu a centralização político-administrativa e o fortalecimento do poder de intervenção do Estado no País, resultando na centralização das decisões relativas aos recursos naturais passíveis de exploração industrial.

Foi nesse ambiente que, em julho de 1934, foi promulgado o Código de Águas, marco principal, à época, da regulamentação dos serviços e da indústria de energia elétrica no País, através do qual a União passou a ser o único poder concedente. O período Vargas marcou também o início da industrialização no Brasil, com crescimento acentuado da demanda de energia elétrica, por sinal, acima da capacidade de oferta de geração, prenunciando, já no início dos anos 40, uma situação de escassez de energia.

Nesse ambiente, em 3 de abril de 1936, foi criada a Associação Brasileira de Concessionárias de Energia Elétrica - ABCE. O Código de Águas assegurava ao poder público a possibilidade de controle mais rigoroso sobre as concessionárias de energia elétrica, estabelecendo o regime de concessões (com prazo determinado) e autorizações, ambas concedidas pela União e determinando a fiscalização técnica, financeira e contábil de todas as empresas do setor, apesar da existência de somente pequenas concessionárias privadas de pequeno porte, responsáveis pelo atendimento a pequenas parcelas do mercado nacional.

Logo após a criação da ABCE, foi criado em 1939, época do Estado Novo, o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica - CNAEE, reforçando a questão da regulamentação dos serviços de eletricidade. O CNAEE viria a ser o principal órgão do Governo Federal para a política setorial, até a criação do Ministério das Minas e Energia - MME e da Eletrobrás, no início da década de 1960.

b) Década de 1940

Em 1940, a capacidade instalada de energia elétrica do Brasil era em torno de 1.250 MW. Com o fim da Segunda Guerra Mundial, retomada dos investimentos e redemocratização do País, mediante a eleição do marechal Eurico Gaspar Dutra para a presidência (1946 - 1951), seguido do segundo governo Vargas (1951 - 1954), da curta gestão de João Café Filho (1954 - 1956) e do governo liberal de Juscelino Kubitschek (1956 - 1961), retornou-se ao debate da definição do papel da iniciativa privada, nacional e estrangeira, e da iniciativa estatal, no quadro das transformações estruturais que deveriam ser introduzidas no sistema produtivo brasileiro.

c) Décadas de 1950 e 1960

Em 1950, a capacidade instalada de energia elétrica do Brasil era em torno de 1.900 MW. Entre 1945 e 1962, o que preponderou foi um setor elétrico nacional marcado pela maior participação do poder público na economia, levando ao fortalecimento das concessionárias públicas, em cenários de crescente investimento. Em 1961 foi criado o Ministério de Minas e Energia (MME), cujo primeiro titular foi João Agripino, e em 1962, a Eletrobrás, cujo primeiro Presidente foi Paulo Richer.

Em 1960, a capacidade instalada de energia elétrica do Brasil era em torno de 4.800 MW. O início da década de 1960 caracterizou-se por uma grave crise de caráter econômico, político e social, devido à eleição, seguida de renúncia, de Jânio Quadros, da posse do vice-presidente João Goulart e deposição deste por um movimento político-militar em 1964. De 1964 a 1984, inicialmente com o general Humberto Castelo Branco, iniciou-se o ciclo dos governos militares, mediante eleição indireta pelo Congresso Nacional.

No setor elétrico, a partir de meados dos anos 60 o crescimento da capacidade instalada e da malha de transmissão do País exigiu que os sistemas elétricos — dos quais as empresas até então definiam os requisitos e projetos específicos, voltados ao atendimento de sistemas isolados ou, quando muito, com fraco nível de intercâmbio — passassem gradativamente a funcionar de forma integrada, de forma a proporcionar o aproveitamento mais racional das fontes energéticas e melhor qualidade de serviço. Com isso, em julho de 1969, a partir de princípios básicos estabelecidos pelo MME, foi criado o primeiro Comitê Coordenador de Operação Interligada - CCOI, abrangendo as empresas geradoras e distribuidoras da região sudeste. Em janeiro de 1971, foi criado o CCOI-Sul. No final de 1973, os CCOIs foram substituídos pelos Grupos Coordenadores para Operação Interligada - GCOIs, os quais tinham a finalidade de coordenar, decidir ou encaminhar as providências necessárias ao uso racional das instalações geradoras e de transmissão, existentes e futuras, nos sistemas interligados das regiões sudeste e sul.

No âmbito da regulação setorial, deu-se em 1965, a criação do Departamento Nacional de Águas e Energia - DNAE, então vinculado ao MME (transformação da Divisão de Águas do DNPM). Em 1967, ocorreu a extinção do CNAEE, com absorção de suas funções pelo DNAE. A denominação deste foi alterada para Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE em 1968. Consolidava-se, dessa forma, a estrutura básica do setor, sendo a política energética traçada pelo MME e executada pela Eletrobrás, atuando o DNAEE como órgão normativo e fiscalizador.

d) Década de 1970

Em 1970, a capacidade instalada de energia elétrica no Brasil era em torno de 11.460 MW. A evolução do modelo de área de distribuição de energia, proporcionou a criação, em 1975, do Coordenador para Operação do Nordeste - CCON, mais tarde, em 1982, denominado Coordenador para Operação do Norte-Nordeste - CCON e do Comitê de Distribuição da Região Sudeste-Sul - Codi, embrião da Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica - Abradee, criada oficialmente em 1995, que atualmente reúne 44 concessionárias de distribuição de energia elétrica, estatais e privadas, atuantes em todas as regiões do País, responsáveis pelo atendimento de 97% do mercado brasileiro de energia.

No período 70-80, o setor elétrico atingiu seu ápice, representado pelo “milagre econômico”, e experimentou também o início de seu declínio, ou a “década perdida”, passando incólume pela crise do petróleo em 1973, tendo construído as maiores obras de geração

hidrelétrica do País, o início do programa nuclear brasileiro (usina nuclear Angra I, entrando em fase de testes em 1981, em operação experimental em março de 1982 e em operação comercial em janeiro de 1985 - Angra II somente entraria em operação em 2000), os grandes sistemas de transmissão em 440 e 500 kV, os sofisticados sistemas de supervisão e controle e o tratado de Itaipu, em 1973, cuja obra iniciou-se em 1975, sendo concluída somente em 1991.

e) Década de 1980

Em 1980, a capacidade instalada de energia elétrica no Brasil era em torno de 31.300 MW. Em 22 de agosto de 1984, a criação da Associação Brasileira de Grandes Consumidores Industriais de Energia – ABRACE, um braço não governamental da ONU que hoje reúne 58 grupos industriais em todo o Brasil, responsável pelo consumo de 20% da energia elétrica do País, congregando os setores de não ferrosos como cobre e alumínio, química e petroquímica (destaque para cloro e soda cáustica), cimento, ferro ligas, aço, mineração, papel e celulose, gases do ar e diversos outros. As empresas associadas são estatais brasileiras ou estatais no exterior, privadas nacionais e internacionais, além de mistas.

Durante o governo Collor, não houve atitude de fato para o setor elétrico, mas alguns ares de mudança de rumo já eram prenunciados, no sentido da reestruturação, passando pela privatização, separação dos segmentos de geração, transmissão e distribuição, estabelecimento de licitação para as obras de hidrelétricas e reorganização dos órgãos reguladores e de planejamento.

f) Década de 1990

Em 1990, a capacidade instalada de energia elétrica no Brasil era em torno de 53.000 MW. Nesse período o Decreto nº 915/93 abriu caminho para as parcerias público privadas, permitindo a formação de consórcios para construção de usinas hidrelétricas.

Em 1995, início do governo Fernando Henrique Cardoso, outras duas importantes leis para o setor elétrico foram aprovadas, a Lei nº 8.967, que regulamentava os preceitos de licitação para concessões e deu, assim, início à competição no setor elétrico, e a Lei nº 9.074, que implantava a figura do Produtor Independente de Energia Elétrica (PIE). Em 1º de agosto de 1996, foi implantado o Projeto RE-SEB, com a finalidade de reestruturar o setor elétrico brasileiro.

Em 26 de dezembro de 1996, através da Lei nº 9.427, foi criada a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, autarquia em regime especial, vinculada ao MME, com as atribuições de regular e fiscalizar a geração, a transmissão, a distribuição e a comercialização da energia elétrica, atender reclamações de agentes e consumidores, mediar os conflitos de interesses entre os agentes do setor elétrico e entre estes e os consumidores, conceder, permitir e autorizar instalações e serviços de energia, garantir tarifas justas, zelar pela qualidade do serviço, exigir investimentos, estimular a competição entre os geradores e assegurar a universalização dos serviços. A Aneel passou a funcionar, efetivamente, a partir de 1997, quando foi extinto o DNAEE, do qual é sucessora.

O então novo Modelo do Setor Elétrico foi consagrado mediante a publicação, em 28 de maio de 1998, da Lei nº 9.648. O Operador Nacional do sistema - ONS foi instituído por essa lei, com atribuições principais do ONS são de operar o Sistema Interligado Nacional (SIN) e administrar a rede básica de transmissão de energia do País, por delegação dos agentes (empresas de geração, transmissão e distribuição de energia), seguindo regras, metodologias e critérios

codificados nos Procedimentos de Rede — aprovados pelos próprios agentes e homologados pela Aneel.

Foi também instituído, pela Lei nº 9.648/98, o Mercado Atacadista de Energia Elétrica - MAE, ambiente virtual (sem personalidade jurídica) auto-regulado, instituído através da assinatura de um contrato de adesão multilateral, o Acordo de Mercado, para ser o ambiente onde se processam a contabilização e a liquidação centralizada no mercado de curto prazo. A Administradora de Serviços do Mercado Atacadista de Energia Elétrica (ASMAE) era inicialmente uma sociedade civil de direito privado, braço operacional do MAE, empresa autorizada da Aneel. Posteriormente, com a publicação da Lei nº 10.433, de 24 de abril de 2002, foi autorizada a criação do MAE como pessoa jurídica de direito privado, submetido à regulamentação por parte da Aneel.

Se antecipando às mudanças do setor, em 7 de dezembro de 1998 as grandes empresas geradoras de energia elétrica de origem predominantemente hidráulica instituíram a Associação Brasileira das Empresas Geradoras de Energia Elétrica - ABRAGE, que hoje congrega 11 associadas.

g) Década de 2000

Em 2000, a capacidade instalada de energia elétrica no Brasil era em torno de 72.200 MW. Nessa época, através da introdução da livre comercialização de energia entre geradores/comercializadores e distribuidores/consumidores livres, e do surgimento das empresas de transmissão de energia — responsáveis pela disponibilização de equipamentos e instalações para o transporte de energia elétrica desde as usinas até os centros de consumo —, o setor ganhou outras três associações setoriais:

- i. em 1º de fevereiro de 2000 foi criada a Associação Brasileira das Grandes Empresas de Transmissão de Energia Elétrica - ABRATE, que atualmente congrega 8 empresas associadas;
- ii. em 9 de março de 2000 foi criada a Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia – ABRACEEL, que congrega 20 comercializadoras de energia elétrica. Além da Lei nº 9.648/98, as atividades de comercialização também são reguladas pela Lei nº 9.427/96;
- iii. em 22 de julho de 2000 foi criada a Associação Brasileira dos Pequenos e Médios Produtores de Energia Elétrica - APMPE, que congrega produtores de energia elétrica, empresas, entidades e associações interessadas na produção de energia elétrica em projetos de pequeno e médio porte, independentemente do tipo de fonte de geração.

Em 24 de fevereiro de 2000, por meio do Decreto no 3.371, o Governo Federal, através do então ministro do MME, Rodolpho Tourinho Neto, instituiu o Programa Prioritário de Térmicas (PPT). A portaria número 043, de 25 de fevereiro de 2000, definiu as usinas termelétricas a serem enquadradas no programa. Foram definidas como integrantes do PPT 53 usinas térmicas, num total de 19.293 MW, compreendendo usinas de cogeração a gás natural, usinas a gás natural em ciclo combinado, usinas a carvão mineral, usina a resíduo asfáltico, usina a xisto e usinas a serem convertidas para gás natural, com processo de conservação de energia.

Com o processo de privatização, que corria em paralelo com a então nova regulamentação do setor, em 2000, foi criada a Câmara Brasileira de Investidores em Energia Elétrica - CBIEE, que agrega 16 associados, entre grupos empresariais brasileiros, portugueses,

franceses, espanhóis, belgas e americanos, globalmente comprometidos com investimentos de longo prazo em infra-estrutura.

Em 2001, o Brasil enfrentou uma crise no abastecimento de energia que levou o País a uma difícil situação. Com a finalidade de agilizar as providências para enfrentar a escassez, o Governo Federal criou, através da Medida Provisória no 2.148-1, de 24 de maio de 2001, a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica - GCE, com o objetivo de propor e implementar medidas de natureza emergencial, decorrentes da situação hidrológica crítica, para compatibilizar a demanda e a oferta de energia elétrica, de forma a evitar interrupções intempestivas ou imprevistas do suprimento de energia elétrica.

Em junho de 2001, foi decretado o racionamento de energia elétrica, nas regiões sudeste, centro-oeste, nordeste e norte, que perdurou até fevereiro de 2002. Não há dúvidas que o País àquela época, possuía as condições propícias ao racionamento: sistema de geração com alta dependência hidrelétrica e insuficiência de novos empreendimentos, agravados por um período crítico de hidraulicidade.

Em 22 de junho de 2001, a GCE, através da Resolução nº 18, criou o Comitê de Revitalização do Modelo do Setor Elétrico, com a missão de encaminhar propostas para corrigir as disfunções correntes e propor aperfeiçoamentos para no modelo do setor elétrico. Ficou estabelecido que os trabalhos desenvolvidos pelo Comitê deveriam ser pautados na busca de soluções que preservassem os pilares básicos de funcionamento do modelo do setor, concebido pelo projeto RE-SEB, a saber: competição nos segmentos de geração e comercialização de energia elétrica, expansão dos investimentos necessários com base em aportes do setor privado e regulação dos segmentos que são monopólios naturais (transmissão e distribuição de energia elétrica).

Apesar de muitas das térmicas do PPT não terem se concretizado, não há dúvidas que essas plantas passaram a ocupar um espaço crescente na matriz elétrica brasileira. Com base nisso, em 18 de dezembro de 2001 foi criada a Associação Brasileira de Geradoras Termelétricas – ABRAGET. Suas 25 associadas estão distribuídas por todo o País, pertencentes a grupos nacionais e estrangeiros controlados pelo Estado ou pela iniciativa privada.

Dentre os programas implantados pela GCE para restabelecer o equilíbrio entre oferta e demanda de energia elétrica no País, encontra-se o programa de energia emergencial, que visava o aumento da oferta a curto prazo, implementado pela Comercializadora Brasileira de Energia Emergencial - CBEE, criada em 29 de agosto de 2001, através da Medida Provisória no 2.209/01 e pelo Decreto no 3.900/01. O programa assenta-se em duas bases especificadas na Lei nº 10.438/02: pagamento a produtores independentes de energia e rateio dos custos entre os consumidores. A CBEE realizou a contratação das usinas térmicas emergenciais, acompanhou a implantação e atualmente administra os contratos com os produtores independentes. Efetivamente, foram implantados pelo programa 1.850 MW, dos quais, 1.500 MW no nordeste.

O conceito da livre negociação de energia do Projeto RE-SEB durou pouco tempo e, ainda no governo FHC, medidas provisórias, convertidas em lei, ressaltando-se as Leis nºs 10.403, de abril de 2002, e 10.604, de dezembro de 2002, e o Decreto nº 4.562, de 31.12.2002, regulados por várias resoluções Aneel, passaram a restringir a venda e aquisição de energia, limitando fortemente a livre negociação e, conseqüentemente, a atuação das comercializadoras.

Em 1º de agosto de 2002 foi criada a Associação Brasileira dos Produtores de Energia Emergencial - ABPEE, atualmente com 9 PIEs associados.

Em 10 de dezembro de 2003 foram emitidas as Medidas Provisórias 144, que dispõe sobre a comercialização de energia, e 145, que dispõe sobre a criação da Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Elas resultaram nas Leis n^os 10.848 e 10.847, respectivamente, ambas de 15 de março de 2004.

Resumidamente, o modelo em questão tem como características principais: (i) a criação das “figuras” da energia existente, também chamada de energia velha e da energia de novos empreendimentos, também chamada de energia nova, criando formas distintas de comercialização dessas energias; (ii) a existência de dois ambientes de contratação, o Ambiente de Contratação Livre - ACL e o Ambiente de Contratação Regulada - ACR; (iii) o “retorno” ao planejamento setorial e criação do planejamento energético, com a criação da Empresa de Pesquisa Energética - EPE, vinculada ao MME; (iv) a extinção do MAE e criação da Câmara de Comercialização de Energia - CCEE, com funções mais abrangentes; e (v) a redefinição dos papéis do MME, que passa a ser o executor da política energética emanada do Conselho Nacional de Política Energética - CNPE e da ANEEL, que passa a ter a função exclusiva de regulação e fiscalização.

ANEXO C – Modelo insumo-produto de Leontief

O resumo a seguir foi preparado a partir do artigo de Vieira Filho et al. (2006).

A idéia básica do modelo de insumo-produto de Leontief é que a atividade de um grupo de indústrias produtoras de mercadorias (outputs) consome mercadorias de outras indústrias (inputs) ao longo do processo de produção industrial num dado período de tempo. As linhas do quadro de insumo-produto registram os fluxos de saídas de produção, mostrando como a produção de um determinado setor de atividade produtiva se distribui entre os demais setores da economia. As colunas do quadro registram as entradas necessárias à produção, mostrando a estrutura de insumos utilizada por cada setor de atividade produtiva. Desta forma, o quadro de insumo-produto tem o formato de uma tabela de dupla entrada que contém uma linha e uma coluna para cada setor.

De acordo com a Figura 30, os setores de cada linha da matriz Z indicam os fluxos inter-setoriais de bens e serviços (consumo intermediário), sendo que na matriz Y estão registrados os fluxos que se destinam à demanda final na economia (consumo das famílias, consumo do governo, exportações, formação bruta de capital fixo e variação de estoques). Por sua vez, os setores de cada coluna registram o valor dos gastos totais efetuados pelo respectivo setor com a aquisição de insumos do próprio e dos demais setores.

As linhas abaixo da matriz Z e da matriz Y registram as despesas com importações, impostos indiretos líquidos e as remunerações aos serviços dos fatores de produção (valor adicionado). Os totais de cada linha e de cada coluna do quadro de insumo-produto correspondentes a um determinado setor devem ser iguais, expressando o valor bruto de produção deste setor. Assim, para o equilíbrio da economia, tem-se que as despesas de cada setor são iguais às suas respectivas receitas.

	SETORES DE DESTINO		
SETORES DE ORIGEM	CONSUMO INTERMEDIÁRIO (MATRIZ Z)		DEMANDA FINAL (Y)
			PRODUÇÃO TOTAL (X)
	IMPORTAÇÃO (I)		
	IMPOSTOS INDIRETOS LÍQUIDOS (IIL)		
	VALOR ADICIONADO (W)		
	PRODUÇÃO TOTAL (x^T)		

Figura 30 – Matriz de transações (modelo de Leontief)

Assim, se uma economia é dividida em n setores, sendo X_i o valor bruto da produção do setor i , Y_i a parcela da produção do setor i que se destina à demanda final e Z_{ij} a parcela da produção do setor i que se destina ao setor j , tem-se o seguinte sistema de equações lineares:

$$\begin{aligned}
X_1 &= Z_{11} + Z_{12} + \dots + Z_{1n} + Y_1 \\
X_2 &= Z_{21} + Z_{22} + \dots + Z_{2n} + Y_2 \\
&\vdots \\
X_i &= Z_{i1} + Z_{i2} + \dots + Z_{in} + Y_i \\
&\vdots \\
X_n &= Z_{n1} + Z_{n2} + \dots + Z_{nm} + Y_n
\end{aligned} \tag{1}$$

A partir do sistema de equações acima, deriva-se a matriz dos coeficientes técnicos de produção, sendo que a parcela de insumo i absorvida pelo setor j seja diretamente proporcional à produção do setor j . Estes coeficientes descrevem a estrutura tecnológica do setor correspondente. Seus valores são fixos e definem funções de produção lineares e homogêneas para os setores, que podem ser representados genericamente pela relação técnica entre as variáveis:

$$Z_{ij} = a_{ij} \cdot X_j \tag{2}$$

Utilizando as relações técnicas de produção, o sistema de equações se transforma em:

$$\begin{aligned}
X_1 &= a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n + Y_1 \\
X_2 &= a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n + Y_2 \\
&\vdots \\
X_i &= a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{in}X_n + Y_i \\
&\vdots \\
X_n &= a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + \dots + a_{nm}X_n + Y_n
\end{aligned} \tag{3}$$

ou, expresso em notação matricial:

$$X_{n1} = A_{nm} \cdot X_{n1} + Y_{n1} \tag{4}$$

Para resolver o modelo, é preciso exprimir o vetor X (variáveis endógenas) em função dos parâmetros de A^3 e do vetor Y (variáveis exógenas). Logo, tem-se:

$$X_{n1} - A_{nm} \cdot X_{n1} = Y_{n1} \text{ ou } (I_{nm} - A_{nm}) \cdot X_{n1} = Y_{n1} \tag{5}$$

A matriz $(I - A)^{-1}$ é denominada de matriz inversa de Leontief. Assim, tem-se que:

$$X_{n1} = (I_{nm} - A_{nm})^{-1} \cdot Y_{n1} \tag{6}$$

Na matriz inversa de Leontief, denominada de matriz B , cada elemento b_{ij} representa os requisitos diretos e indiretos de insumos do setor i por unidades monetárias de demanda final à produção do setor j . Pela matriz inversa de Leontief, é possível definir o multiplicador de produção para cada setor como sendo a soma das colunas. Algebricamente, o multiplicador é definido para cada setor j como:

$$m_j = \sum_{i=1}^n b_{ij} \quad (7)$$

Para o cálculo dos efeitos de encadeamento para trás e para frente ao longo da cadeia produtiva, deve-se utilizar a matriz inversa de Leontief. Nesse sentido, seja o escalar B^* uma média de todos os elementos da matriz B . Além disso, calculam-se B_{*j} como a soma de todos os elementos da coluna j de B e B_{i*} como a soma de todos os elementos da linha i de B . Desta forma, apresentam-se as seguintes equações:

$$B_{*j} = \sum_{i=1}^n B_{ij} \quad (8.1)$$

$$B_{i*} = \sum_{j=1}^n B_{ij} \quad (8.2)$$

O índice de ligação para trás - ou índice de poder de dispersão (U_j) - e o índice de ligação para frente - ou índice de sensibilidade à dispersão (U_i) - são dados, respectivamente, por:

$$U_{*j} = \frac{B_{*j}/n}{B^*} \quad (9.1)$$

e

$$U_{i*} = \frac{B_{i*}/n}{B^*} \quad (9.2)$$

Tais indicadores descrevem a extensão relativa em que cada setor é afetado, de forma direta e indiretamente, por uma variação de uma unidade monetária na demanda final do setor. Os efeitos de encadeamentos para trás se dão a partir do aumento da demanda por insumos de outros setores, que devem aumentar sua produção para atender a esse aumento da demanda. Já o efeito de encadeamento para frente é observado quando o aumento da demanda final em cada um dos setores produtivos venha a causar incremento na produção de um setor em particular.

Um índice de poder de dispersão maior que um indica que a capacidade do setor em gerar efeitos para trás está acima da média do sistema. Em outras palavras, o sistema produtivo tem um grau elevado de dependência em relação a esse setor. Já o índice de sensibilidade à dispersão (U_i) mostra como o setor é afetado - direta e indiretamente - pelo sistema produtivo. Novamente, valores superiores à unidade significam que sua importância, enquanto fornecedor de insumos intermediários, é superior à média dos demais setores sendo, portanto, mais sensível que aqueles em relação a mudanças no sistema produtivo, tendo um poder de encadeamento para frente significativo.

São definidos como setores-chave aqueles que possuem fortes efeitos de encadeamento em termos do fluxo de bens e serviços, ou seja, aqueles que apresentam, simultaneamente, índices de ligação para frente e para trás com valores superiores à unidade.