

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS JURÍDICAS E ECONÔMICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA**

**CLÁUDIA GUIO BRAGATO**

**GERAÇÃO ENERGÉTICA E PROCESSOS  
TECNOLÓGICOS SUSTENTÁVEIS:  
IMPASSES E ALTERNATIVAS PARA O BRASIL**

**VITÓRIA  
2002**

**CLÁUDIA GUIO BRAGATO**

**GERAÇÃO ENERGÉTICA E PROCESSOS  
TECNOLÓGICOS SUSTENTÁVEIS:  
IMPASSES E ALTERNATIVAS PARA O BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Economia.  
Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Sonia Maria Dalcomuni.

**VITÓRIA  
2002**

**CLÁUDIA GUIO BRAGATO**

**GERAÇÃO ENERGÉTICA E PROCESSOS  
TECNOLÓGICOS SUSTENTÁVEIS:  
IMPASSES E ALTERNATIVAS PARA O BRASIL**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Sonia Maria Dalcomuni**  
**Orientadora**

---

**Prof. Dr. Rogério Arthmar**

---

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Luciana Togeiro de Almeida**

**Vitória, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por me ter dado saúde para vencer cada etapa do Mestrado, no decorrer desses três anos.

A meus queridos pais, que me incentivaram a investir nos estudos, desde criança, por acreditarem estar aí a verdadeira construção do conhecimento humano: a grande herança que me deixam e que insisto em ampliar. Aos demais membros da minha família, principalmente às minhas irmãs, que sempre me entenderam e apoiaram.

A todos os professores do Mestrado, verdadeiros mestres, pela convivência amiga, pelos valiosos e inesgotáveis conhecimentos e pelas palavras carinhosas de incentivo em cada etapa vencida.

Aos meus colegas de turma, sempre presentes com debates e momentos de descontração ao longo do percurso, em especial a Mário Vasconcelos Neto, Marcos Renato Lorenção e Paulo César Storch, que se tornaram amigos de verdade, escutando-me e incentivando-me nos momentos difíceis.

Aos meus colegas de profissão e professores que me ajudaram com materiais, críticas, sugestões e debates, em especial aos professores Herbert Barbosa Carneiro (UFES) e Taís Abreu Cavalcante (UFRJ).

A Alberto Sérgio Kligerman (ONS), Marcos Spagnol e Lúcia de Oliveira Ribeiro (Eletrobras), pelas valiosas informações e materiais enviados.

Aos funcionários das bibliotecas e centros de pesquisa que visitei – Fundação Castelo Branco, Escelsa, Eletrobras e UFES – e que sempre me atenderam prontamente.

À Fundação Educacional Presidente Castelo Branco, por ter custeado parte das minhas despesas com este Mestrado.

À Ailana Bayerl Oliveira, pela paciência e competência na elaboração de tabelas, quadros, figuras e alguns gráficos desta dissertação.

À minha querida mestra e orientadora, que me despertou para o estudo dos problemas ambientais, tirando-me da mesmice do aspecto meramente técnico e dando-me ajuda para a construção de minha mentalidade ambiental, pela paciência e atenção.

Ao meu esposo, Carlos, engenheiro eletrônico, pela construção de alguns gráficos que ilustram esta dissertação e pelas críticas a todos os meus trabalhos, sobretudo no decorrer deste último, e acima de tudo por ter entendido e, com o tempo, aceitado a necessidade do adiamento de nossos planos pessoais, diante da importância deste Mestrado para mim.

A todos vocês, meu reconhecimento e meu sincero muito obrigada!

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Investimentos históricos do setor elétrico – 1980/97 .....	<b>53</b>
<b>Figura 2</b> – Setor elétrico brasileiro: o ambiente institucional .....	<b>56</b>
<b>Figura 3</b> – Economia e mercado de energia elétrica .....	<b>58</b>
<b>Figura 4</b> – Produção mundial de petróleo e recursos estimados – 1500-2500 .....	<b>64</b>
<b>Figura 5</b> – Origem das fontes de energia .....	<b>68</b>
<b>Figura 6</b> – Consumo mundial de energia primária e renovável por tipo de energia (1998) .....	<b>69</b>
<b>Figura 7</b> – Perfil do consumo de energia no Brasil (1998) .....	<b>70</b>
<b>Figura 8</b> – Diagrama de bloco de um sistema eólico .....	<b>73</b>
<b>Figura 9</b> – Diagrama de bloco de um sistema solar fotovoltaico (FV) .....	<b>75</b>
<b>Figura 10</b> – Central termelétrica com combustão externa (a vapor) .....	<b>77</b>
<b>Figura 11</b> – Turbina a vapor para cogeração de calor e eletricidade usando biomassa .....	<b>78</b>
<b>Figura 12</b> – Ciclo combinado – diagrama simplificado .....	<b>79</b>
<b>Figura 13</b> – Comparação entre energia renovável e não renovável (%) .....	<b>86</b>
<b>Figura 14</b> – Esquema básico de uma célula de combustível .....	<b>90</b>
<b>Figura 15</b> – Planejamento da expansão do setor elétrico .....	<b>98</b>
<b>Figura 16</b> – Capacidade instalada do Sistema Interligado Nacional .....	<b>111</b>
<b>Figura 17</b> – Capacidade instalada de eletricidade no Brasil (2002) .....	<b>115</b>

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>1 INOVAÇÃO E CRESCIMENTO: UMA ABORDAGEM EVOLUCIONISTA .....</b>	<b>15</b>
1.1 CRESCIMENTO E SUSTENTABILIDADE .....	15
1.2 ABORDAGEM SISTÊMICA DO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO .....	20
1.3 CIÊNCIA E TECNOLOGIA .....	22
1.4 TECNOLOGIA E ECONOMIA .....	26
1.5 INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS E MUDANÇAS TÉCNICAS .....	29
1.6 TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE .....	32
1.7 SISTEMAS NACIONAIS DE INOVAÇÃO .....	38
<b>2 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO: HISTÓRICO, CONSTITUIÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>44</b>
2.1 HISTÓRICO DO SETOR ELÉTRICO NACIONAL .....	44
2.1.1 Breve panorama do setor .....	44
2.1.2 O processo de privatização do setor elétrico .....	49
2.1.3 O cenário atual do setor energético no Brasil .....	58
2.2 CARACTERIZAÇÃO E ESTRUTURA TECNOLÓGICA .....	60
2.2.1 Desenvolvimento do padrão tecnológico nacional .....	60
2.2.2 Perspectivas quanto à evolução tecnológica no setor .....	63

<b>3</b>	<b>OPÇÕES ENERGÉTICAS: REFORÇAMENTOS OU OBSTÁCULOS À UMA TRAJETÓRIA TECNOLÓGICA SUSTENTÁVEL? .....</b>	<b>67</b>
3.1	MATRIZES ENERGÉTICAS E FONTES DE ENERGIA ELÉTRICA..	67
3.2	PRINCIPAIS FORMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E SEUS RESPECTIVOS ASPECTOS AMBIENTAIS .....	71
3.2.1	Geração a partir de fontes primárias renováveis .....	71
3.2.1.1	Geração hidrelétrica .....	71
3.2.1.2	Geração eólica .....	72
3.2.1.3	Geração solar .....	74
3.2.1.4	Geração termelétrica .....	76
3.2.1.4.1	Centrais a vapor – não nucleares .....	77
3.2.1.4.2	Geração termosolar (heliotérmica) .....	78
3.2.1.4.3	Termelétricas com sistema de ciclo combinado – gaseificação ..	79
3.2.1.4.4	Geotérmica .....	81
3.2.1.4.5	Energia dos oceanos .....	81
3.2.2	Geração a partir de fontes primárias não renováveis .....	83
3.2.2.1	Geração termelétrica .....	83
3.2.2.1.1	Petróleo e derivados .....	83
3.2.2.1.2	Gás natural .....	86
3.2.2.1.3	Centrais a diesel .....	87
3.2.2.1.4	Carvão mineral .....	87
3.2.2.1.5	Combustíveis radioativos .....	88
3.2.3	Outras fontes de geração .....	89
3.2.3.1	Células de combustível .....	89
3.2.3.2	Sistemas híbridos .....	91
<b>4</b>	<b>DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DO SISTEMA ENERGÉTICO NO BRASIL .....</b>	<b>93</b>
4.1	CONDICIONANTES INTERNOS E EXTERNOS AO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO .....	93

<b>4.1.1</b>	<b>Planejamento de geração de eletricidade no Brasil .....</b>	<b>93</b>
<b>4.1.2</b>	<b>O Proinfa .....</b>	<b>102</b>
<b>4.1.3</b>	<b>O Protocolo de Kyoto .....</b>	<b>104</b>
<b>4.2</b>	<b>PADRÃO TECNOLÓGICO ATUAL: PRÓS E CONTRAS À SUSTENTABILIDADE DO SETOR ENERGÉTICO .....</b>	<b>110</b>
<b>4.3</b>	<b>CRISE ENERGÉTICA: ESTÍMULO OU OBSTÁCULO A MODELOS ENERGÉTICOS SUSTENTÁVEIS? .....</b>	<b>117</b>
	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>122</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>127</b>

## RESUMO

Este estudo dedica-se à análise da inter-relação entre paradigma tecnológico subjacente à matriz energética brasileira e meio ambiente, centrando-se no segmento de tecnologias de geração de eletricidade, numa perspectiva de crescimento sustentável. Procura refletir se a crise brasileira de suprimento energético evidenciada em abril de 2001 e as subseqüentes ações e busca de soluções para essa crise tendem a potencializar ou a obstaculizar o desenvolvimento do setor e da economia brasileira, numa perspectiva de crescimento econômico com equidade social e proteção ambiental, conforme preconizado no conceito de desenvolvimento sustentável. As opções tecnológicas para a geração de energia atualmente em uso e em discussão são analisadas em relação a seus aspectos positivos e negativos, em termos de geração de externalidades ambientais. A inovação tecnológica é enfocada como alternativa capaz de mudar o “paradigma dos hidrocarbonetos” predominante no mundo para a geração de energia elétrica. Efetua um resgate histórico da constituição e desenvolvimento do setor, das principais reformas do ambiente institucional do setor elétrico brasileiro até a atual configuração, com o intuito de conhecer os novos atores envolvidos no processo regulatório, de integração e de suporte. Os condicionantes internos e externos são analisados como fatores capazes de contribuir para, ou de retardar a adoção de uma trajetória sustentável para o setor elétrico nacional. A conclusão a que se chega é de que, apesar de o Brasil se preocupar em percorrer a trajetória de uma matriz energética limpa, num primeiro momento propiciou a adoção do Programa Prioritário de Termoeletricidade que, mesmo sendo de caráter complementar ao atual parque gerador, poderá contribuir para uma dependência energética de um combustível fóssil poluente, em detrimento de outras possibilidades menos impactantes, sem garantir a não-ocorrência de futuras crises de suprimento. A mudança nos conceitos e valores da sociedade contribuirá para reestruturar a economia energética global, forçando o aumento da parcela das fontes renováveis dentro da matriz energética mundial, e permitirá a continuação do progresso econômico da humanidade, diante de uma demanda de energia maior e continuada no futuro.

**Palavras-chave:** Setor elétrico; Tecnologia; Meio ambiente; Desenvolvimento sustentável.

## ABSTRACT

The following research approaches the interaction between the technological paradigm subjacent to the Brazilian energetic power nucleus and environment, centralising on the electricity generation centre, in a sustainable growth perspective. One searches to think over whether the Brazilian power supply crisis noticed in April 2001 and consequent actions and as well as quests for solutions to the resolution of the same, tends to solve or block the sector development and the Brazilian economy in a perspective of economic growth associated to social equity and environmental protection, according to what's been prioritised by sustainable development concept. Hence, the technological options for currently used power-generating techniques and those in discussion are analysed regarding its positive and negative aspects in terms of generating environmental external influences. Technological innovation is focused as an alternative capable of changing the "hydrocarbon paradigm" predominant in the world power supply generation. One does a historical rescue of the sector development, also approaching the main reforms on the Brazilian electric institutional sector up to the current configuration aimed at knowing the new sector agents involved in the regulatory process, integration, and support. Through the analysis of internal or external conditioners, one can figure their capability of contributing or delaying the adoption of a sustainable trajectory for the national electric sector. The achieved conclusion is, despite worrying on maintaining its energetic nucleus clean, Brazil, at a first moment, provided the acquiring of a "Priority Thermoelectric Program", that even though having a complementary character to the actual generating park, will be able to contribute to an energetic dependence on a pollutant fossil combustible, amongst other existent possibilities, without ensuring the inexistence of the future supply crisis. The transformation in concepts, as well as society values will indeed contribute for the restructuring of global energetic economy, boosting the renewable sources portion within the world energetic nucleus and will allow humanity economic progress growth, facing a wider continuing power demand in the future.

**Keywords:** Electric power sector; Technology; Environment; Sustainable development.

## INTRODUÇÃO

Diante das recentes mudanças de postura e comportamento de empresas e do governo brasileiro, este estudo tem o objetivo de focar a análise da interação entre setor energético e meio ambiente, numa perspectiva de discutir se o modelo energético vigente no Brasil e o contexto da crise energética explicitada em 2001 tendem a favorecer ou a obstaculizar o desenvolvimento do setor e do país, numa ótica de “desenvolvimento sustentável”,<sup>1</sup> ou seja, crescimento econômico com equidade social e, especialmente, com preservação dos recursos naturais do país.

A cadeia produtiva da energia elétrica é ampla e complexa, envolvendo geração, transmissão e distribuição. Entretanto, o objetivo aqui é a análise da geração de eletricidade no Brasil e suas principais inter-relações com o meio ambiente. A escolha desse objeto é justificada pelos seguintes fatores: o reconhecimento de que a energia elétrica é um dos principais pilares de sustentação da continuação e evolução da atividade produtiva nacional; a crise de geração de eletricidade, que culminou em abril de 2001 e levou o governo a tomar medidas de impacto, envolvendo toda a sociedade; e os rumos tecnológicos que o governo e o setor no Brasil seguirão ou adotarão, na tentativa de resolver, em caráter de urgência, a crise de geração de energia elétrica, diante das tecnologias energéticas conhecidas e disponíveis que podem deixar dúvidas quanto à viabilidade técnico-econômica e aos impactos ambientais.

Objetiva-se com esta análise interligada das tecnologias de produção de eletricidade e meio ambiente explicitar a natureza multidisciplinar da questão energética e investigar se o paradigma tecnológico subjacente à matriz energética brasileira e as pressões da crise energética em curso facilitam ou obstaculizam o desenvolvimento do setor e da economia nacional numa direção menos impactante ambientalmente. Contudo, o foco deste estudo não está diretamente em como se economizar ou racionar o uso da energia elétrica, retardando a construção de novas usinas de geração de eletricidade, mas, sim, nas mudanças pelas quais o governo brasileiro tenderá a optar para aumentar a capacidade instalada e adequar a atual oferta de energia elétrica, diante do crescimento contínuo de sua demanda. O intuito é, pois, verificar as opções energéticas mundiais disponíveis oferecidas para a geração de energia

---

<sup>1</sup> De acordo com a COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (1987, p. 46), “o desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades”, conceito este ligado a dois conceitos-chave que são o de necessidades e o de limites ao desenvolvimento. Esse assunto será abordado com mais profundidade no Capítulo 1 deste estudo.

elétrica e analisar as decisões que o governo brasileiro está tomando, direcionando ou não suas ações para um desenvolvimento tecnológico menos poluente.

A Convenção do Clima, realizada em 1992 no Rio de Janeiro, já reconhecia que os problemas de poluição são causados principalmente pelos países desenvolvidos e relacionados com o uso de combustíveis fósseis para a geração de energia e a emissão de dióxido de carbono<sup>2</sup> (CO<sub>2</sub>). Assim, foi seu objetivo que as restrições propostas para estabilizar as emissões permitissem adequar os ecossistemas naturais e a sociedade como um todo, haja vista que os problemas nacionais deixaram de ser locais e tomaram uma dimensão global, sobretudo quando relacionados aos problemas ambientais causados. A responsabilidade pela manutenção da vida no planeta mostra-se progressivamente como uma necessidade de compromisso de todos os envolvidos no processo decisório e de todos os atingidos por esses problemas, e a cooperação internacional torna-se fundamental na busca de soluções para os problemas que envolvem meio ambiente e desenvolvimento.

O interesse por esse tema é reforçado pela atualidade e pela importância do assunto energia e meio ambiente presente na recente “Agenda 21 Brasileira – Ações Prioritárias” (CPDS, 2002), cujo Objetivo 4 versa sobre a energia renovável e a biomassa. Na Agenda 21 Nacional, a energia é reconhecida como o fator essencial da promoção do desenvolvimento e serve como medida do progresso técnico de uma civilização. Admite-se, no Objetivo 4, que o Brasil possui uma matriz energética eminentemente limpa e espera-se que, apesar dessa vantagem, não haja retrocesso nessa configuração, sendo necessário para tal o investimento em energias renováveis. O grande potencial energético nacional deverá ser considerado para permitir o atendimento das necessidades regionais, o suprimento de energia necessário em bases cada vez mais limpas, visando sobretudo à eficiência no seu uso e na sua conservação.

Para isso, a Agenda 21 Brasileira propõe, entre outras medidas, o desenvolvimento e a incorporação de tecnologias de fontes renováveis de energia, considerando as disponibilidades e as necessidades regionais; a retomada da função de planejamento de curto, médio e longo prazos para o setor energético, por meio de debates amplos e transparentes sobre os planos de expansão para o futuro, em busca de alternativas sustentáveis para o consumo e o uso da energia; e ações prioritárias quanto ao uso de fontes alternativas renováveis, universalizando o acesso à energia elétrica para localidades urbanas e rurais isoladas.

---

<sup>2</sup> Esse gás é um dos maiores responsáveis pelo “efeito estufa”.

Assim, algumas questões irão permear este estudo: essa crise levará o país a adotar recursos energéticos menos ou mais impactantes ambientalmente, diante das tecnologias disponíveis para a geração energética? A urgência da resolução ou amenização da atual crise no setor elétrico contribuirá para que os tomadores de decisão brasileiros reflitam e optem por estratégias sustentáveis e menos dependentes no longo prazo, ou tenderá a reformar um paradigma tecnológico contrário aos objetivos do “desenvolvimento sustentável”? O tempo para adequar a oferta de energia será suficiente para evitar novas crises diante do crescimento da demanda nacional, considerando-se a dimensão ideal do mercado e sua taxa de expansão?

Na tentativa de responder a essas perguntas, foi preciso buscar um referencial teórico que oferecesse suporte e também discutisse questões centrais deste estudo, quais sejam: tecnologia, inovação e meio ambiente. A teoria evolucionista mostrou-se à autora como a mais adequada à discussão da dinâmica do desenvolvimento tecnológico, por entendê-lo como um elemento endógeno à industrialização, dela, portanto, dependente, repleto de possibilidades e circunscrito temporalmente. Essa teoria busca definir fontes e direções do progresso tecnológico, reconhecendo que elas implicam mudanças sucessivas de paradigmas.

O maior crescimento econômico foi propiciado pelo desenvolvimento tecnológico, que aumentou a velocidade de utilização dos recursos naturais, intensificando o uso de matérias-primas e energia. Externalidades negativas também são geradas pela evolução da atividade produtiva, as quais causam poluição de vários tipos, resultante do acúmulo de poluentes além de sua capacidade de absorção pelo planeta, e caracterizam o desequilíbrio ambiental vigente. O paradigma do “desenvolvimento sustentável” passa a constituir a base da busca de soluções de caráter amplo para o desenvolvimento mundial, pois abrange as dimensões políticas, econômicas, sociais, tecnológicas e ambientais. Segundo Sachs (2000), para alcançá-lo, os países devem buscar atender simultaneamente aos seus três pilares: relevância social, prudência ecológica e viabilidade econômica, o que não é tarefa fácil.

Com o propósito de alcançar as metas desse desenvolvimento mais consciente e harmônico sonhado, a tecnologia surge como uma opção ou solução, porque pode ser conduzida e desenvolvida, reconstruindo uma nova direção para o desenvolvimento tecnológico, em busca de processos produtivos que agridam menos o meio ambiente, amenizem ou corrijam parte dos problemas, como tentativa de administrar os impactos ambientais gerados por ela. As tecnologias também podem ser reorientadas eficazmente para coibir o crescimento da poluição ou substituir, quando possível, insumos básicos poluentes no processo produtivo.

As principais mudanças climáticas tiveram sua origem no desenvolvimento industrial. O reconhecimento do processo econômico como um processo físico de transformação de matérias reforça a evidência de que a Revolução Industrial foi uma revolução tecno-energética e que esse processo trouxe também efeitos negativos, que se tornaram visíveis com os impactos da atividade industrial sobre o meio ambiente. A questão do sistema de produção e a escolha dos recursos naturais precisam ser urgentemente revistas, pois estão relacionadas a contextos mais amplos e complexos na ótica de desenvolvimento e crescimento econômicos.

No Brasil, o processo de industrialização intensificou-se com o II Plano Nacional de Desenvolvimento (PND), em função do qual houve concentração de investimentos em setores da indústria de base para dar suporte aos demais setores industriais. A preocupação com a questão ambiental no país, porém, só foi reforçada na década de 1990, seguindo uma tendência internacional especialmente centrada na Europa, quando a sociedade começou a demonstrar maior interesse e preocupação com os problemas decorrentes da má gestão dos recursos naturais. Algumas empresas nacionais passaram a envolver-se em projetos e programas ambientais e sociais, preocupadas com sua imagem. Outras, ligadas a setores exportadores, como as de papel e celulose, sofreram pressões externas para corrigir alguns de seus impactos ambientais. A maior cobrança da sociedade também forçou o governo brasileiro a posicionar-se, buscando criar ou mesmo melhorar leis de cunho ambiental.

Na tentativa de responder às questões de pesquisa que orientam o estudo em tela, esta dissertação foi estruturada como segue.

O primeiro capítulo dedica-se à identificação de um arcabouço teórico que possibilite a compreensão da inter-relação entre tecnologia e crescimento econômico, numa perspectiva de “desenvolvimento sustentável”, tratando dos fatores que envolvem a tecnologia, a economia e o meio ambiente.

O segundo capítulo resgata de forma breve o histórico do setor elétrico brasileiro, caracterizando sua constituição e evolução através da adoção de um padrão e de uma política tecnológica nacional.

O terceiro capítulo identifica, num enfoque técnico, as principais opções tecnológicas para a geração de energia elétrica e suas conseqüências sobre o meio ambiente.

O quarto capítulo aponta os aspectos considerados no planejamento de geração energética e os recentes condicionantes internos e externos que poderão direcionar esse planejamento, analisando os caminhos seguidos pelo setor no Brasil, focando seus prós/contras e as perspectivas futuras no que se refere à adoção de um padrão tecnológico ambientalmente sustentável no sistema energético do país.

As conclusões reúnem as principais constatações e considerações sobre o objeto deste estudo, com o intuito de alertar a sociedade e o setor elétrico brasileiro sobre como a tecnologia, usada de forma consciente, pode colaborar para retardar e/ou evitar os efeitos danosos de um maior desenvolvimento sobre o meio ambiente natural.

# CAPÍTULO 1

## INOVAÇÃO E CRESCIMENTO: UMA ABORDAGEM EVOLUCIONISTA

Este capítulo faz uma análise da dinâmica de competição capitalista em busca da sobrevivência e do crescimento dos agentes econômicos no mercado. Utiliza, para tanto, como referencial teórico, a teoria evolucionista.<sup>3</sup> Esta teoria caracteriza-se por analisar o papel do desenvolvimento tecnológico e da dinâmica econômica, enfocando estruturas econômicas, tecnológicas e institucionais, através de suas transformações e evoluções ao longo do tempo. Esse tipo de abordagem é tido como holístico, pois a integração entre os agentes econômicos e a interação entre as variáveis do processo de crescimento econômico são interpretadas como determinantes da trajetória do sistema presente, resultado de sua história passada. A teoria evolucionista designa, então, uma linha temporal, de acordo com a qual trajetórias passadas influenciam a presente, que, por sua vez, influenciará a trajetória futura, nucleando, como motor de evolução, a mudança tecnológica, conferindo-lhe um caráter dinâmico e histórico. Antes dessa análise, porém, é feita a distinção entre crescimento e desenvolvimento econômicos sob a ótica do desenvolvimento sustentável.

### 1.1 CRESCIMENTO E SUSTENTABILIDADE

O crescimento econômico de uma nação ainda tem sido aceito por muitos cientistas como sinônimo de desenvolvimento econômico. No entanto, cresce o consenso de entendê-los como fenômenos distintos. Enquanto a noção de crescimento econômico envolve o incremento de variáveis em termos quantitativos, o desenvolvimento econômico relaciona-se a uma abordagem qualitativa,<sup>4</sup> especialmente no que se refere à sua distribuição na sociedade. Essa discussão passa pela evidência de que os setores que compõem o sistema econômico não crescem igualmente, percentualmente falando, nem na mesma direção; da mesma forma, o

---

<sup>3</sup> Também chamada de Teoria Evolucionária, ou, para alguns, neo-schumpeteriana.

<sup>4</sup> Este conceito diz respeito à configuração de dados importantes para uma nação, comparativamente a outra, como distribuição da riqueza, índices de natalidade e mortalidade infantil, acesso à educação, entre outros, que compõem o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH).

acesso social aos resultados advindos dá-se de maneira diferenciada de país para país, de região para região, em termos complexos de serem explicados, aceitando-se, contudo, a inter-relação entre ambos.

É reconhecido que o crescimento econômico só é possível através de avanços tecnológicos resultantes de um processo evolucionista em que alternativas tecnológicas competem entre si (Nelson, 1994). E para que ou por que crescer economicamente? A resposta a essa questão envolve uma variável social, que é o aumento da população em nível mundial nos países. Logo, é fundamental a aceitação de que os problemas da atualidade compreendem dimensões econômicas e dimensões sociais e devem ser analisados conjugando-se variáveis econômicas e sociais. A concordância a esse respeito sinaliza contradições crescentes entre crescimento e desenvolvimento econômicos, pois coloca a importância de se pensar sobre a sustentabilidade do desenvolvimento com crescimento populacional e crescimento econômico compatível.

Há diferentes formas de crescimento com diferentes impactos sobre os sistemas econômicos, sociais e ecológicos. Sachs (2000), ao analisar tais diferenças, propõe uma taxonomia específica ilustrada no Quadro 1, a seguir.

**QUADRO 1 – Padrões de Crescimento**

	<b>Impactos</b>		
	Econômicos	Sociais	Ecológicos
1. Crescimento desordenado	+	-	-
2. Crescimento social benigno	+	+	-
3. Crescimento ambientalmente sustentável	+	-	+
4. Desenvolvimento	+	+	+

Fonte: Sachs (2000, p. 36).

O crescimento populacional favorece o sobreuso do meio ambiente. Por outro lado, o aumento da produtividade, possibilitado por soluções técnicas, busca garantir a continuidade ao progresso material humano (Sachs, 2000). Torna-se evidente a dependência entre desenvolvimento e meio ambiente. O domínio da natureza representou historicamente a crença infinita nas possibilidades positivas propiciadas pelo progresso técnico. Entretanto, a escassez de recursos naturais e as necessidades ilimitadas do ser humano têm chamado a atenção para os problemas advindos do sobreuso do meio ambiente e do domínio tecnológico.

A evolução tecnológica, fruto dos avanços técnicos, além de gerar externalidades positivas através dos benefícios resultantes do aumento da produção material, tem também a capacidade de gerar externalidades negativas, conhecidas como problemas ambientais. Antes do advento da 1.<sup>a</sup> Revolução Industrial, a produção era artesanal e não implicava a utilização de algum recurso natural em velocidade crescente, que pudesse resultar em exaustão.

A não-previsibilidade de todas as externalidades geradas pela escolha e adoção de determinada tecnologia implica realmente uma seleção sistemática anterior ao processo em si, redirecionando o avanço técnico. Se alternativas tecnológicas competem entre si, não é possível saber de antemão alguns impactos das mudanças técnicas.

... a mudança técnica pode ser definida como um processo social num relacionamento complexo de causa e efeito, com transformações culturais. Por isso, nenhuma fórmula determinista pode ser aplicada em um exercício de previsão, pois escolhas tecnológicas são também expressões de necessidades, interesse e relacionamento de poder entre os atores sociais, participando no processo de gerar bens e serviços. Enquanto mudanças técnicas influenciam a mentalidade e comportamento dos atores sociais, suas atitudes, crenças e valores vão tornar-se condição essencial para a introdução e aceitação da inovação tecnológica. Se os grupos sociais não estiverem preparados e prontos a aceitarem e assimilarem os impactos e conseqüências das mudanças técnicas, não serão bem-sucedidos em impor e produzir os resultados esperados, seja em termos de mais alta eficiência produtiva ou de desenvolvimento sustentado (Rattner, 1998, p. 101-102).

Observa-se nas palavras do autor que a decisão de produzir com desenvolvimento sustentado envolve agentes sociais e suas transformações culturais ao longo do tempo. A aceitabilidade de um paradigma alternativo que combine crescimento sustentado e desenvolvimento sustentável implica a aceitação de um novo estilo de vida por parte das populações mundiais.

Crescimento econômico sustentado diz respeito à incorporação de uma dimensão ambiental em projetos e estratégias de crescimento, o que, contudo, não é condição suficiente para a melhoria das condições de vida de populações carentes e destituídas de bens materiais, nem tampouco para o desenvolvimento sustentado. O conceito de desenvolvimento sustentável é mais amplo, pois implica a construção de uma sociedade mais estável, racional e harmônica, embasada em princípios primordiais de justiça e igualdade entre os homens, em cada sociedade e em nível global (Rattner, 1998).

Para que isso se torne possível, é preciso que sejam traçadas estratégias de desenvolvimento sustentado, combinando viabilidade econômica, justiça social, sustentabilidade ecológica e aceitação moral e estética. Para Sachs (2000), os critérios de

sustentabilidade envolvem oito bases, a saber: (1) social, (2) cultural, (3) ecológica, (4) ambiental, (5) territorial, (6) econômica, (7) política (nacional) e (8) política (internacional).

O Quadro 2, a seguir, aponta algumas das características envolvidas nesses critérios de sustentabilidade.

**QUADRO 2 – Critérios de Sustentabilidade e suas Características**

<b>Critérios</b>	<b>Características</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Social</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alcance de um patamar razoável de homogeneidade social.</li> <li>▪ Distribuição de renda justa.</li> <li>▪ Emprego pleno e/ou autônomo com qualidade de vida decente.</li> <li>▪ Igualdade no acesso aos recursos e serviços sociais.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cultural</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mudanças no interior da continuidade (equilíbrio entre respeito à tradição e à inovação).</li> <li>▪ Capacidade de autonomia para elaboração de um projeto nacional integrado e endógeno (em oposição às cópias servis dos modelos alienígenas).</li> <li>▪ Autoconfiança combinada com abertura para o mundo.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ecológico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Preservação do potencial do capital natureza na sua produção de recursos renováveis.</li> <li>▪ Limitação do uso dos recursos não renováveis.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ambiental</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Respeito e realce à capacidade de autodepuração dos ecossistemas naturais.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Territorial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Configurações urbanas e rurais balanceadas (eliminação das inclinações urbanas na alocação do investimento público).</li> <li>▪ Melhoria do ambiente urbano.</li> <li>▪ Superação das disparidades inter-regionais.</li> <li>▪ Estratégias de desenvolvimento ambientalmente seguras para áreas ecologicamente frágeis (conservação da biodiversidade e do ecodesenvolvimento).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Econômico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Desenvolvimento econômico intersetorial equilibrado.</li> <li>▪ Segurança alimentar.</li> <li>▪ Capacidade de modernização contínua dos instrumentos de produção; razoável nível de autonomia na pesquisa científica e tecnológica.</li> <li>▪ Inserção soberana na economia internacional.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Político (nacional)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Definição de democracia em termos de apropriação universal dos direitos humanos.</li> <li>▪ Desenvolvimento da capacidade do Estado para implementar o projeto nacional, em parceria com todos os empreendedores.</li> <li>▪ Nível razoável de coesão social.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Político (internacional)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Eficácia do sistema de prevenção de guerras da Organização das Nações Unidas (ONU), na garantia da paz e na promoção da cooperação internacional.</li> <li>▪ Co-desenvolvimento de um pacote Norte-Sul baseado no princípio de igualdade (regras do jogo e compartilhamento da responsabilidade de favorecimento do parceiro mais fraco).</li> <li>▪ Controle institucional efetivo do sistema internacional financeiro e de negócios.</li> <li>▪ Controle institucional efetivo da aplicação do Princípio da Precaução na gestão do meio ambiente e dos recursos naturais, prevenção das mudanças globais negativas, proteção da diversidade biológica (e cultural) e gestão do patrimônio global, como herança comum da humanidade.</li> <li>▪ Sistema efetivo de cooperação científica e tecnológica internacional e eliminação parcial do caráter de <i>commodity</i> da ciência e tecnologia, também como propriedade da herança comum da humanidade.</li> </ul>
--	--

Fonte: Sachs (2000, p. 85-88) – Anexo 1.

O reconhecimento de todos os aspectos e implicações que dizem respeito à sustentabilidade do desenvolvimento leva ao cerne da questão, que é a gestão eficiente e eficaz do patrimônio global como herança comum da humanidade.

Os recursos naturais são de propriedade mundial, sendo, portanto, sem fronteiras. Assim, pequenas ações locais, quando somadas, têm implicações globais (Kemp & Soete, 1992). É preciso compreender que os problemas ambientais correntes avançam e se acumulam em pequenos efeitos e que esses pequenos eventos isolados e locais se tornam grandes problemas ao longo do tempo. Assim, a correção local de problemas locais pode ter, junto com outros mais, resultados em nível global. Não é possível separar riqueza e progresso; no entanto, é preciso conciliar ambos em uma existência pacífica com o meio ambiente.

O desenvolvimento sustentável ou ecodesenvolvimento - como é conhecido - é focado neste estudo com o objetivo de verificar se o aumento da produtividade é possível de forma consciente e propícia a um melhor uso dos recursos naturais. É crucial para esse enfoque, o entendimento de que a inovação tecnológica é condição necessária para dar continuidade ao processo de crescimento econômico da nação. A mudança no rumo traçado ou a melhoria da trajetória implicam o conhecimento e a discussão de outras questões enfocadas a seguir. Passa-se então, a partir de agora, à discussão de alguns pontos centrais da teoria evolucionista.

## 1.2 ABORDAGEM SISTÊMICA DO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

O capitalismo, na visão schumpeteriana, foi claramente estudado como um processo evolutivo, no qual a história da sobrevivência de seu aparato produtivo nos diferentes setores se apresenta como uma história de revoluções. Essas revoluções são comparadas, analogamente, a um processo de mutação (como na biologia) industrial, que “revolucionaria a estrutura econômica *a partir de dentro*, incessantemente destruindo a velha, incessantemente criando uma nova” (Schumpeter, 1984, p. 113). O impulso fundamental que culmina com as revoluções parte dos novos produtos, dos novos métodos de produção ou transporte, dos novos mercados e das novas formas de organização industrial criados pela empresa capitalista, num processo de “destruição criativa” ou “destruição criadora”, capaz de reinventar-se para garantir sua sobrevivência no longo prazo, num ambiente macroeconômico construído pelas ações dos próprios agentes do capitalismo.

Dessa forma, a estratégia de cada firma capitalista tem de ser formulada em um ambiente mutável, isento de “calmaria”, pois está suscetível ao vento perene da “destruição criativa” (que é um processo contínuo), evidenciando que a situação mudará e que será preciso enfrentá-la, caso contrário corre-se o risco de se perder posições num processo de competitividade sistêmica. “... na realidade capitalista, [...] não é esse tipo de concorrência (preços) que conta, mas a concorrência através de novas mercadorias, novas tecnologias, novas fontes de oferta, novos tipos de organizações...” (Schumpeter, 1984, p. 114).

Assim, sob o efeito de inovações<sup>5</sup> constantemente presentes no processo de mutação industrial, o sistema muda e reforça o papel dinâmico oferecido pelas inovações, que representam infinitas oportunidades para a continuação do processo capitalista e que se tornam irreversíveis em termos de visão de mundo.

A história da humanidade é então mais bem compreendida como resultado do processo de substituição de novas e sucessivas tecnologias, resultado do conjunto de conhecimentos acumulados com o tempo. Logo, a tecnologia<sup>6</sup> explicita seu caráter dinâmico e sistêmico, atribuído primeiramente por Schumpeter e desenvolvido e desdobrado por seus seguidores, por impactar a estrutura industrial existente, em face das novas mercadorias e processos

---

<sup>5</sup> Para Schumpeter (1997), inovação (“mudança” ou “nova combinação”) pode dar-se através das seguintes manifestações: introdução de um novo produto/bem de consumo; introdução de um novo método de produção; abertura de um novo mercado; conquista de uma nova fonte de oferta de matérias-primas; estabelecimento de uma nova forma de organização industrial.

<sup>6</sup> Tecnologia é tratada neste estudo como um conjunto de conhecimentos. Esse conceito será melhor abordado no próximo item.

decorrentes do progresso tecnológico, que também destrói com o tempo alguns valores que o próprio capital criou.

A análise da dinâmica do desenvolvimento tecnológico é a análise das sucessivas revoluções no tempo. A teoria não pode com isso indicar que existe um equilíbrio estático, como proposto pelos economistas neoclássicos, uma vez que ele é destruído quando há uma perturbação tecnológica qualquer. É bem mais provável que o sistema econômico viva continuamente em desequilíbrio, do que caminhe em direção a novos equilíbrios – afastando-se assim de possíveis “ajustamentos” rumo a tal suposto equilíbrio neoclássico.<sup>7</sup>

O capitalismo trabalha, portanto, em ambientes não estacionários que apresentam as seguintes características (Dosi & Orsenigo, 1988):

- a) ambientes evolucionários – a mudança ocorre perante processos de seleção vagarosos ou rápidos, nos quais os agentes competem, cometem erros e aprendem com o tempo;
- b) ambientes irreversíveis – as estruturas do passado histórico apresentam opções disponíveis e mecanismos de seleção;
- c) ambientes de organização própria – a “ordem” de evolução do sistema é um resultado não intencional de dinâmicas casadas entre progresso tecnológico, atividades estritamente econômicas e instituições que governam decisões e expectativas.

Diante dessas características, como é possível que a trajetória tecnológica evolucionista tenha estabilidade? O que se pode afirmar é que, no máximo, haja uma “ordem na mudança” tecnológica, fruto de combinações de aprendizado, mecanismos de seleção e estruturas institucionais. Constata-se, dessa forma, que o processo de aprendizado envolve avanços tecnológicos que, por sua vez, condicionam o ambiente competitivo no qual a firma capitalista está inserida, e são capazes de alterar suas rotinas produtivas.

A capacidade de uma firma inovar está relacionada ao seu acúmulo de conhecimento e aprendizado, que, com o passar do tempo, pode dar-se através de *learning-by-doing* – aprender fazendo – e de *learning-by-using* – aprender usando – nos quais o acúmulo de experiências, competências e ativos específicos indica a direção em que a firma evoluirá dentro de seu percurso, numa interdependência temporal (*path dependency*).

Conclui-se, desse modo, que o processo inovativo é um processo dinâmico e sistêmico, e que as firmas, por integrarem o sistema econômico, também apresentam uma natureza sistêmica, porque fazem parte do contexto micro e macroeconômico, criando,

---

<sup>7</sup> Veja Schumpeter (1984), capítulo 8.

destruindo e ajudando a reconstruir o sistema, a todo momento, com novos elementos de competição e novas técnicas produtivas.

### 1.3 CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Nas últimas décadas do século XX, a evolução da ciência e seu direcionamento passaram a ser objeto de estudo e discussão, no campo das idéias, por cientistas de várias áreas. É reconhecido que não se pode contar a história da civilização e a história do progresso técnico separadas do papel desempenhado pela ciência e das possibilidades abertas por ela.

Tratada por historiadores durante muito tempo como um fenômeno autônomo, na atualidade a ciência mostra-se capaz de ter uma relação entre empresas científicas e forças econômicas e sociais.<sup>8</sup> Logo, a ciência pode ser entendida como “o conjunto de conhecimentos e de princípios fundamentais, por natureza, amplos, inter-relacionáveis e aplicáveis em diversos campos de atividade” (BNDES, 1990, p. 1), podendo ser realizada através de pesquisa e desenvolvimento, produzindo e acumulando novos conhecimentos em centros ou instituições de pesquisa e universidades.

A ciência tem sido também utilizada a favor da tecnologia, por meio de inovações que requerem a cada dia uma maior base científica, sendo estimulada e apoiada por empresas interessadas no desenvolvimento de novos produtos, na realização de pesquisa básica e em direções que podem ser definidas previamente.

Tecnologia, por sua vez, pode ser entendida como

...a set of pieces of knowledge, both directly “practical” (related to concrete problems and devices) and “theoretical” (but practically applicable although not necessarily already applied), know-how, methods, procedures, experience of successes and failures and also, of course, physical devices and equipment (Dosi, 1984, p. 13-14).

Dessa forma, a pesquisa também pode estar voltada para a construção de conhecimentos, permitindo simultaneamente progressos científicos e tecnológicos com o decorrer do tempo. Constata-se assim que as relações entre ciência e tecnologia são complexas – “... *the relation between technology and science are much more interactive (and dialectical) than such a determinism would imply*” (Rosenberg, 1982, p. 158).

---

<sup>8</sup> Veja Rosenberg (1982), capítulo 1.

Essa visão de inter-relação entre ciência e tecnologia não foi algo sempre evidente nas teorias econômicas. Os economistas começaram a estudar ciência, tratando-a como uma força exógena (vinda de fora para dentro) que, *a priori*, não cabia na análise da dinâmica econômica.<sup>9</sup> No entanto, o progresso científico tem sido desenhado por considerações tecnológicas e ainda econômicas (que serão discutidas no próximo item), sendo evidenciado como parte do processo de transformação da história da industrialização mundial: “... *the industrialization process inevitably transforms science into a more and more endogenous activity by increasing its dependence upon technology*” (Rosenberg, 1982, p. 159).

A endogeneidade da ciência pode ser notada quando ela é utilizada para determinar a direção da atividade inovativa, aumentando sua dependência à tecnologia. A direção pode ter várias dimensões: direcionada ao melhoramento de um produto ou à invenção de um novo produto, ou mesmo direcionada a um processo de invenção para reduzir custos. Hicks (1932), citado por Rosenberg (1982, p. 14-55), argumenta que

... inventions are “naturally” directed to reducing the utilization of a factor that is becoming relatively expensive [...] “the general tendency to a more rapid increase in capital than labour which has marked European history during the last few centuries has naturally provided a stimulus to labour-saving invention”.

Em alguns momentos da história, o fator caro foi o trabalho, e as invenções pareciam estar voltadas para sua substituição;<sup>10</sup> e em momentos mais recentes da história, o fator que se tem mostrado o mais caro em virtude de sua escassez e esgotamento futuro têm sido os recursos naturais. Pode-se esperar que, com o tempo, esse fator seja substituído, se possível, e sua utilização se dê de maneira mais consciente.<sup>11</sup> Dessa forma, pode-se afirmar que a taxa e a direção da atividade inventiva estão entrelaçadas, pois os preços dos fatores relativos tendem a influenciar o curso da mudança tecnológica subsequente.

David (1975), citado por Rosenberg (1982, p. 16), acredita que as escolhas técnicas são muito decisivas, pois fazem parte de um processo evolucionário de longo prazo, que liga os preços dos fatores, a escolha das técnicas e a direção da mudança tecnológica, sendo que o entendimento da mudança tecnológica é algo inseparável de sua história.

Because technological “learning” depends upon the accumulation of actual production experience, short-sighted choices about what to produce, and especially about how to

<sup>9</sup> Para compreender melhor essa relação, veja Rosenberg (1982), capítulo 7.

<sup>10</sup> Veja mais a esse respeito em Rosenberg (1982), capítulo 1.

<sup>11</sup> Os métodos de produção poderão ser modificados ou substituídos, com o passar do tempo, por técnicas menos intensivas no uso do fator recursos naturais.

produce it using presently known methods, also in effect govern what subsequently comes to be learned. Choices of technique become the link through which prevailing economic conditions may influence the future dimensions of technological knowledge. This is not the only link imaginable. But it may be far more important historically than the rational, forward-looking responses of optimizing inventors and innovators, which economists have been inclined to depict as responsible for the appearance of market – or demand-induced changes in the state of technology (David, 1975, p. 4, citado por Rosenberg, 1982, p. 16).

Evidencia-se, assim, que a mudança tecnológica tem um papel fundamental no estabelecimento e na construção de um paradigma, diante do atual estado do conhecimento científico (“estado-da-arte”). Ao mesmo tempo que o conhecimento permite, ele também restringe, pois as atividades inventivas ficam condicionadas, às vezes, por fatores diversos em cada ponto do tempo, podendo ser por ativos tangíveis e intangíveis (conhecimento e meios materiais necessários à sua reprodução). O estabelecimento de um paradigma envolve, então, uma redefinição de uma trajetória para o progresso técnico, que é *path dependent*.

De acordo com Dosi (1984, p. 17),

... a technological trajectory, i.e., to repeat, the “normal” problem-solving activity determined by a paradigm, can be represented by the movement of multi-dimensional trade-offs among technological variables which the paradigm defines as relevant. Progress can be defined as the improvement of these trade-offs.

Dessa forma, uma trajetória tecnológica com o intuito de resolver problemas pode ser auxiliada pela evolução da ciência. Para Kuhn (2000), há uma tendência a acumular questões não respondidas dentro do corpo científico, abrindo espaço para modificações ou adições na teoria prevalecente, que podem ser insuficientes e assim criar espaço para uma revolução científica.

Por outro lado, também se acredita que há teorias que concorrem entre si e que aquela considerada a mais simples e mais eficaz tende a prevalecer. Logo, a ciência pode ser vista como uma teoria evolucionária, no sentido proposto por Kuhn, ou uma teoria que explica a seleção de teorias pela competição entre programas de pesquisa (Paula, 1999).

Não excluindo essas diferentes visões, pode-se dar continuidade a essa linha de pensamento, afirmando que a ciência é essencial como forma de permitir a evolução tecnológica e que o processo de mudança tecnológica é caracterizado como um movimento incerto, dinâmico (porque é contínuo) e ao mesmo tempo cumulativo.

As fases do conhecimento tecnológico foram estudadas por Schumpeter (1984, 1997), que as separou em invenção, inovação e difusão.

Uma invenção de um novo produto ou processo está ligada a uma descoberta, que não era óbvia para o nível de conhecimentos até então existente, podendo não estar relacionada inicialmente a nenhuma aplicação prática de imediato, sendo, portanto, economicamente irrelevante. A invenção por si só não apresenta nenhum significado econômico ou social, até que seja introduzida comercialmente para sua primeira aplicação (inovação) e posterior replicação (difusão) no sistema econômico. A invenção pode ou não ser incorporada imediatamente ao processo produtivo, podendo ser adiada por prazos indeterminados em função de seu custo de produção, do período de maturação da tecnologia anterior que ela visa substituir e do novo mercado que objetiva atender. Essas decisões dependerão das estratégias das empresas em relação aos seus concorrentes e em relação ao mercado em que atuam.

A inovação pode ser entendida como “a incorporação de novos conhecimentos aos processos de produção e aos produtos, objetivando a redução de custos, aumento de produtividade ou diferenciação de produtos” (BNDES, 1990, p. 2), e ainda como “o ponto onde uma descoberta material ou uma nova técnica desenvolvida é colocada em produção regular pela primeira vez, ou quando é criado um novo mercado organizado para um novo produto” (Grubler, 1997, p. 24, citado por Paula, 1999, p. 21). Esse tipo de atividade é realizado por empresas, podendo ser resultado de desenvolvimentos internos de P & D em seus departamentos de engenharia. A possibilidade de se obter lucros maiores que os vigentes é o que estimula as empresas a inovar, mas “existem [também] motivações não econômicas para a introdução de inovações, tais como legislações específicas quanto à poluição do meio ambiente, a objetivos militares e à saúde”, [entre outros] (BNDES, 1990, p. 2).

Por último, a difusão é o processo de ampla reprodução e disseminação de uma determinada tecnologia (de produto ou de processo) pelo sistema econômico, podendo dar-se via mecanismos de imitação, aquisição de novos conhecimentos (informação tecnológica) por meio de contratos realizados entre empresas e incorporação de novos equipamentos, componentes ou insumos ao processo produtivo. Contudo, a velocidade do processo de difusão de determinada tecnologia dependerá do grau de sua aceitação pelo mercado.

Conclui-se que a difusão tecnológica é um processo dinâmico, pois a inovação inicial pode ser alterada e adaptada de maneira a aperfeiçoar determinada tecnologia com o tempo. O conhecimento científico e o tecnológico envolvem aprendizado contínuo e constante, num processo de interação entre inovação e difusão que gera outras inovações.

A seguir, será visto como a tecnologia e a atividade econômica se inter-relacionam.

## 1.4 TECNOLOGIA E ECONOMIA

Os processos de exploração, desenvolvimento, seleção e difusão de novas tecnologias podem estar além do controle e mesmo da imaginação dos agentes individuais. Os processos de mudanças estão interligados continuamente com processos de alocação de recursos e coordenação entre os agentes produtivos, os quais ocorrem via mercados – as relações entre sinais de mercado e organização de mercado, crescimento e mudança técnica têm sido reconhecidas como uma das questões centrais na análise econômica (Dosi & Orsenigo, 1988).

Observa-se que há uma relação entre progresso científico, mudança técnica e desenvolvimento econômico. Sua influência mútua tem sido uma das peças importantes da transformação social desde a Revolução Industrial. No sistema econômico, pesquisa científica e pesquisa tecnológica têm sido direcionadas por empresas especializadas, e os desenvolvimentos científico e tecnológico são tidos como fundamentais na competição e no crescimento econômico.<sup>12</sup>

Na literatura econômica, inicialmente havia duas diferentes abordagens sobre o que leva os agentes à atividade inventiva e inovativa. A primeira abordagem aponta as forças de mercado como um dos principais determinantes da mudança técnica (teoria ou visão *demand-pull*). A segunda abordagem define tecnologia como um fator autônomo ou quase-autônomo, pelo menos no curto prazo (teoria *technology-push*).

As duas abordagens apresentam distinções óbvias. De acordo com Dosi (1984), a primeira abordagem considera que, quando as unidades produtivas reconhecem as necessidades do mercado, buscam meios de satisfazê-las. Para isso, realizam pesquisa científica visando formular soluções técnicas para preencher a demanda evidenciada.

A segunda abordagem considera que a direção da atividade inovativa está sob o domínio de cientistas e engenheiros, para os quais o conceito de “ciência-tecnologia-produção” representa um esforço apenas para a pesquisa básica, sem um objetivo econômico predefinido.

As duas abordagens de atividade inovativa, *demand-pull e technology-push*, receberam críticas<sup>13</sup> por suas limitações e insuficiências de análise. A primeira visão foi criticada por ser incapaz de explicar o tempo (*timing*) das inovações e a existência de descontinuidades em seus processos evolutivos – assim o mercado potencial é uma das condições necessárias para

---

<sup>12</sup> Veja Dosi (1984), capítulo 2.

<sup>13</sup> Para mais críticas a essas teorias, veja Dosi (1984).

a inovação, mas não é uma condição suficiente. A segunda visão foi criticada por se acreditar que o desenvolvimento científico e tecnológico é algo autônomo e independente, e que a atividade econômica apenas aplica, a seu favor, os conhecimentos externos disponíveis produzidos por cientistas e engenheiros, não se preocupando com a maneira pela qual as mudanças tecnológicas no mercado poderiam ser afetadas no longo prazo pelas transformações econômicas – a falha seria não considerar a complexidade, a incerteza e um certo grau de autonomia relativos à mudança tecnológica e às inovações, diante dos fatores econômicos. Conclui-se, que o estudo da mudança tecnológica deve considerar de forma integrada tanto os fatores econômicos (*demand-pull*), como outros fatores que, com autonomia relativa, podem influenciar o desenvolvimento científico e tecnológico (por exemplo, guerras e questões de saúde pública).

Dosi (1984) propõe uma nova interpretação para ciência, tecnologia e economia, relacionando paradigmas e trajetórias tecnológicas. É preciso, porém, considerar alguns aspectos do processo inovativo sistematizados por ele:

- a) há um papel crescente da ciência no processo inovativo;
- b) a complexidade crescente das atividades de P & D torna o processo inovativo um planejamento de longo prazo pelas firmas (mas não apenas por elas), e os produtores têm dificuldade em responder prontamente às mudanças nas condições de mercado;
- c) existe uma correlação significativa entre os esforços de P & D e os resultados inovativos em diversos setores industriais, e ausência de correlação entre os padrões de mercado e demanda e o resultado inovativo;
- d) um montante significativo de inovação e melhoria é fruto do “aprender fazendo” (*learning-by-doing*) e está normalmente incorporado nas pessoas e organizações (firmas);
- e) um aumento da formalização da pesquisa é observado, embora a pesquisa e as atividades inovativas mantenham sua natureza incerta;
- f) a mudança técnica não ocorre aleatoriamente por duas razões: seu direcionamento é definido pelo “estado-da-arte” da tecnologia já utilizada, e a probabilidade de as firmas e organizações conseguirem avanços tecnológicos é uma função, entre outras coisas, dos níveis tecnológicos já alcançados por elas anteriormente;
- g) a evolução das tecnologias apresenta regularidades ao longo do tempo e é capaz de definir “padrões” de mudanças em termos de características tecnológicas e econômicas de produtos e processos.

Segundo Dosi (1984), tecnologia é muito mais do que uma variável independente: é a “percepção” de um conjunto de alternativas tecnológicas possíveis e de visionários

desenvolvimentos futuros. Em seu raciocínio, o paradigma tecnológico, em analogia à definição de Kuhn (2000) de paradigma científico, é um modelo ou padrão de solução de problemas tecnológicos selecionados, baseado em princípios advindos das ciências naturais e dos materiais tecnológicos selecionados. Já trajetória tecnológica é definida como o caminho para se resolver problemas ligados ao progresso técnico, em face do paradigma tecnológico presente. Ao mesmo tempo em que o paradigma tecnológico envolve esforços e imaginação de pesquisadores e organizações em direções precisas, para as quais eles se encontram “cegos” no que concerne a outras possibilidades tecnológicas, “progresso”, conforme Dosi, define-se como uma idéia de *trade-offs* entre processos tecnológicos e econômicos, mediante uma dinâmica inovativa.<sup>14</sup>

Assim, uma vez estabelecido o paradigma tecnológico, as inovações tornam-se seletivas na capacidade de solucionar problemas, ao mesmo tempo que encobrem outras soluções que estariam fora do paradigma tecnológico – caracterizando uma “cegueira” do paradigma tecnológico predominante. As tecnologias são eleitas no processo seletivo que, de acordo com as características predominantes do ambiente seletivo, escolhem determinadas tecnologias e não outras. Entretanto, quando as dificuldades para achar soluções tornam-se crescentes, há um forte incentivo para a mudança de paradigma tecnológico, mas essa não é uma condição suficiente, visto que para estabelecer um novo paradigma é necessário que ocorram avanços no conhecimento básico, além de outros fatores institucionais e de mercado. Assim, o paradigma tecnológico dominante e o ambiente seletivo estabelecem o ritmo e a direção do progresso técnico, que pode até gerar uma mudança de paradigma, num processo lento e gradual (Lustosa, 2002, p. 34).

Constata-se com essa colocação que as atividades inovativas são seletivas e que uma mudança num paradigma implica em geral uma mudança nas trajetórias. “... *the technoeconomic dimensions of innovation also vary. Some characteristics may become easier to achieve, new desirable characteristics may emerge, some others may lose importance*” (Dosi, 1988, p. 1129).

Há muitas razões pelas quais paradigmas tecnológicos são estabelecidos e não se pode negar o papel dos fatores econômicos, institucionais e sociais, operando como forças e definindo as direções do desenvolvimento tecnológico. “*In particular, one must stress the role often played in the establishment of a particular technological trajectory by public ('political') forces*” (Dosi, 1984, p. 18). Assim, quando um paradigma tecnológico é estabelecido, ele reduz em parte a incerteza causada em sua fase pré-paradigmática, abrindo novos caminhos através de uma nova trajetória tecnológica a partir de onde se está em termos de conhecimentos científicos.

---

<sup>14</sup> Dosi (1984, 1988).

Dessa forma, reconhece-se que a mudança econômica é importante e interessante para a compreensão da história do processo complexo e cumulativo das mudanças tecnológicas e das organizações econômicas mundiais, refletindo as atuais disparidades no nível de desenvolvimento econômico, trazendo novas preocupações sobre a viabilidade ecológica no longo prazo, bem como questões pertinentes à sociedade industrial avançada relacionadas ao sucesso material e aos valores fundamentais para o ser humano (Nelson & Winter, 1982).

### 1.5 INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS E MUDANÇAS TÉCNICAS

O que leva os agentes econômicos e sociais à mudança? Mudança nas técnicas de produção, nas características de produção e do produto e no comportamento, induzindo-os a novas descobertas e performances, usando novas tecnologias?

De acordo com Dosi (1988), os mecanismos que induzem, estimulam ou limitam a mudança tecnológica incluem um vasto conjunto de fatores, a saber:

- a) gargalos tecnológicos em atividades inter-relacionadas;
- b) escassez de recursos considerados críticos;
- c) abundância de insumos privados (energia, material bruto, por exemplo);
- d) choques maiores na oferta em relação ao preço;
- e) mudanças na composição e na taxa de desenvolvimento da demanda;
- f) mudanças nos níveis dos preços relativos (dos fatores de produção);
- g) padrões de conflito industrial de país para país (por exemplo, teclado QWERTY).<sup>15</sup>

Reforçando essa idéia, Rosenberg (1976) ainda levanta alguns fatores que induziriam às inovações tecnológicas: problemas tecnológicos entre as atividades inter-relacionadas, escassez e/ou abundância de insumos, mudanças na composição e nas taxas de crescimento da demanda, mudanças no custo de produção e nos padrões de concorrência industrial.

Mais uma vez, essas idéias reforçam os comportamentos dinâmicos das firmas e instituições dentro de um ambiente competitivo, utilizando mecanismos de seleção de inovações para continuar o crescimento econômico.

---

<sup>15</sup> David, Paul (1985) *Clio and the economics of QWERTY*, citado por Dosi (1988) explica o fenômeno de *lock-in* (aprisionamento) causado pela adoção desse tipo de teclado.

Uma vez que a inovação e a mudança tecnológica buscam solucionar problemas, elas também podem causar impacto no sistema econômico, de acordo com o propósito para o qual são criadas. Freeman & Perez (1988) classificaram o processo inovativo em:

- a) inovações incrementais – que se caracterizam por aperfeiçoamentos tecnológicos em tecnologia preexistente, os quais acontecem continuamente no sistema econômico, através de processos de *learning-by-doing* (como resultado do trabalho de departamentos de engenharia das empresas) e de *learning-by-using* (fruto de sugestões dos usuários); esses tipos de inovação ocorrem dentro do paradigma tecnológico vigente e podem passar despercebidos na análise do conjunto de inovações realizadas numa empresa;
- b) inovações radicais – que se caracterizam pela descontinuidade de eventos decorrentes de trabalhos de P & D, não estando ligadas às inovações incrementais; seu impacto é elevado, porém de grande significado para toda a economia, pois altera produtos, processos e métodos organizacionais, resultando numa mudança dos modelos tecnológico-industriais, alterando o paradigma tecnológico (por exemplo, energia nuclear);
- c) inovações sistêmicas – que se caracterizam por um conjunto de inovações radicais e incrementais, as quais, ao longo do tempo, são capazes de criar novos produtos, serviços, indústrias, deslocando empresas, pois têm efeitos amplos que trazem consigo um novo paradigma, tornando-se um regime ou uma revolução tecnológica, afetando o sistema como um todo.

As mudanças de paradigmas tecnológicos apresentam-se como transformadoras de um contexto econômico anterior e requerem mudanças sociais e institucionais. Muitas vezes, um paradigma tecnológico tende a durar muitas décadas como resultado de trajetórias previamente definidas, o que pode gerar efeitos de *lock-in* (agentes econômicos ficam presos à tecnologia mais usada e ao paradigma anterior vigente em suas trajetórias particulares, ou seja, ficam presos a um caminho de dependência<sup>16</sup>), deixando claro o quanto é difícil mudar um paradigma já estabelecido.

A disseminação de um novo paradigma não é imediata, pois implica mudanças, até certo ponto radicais, nas estruturas existentes [...]. A base de sustentação do paradigma anterior rejeita o novo paradigma porque ele é uma ameaça. Somente quando se esgotam as condições de reprodução do padrão tecnológico anterior, e as inovações que acompanham o novo paradigma mostram menores riscos, é que este começa a se difundir com maior rapidez. A incorporação das novas práticas é, portanto, progressiva e se dá na medida em que o fator-chave mostra claramente suas vantagens (BNDES, 1990, p. 5-6).

---

<sup>16</sup> Veja Freeman (1994).

Da mesma forma, o aparecimento das inovações radicais e sistêmicas necessita de um conjunto de novas capacitações e habilidades por parte das pessoas que terão contato com essas tecnologias, evidenciando assim que a mudança tecnológica implica mudanças institucionais. Esse novo modelo tecnológico e institucional resultante da difusão dessas inovações foi denominado por Freeman & Perez (1988) de paradigma tecnoeconômico. Esses autores sistematizaram a evolução histórica mundial como fruto das alterações dos paradigmas tecnoeconômicos, ressaltando, em cada época, as ondas, os períodos, as atividades principais, os fatores-chave e os setores que mais crescem. O Quadro 3 mostra as ondas longas de desenvolvimento tecnológico na economia mundial, bem como os fatores-chave que fomentaram cada novo paradigma.

Pode-se afirmar que é também através do acúmulo de conhecimento e competências que os agentes econômicos se tornam aptos a solucionar problemas tecnológicos e organizacionais e a se adaptar aos novos fatores-chave decorrentes de um novo paradigma.

A análise de cada onda de desenvolvimento evidencia como as mudanças e os avanços tecnológicos atuais são resultados do conhecimento adquirido ontem, indicando sua natureza cumulativa, dependente e dinâmica, que pode ser melhorada em várias direções. Elas são determinadas por meio de uma seleção sistemática de alternativas tecnológicas que competem entre si e envolvem, assim, a incerteza futura de uma decisão tomada *ex-ante* (Nelson, 1994).

Por fim, cabe ainda frisar que a construção de novos paradigmas tecnoeconômicos envolve progressivamente maior complexidade de novos conhecimentos e tecnologias utilizadas, e que as novas trajetórias tecnológicas são assim influenciadas por fatores de ordem econômica e também por fatores de ordem político-institucional, podendo o Estado promover ou mesmo inibir o desenvolvimento de tais trajetórias.

**QUADRO 3 – Ondas Longas de Desenvolvimento na Economia Mundial**

<b>Ondas</b>	<b>Período</b>	<b>Descrição</b>	<b>Principais atividades</b>	<b>Fatores-chave</b>	<b>Setores crescendo rapidamente</b>
1. <sup>a</sup>	1770/80 a 1830/40	Mecanização	Têxtil, corantes, tecidos, máquinas têxteis, manufatura do ferro, energia motora – água	Algodão e ferro	Máquinas a vapor

2. <sup>a</sup>	1830/40 a 1880/90	Máquina a vapor e ferrovias	Máquinas a vapor, barco a vapor, máquinas e ferramentas de ferro, equipamentos para ferrovias	Carvão e transporte	Aço, eletricidade, gás, corantes químicos, engenharia pesada
3. <sup>a</sup>	1880/90 a 1930/40	Engenharia elétrica e engenharia pesada	Engenharia elétrica, máquinas elétricas, cabos e fios, engenharia pesada, armamentos, navios em aço, química pesada, corantes sintéticos.	Aço	Automóveis, aviação, rádio, alumínio, bens de consumo duráveis, petróleo, plásticos.
4. <sup>a</sup>	1930/40 a 1980/90	Produção em massa (Fordismo)	Automóveis, tratores, tanques, armamentos, aviões, bens de consumo duráveis, materiais sintéticos, petroquímicos, rodovias, aeroportos e linhas aéreas	Energia (petróleo)	Eletrônica, telecomunicações, computadores
5. <sup>a</sup>	1980 a ?	Informação e comunicação	Computadores, eletrônicos, software, equipamentos telecomunicações, fibras óticas, robótica, banco de dados, serviços de informação, cerâmica (novos materiais)	Micro-eletrônica	Biotecnologia de 3. <sup>a</sup> geração, atividades espaciais, química fina

Fonte: Dalcomuni (2000, p. 13).

O item que segue procurará abordar a evolução tecnológica e as externalidades causadas pela tecnologia, visando mostrar de que forma o governo pode coibir e/ou controlar a adoção de tecnologias poluentes.

## 1.6 TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE

A mudança técnica capaz de redirecionar e proporcionar crescimento econômico é vista como algo dirigido à busca de benefícios possíveis no curto prazo, ao invés de um

processo de otimização de longo prazo dos recursos produtivos (Kemp & Soete, 1992). Há de se entender que novas tecnologias apresentam novos problemas, pois não se conhecem *ex-ante* todos os aspectos de externalidades gerados por elas. Normalmente, os benefícios são maiores e sentidos pela população servida pelo produto final, como no caso da eletricidade. Porém, os riscos ou os custos são sentidos inicialmente por um grupo específico da população – geralmente, aquele que se situa vizinho à área de instalação da fábrica e que fica, desse modo, exposto à poluição de qualquer tipo. Contudo, os pequenos problemas isolados tornam-se enormes no longo prazo, devido à acumulação de efeitos<sup>17</sup> que tendem a atingir toda a sociedade.

Pode-se realçar que outros fatores que não são de caráter econômico, tais como os fatores institucionais e sociais, também apresentam grande influência no processo inovativo e podem influenciar o ambiente de seleção. A tecnologia envolve, então, aspectos públicos e privados (Dosi, 1988). O futuro é, portanto, resultado de uma interação complexa entre atores econômicos que o estão dirigindo, diante das mudanças que também os afetarão. O processo de decisão é endógeno, todavia os resultados são exógenos.

The direction and rate of technological progress and economic growth are in our view not considered as being autonomous and “inevitable”, but as an endogenous process related to the structure of economic incentives, the accumulated knowledge and expertise in scientific and business organizations and the socioinstitutional surrounding (regulation, values and social norms, lifestyles etc.) (Kemp & Soete, 1992, p. 442).

Assim, os problemas da atualidade referentes à administração das externalidades ambientais são análogos aos problemas ocorridos na história passada. De acordo com Kemp & Soete (1992), no final do século XIX a cidade de Londres apresentava problemas ambientais e de congestionamento ligados ao uso de cavalos como meio de transporte. Cada cavalo produzia em média 15 kg de estrume por dia, o que, além de gerar transtorno, colocava a necessidade de se ter cerca de 6 mil varredores de ruas para mantê-las limpas e em condições de passagem. Meios de transporte alternativos já estavam disponíveis havia muitos anos, contudo não eram adotados em razão das regulamentações relativas ao limite de velocidade (8 milhas/hora), da produção de escala restrita e da falta de infra-estrutura de suporte (postos de gasolina, estacionamento, entre outros). Descobriu-se que os carros, comparativamente aos cavalos, tinham um nível de emissão poluidor 200 vezes menor (medido em gramas por milha). Entretanto, a substituição de cavalos por carros colocou

---

<sup>17</sup> Os efeitos, quando não controlados ou evitados, tendem a ser cumulativos.

outros e novos problemas, demonstrando claramente a interdependência das inovações envolvidas na solução de problemas<sup>18</sup> – os problemas atuais referentes aos meios de transporte são congestionamento e emissões de gases na atmosfera, o que danifica a camada de ozônio. Mudam-se as tecnologias e, com elas, mudam os problemas.

O crescimento da infra-estrutura e o desenvolvimento possibilitados pelo progresso técnico impõem mais externalidades, que surgem continuamente. Às vezes, tecnologias novas para substituição e correção do problema já existem e estão disponíveis; apenas encontram barreiras em face da trajetória do crescimento tecnológico dominante,<sup>19</sup> porque implicam uma nova direção rumo ao “esverdeamento” da tecnologia, ou a minimização dos impactos negativos causados sobre o meio ambiente.

A mudança, entretanto, depende dos agentes econômicos em nível microeconômico (firmas e consumidores) e em nível macroeconômico (governo e demais instituições). As soluções tecnológicas existentes para a correção dos problemas ambientais estão divididas em *end-of-pipe* (final de linha) e *pollution prevention* (prevenção da poluição). O primeiro tipo consiste na correção das externalidades negativas geradas no processo produtivo pelas empresas, antes que esses resíduos sejam lançados no meio ambiente, podendo-se, inclusive, tratar o ambiente degradado com o objetivo de recuperá-lo (*clean-up technologies*). O segundo tipo de solução tecnológica consiste na adoção de tecnologias mais limpas, redução de resíduos resultados ou subprodutos gerados pelo processo produtivo, além da melhoria na eficiência produtiva. Constata-se, então, que o primeiro tipo de solução é apenas um paliativo para os problemas ambientais, enquanto o segundo envolve mudança na postura empresarial e em suas formas de gestão, bem como a adoção de novas tecnologias de caráter ambiental. As duas formas apresentam-se como complementares, pois uma solução *pollution prevented* pode não eliminar totalmente a poluição gerada por uma tecnologia mais “limpa”.

De acordo com Kemp & Soete (1992), a seleção tecnológica, como um fator de seleção ambiental, envolve elementos relativos aos custos e benefícios contrabalançados pelas organizações quando decidem adotar ou não uma inovação; maneiras pelas quais consumidores ou regulamentações e regras indicam o que é “lucrativo”; relacionamento entre “lucro” e expansão ou contração de organizações ou unidades; e mecanismos aprendidos por uma organização a partir do sucesso que outras tiveram com a adoção de inovações, ou da imitação e difusão de fatores que facilitaram ou restringiram tal sucesso.

---

<sup>18</sup> Veja os autores Dosi (1988) e Freeman (1994).

<sup>19</sup> Saiba mais em Kemp & Soete (1992).

The term “selection environment” also directs attention to the changes in consumer preferences and changes in government rules, which are so important to the adoption process of cleaner technologies [...] A new technology, being a new material, production technique or a new product, has to be integrated into this technoeconomic system, and may require changes in several components of the system (Kemp & Soete, 1992, p. 445).

É comum distinguirem-se inovações no produto e inovações no processo. A demanda por tecnologias para produções mais limpas (*cleaner production technologies*) pode depender de regulações governamentais, porque elas implicam custos mais elevados. Já a demanda por produtos mais limpos dependerá não apenas de regulação do governo, mas principalmente da consciência ambiental do público e da sua disponibilidade em pagar mais por eles.

Although companies might increasingly feel responsible for the damage caused to the environment, cleaner production does not represent an objective per se within companies. As a consequence, the decision to adopt these technologies depends heavily on government regulation (Kemp & Soete, 1992, p. 450).

Kemp & Soete (1992) argumentam que a legislação ambiental continua sendo a mais poderosa pressão exercida sobre os agentes econômicos para que firmas, comunidades, força trabalhadora e investidores produzam de forma mais limpa e mais consciente. Às vezes, a falta de conhecimento e informação sobre as externalidades advindas da adoção de uma nova tecnologia, devido também à ausência de consciência ambiental, pode induzir à aquisição de tecnologias mais poluentes. A transferência e a propagação de conhecimentos e informações seriam uma forma de evitar a adoção de produtos e processos tecnológicos mais poluentes.

Reiterando essa idéia, Porter & Van der Linde (1995) acreditam que normalmente os executivos têm informações incompletas e não perfeitas sobre as oportunidades rentáveis de inovação já descobertas. Por isso a regulação ambiental acaba tornando-se necessária por seis importantes razões:

- 1) por criar pressão para motivar as empresas a inovar;
- 2) por melhorar a qualidade ambiental nos casos em que a inovação e os resultados de melhoria na produtividade de recursos não compensem totalmente o custo de adequação;
- 3) por alertar e educar as empresas sobre possíveis ineficiências de recursos e áreas potenciais para melhorias tecnológicas;
- 4) por aumentar a probabilidade de que as inovações nos produtos e no processo sejam, em geral, amistosas ao meio ambiente;
- 5) por criar demanda por melhorias ambientais até que empresas e consumidores sejam capazes de perceber e mensurar as ineficiências;

- 6) e, por fim, por nivelar o campo de batalha durante o período de transição para soluções ambientais baseadas em inovações, assegurando que uma empresa não venha a galgar posições competitivas em relação às outras, fugindo dos investimentos de natureza ambiental.

Para esses autores, o processo de inovação em resposta à regulamentação ambiental pode ser analisado no âmbito de duas categorias:

- a) a primeira são as novas tecnologias e abordagens que minimizam os custos com a poluição quando ela ocorre; esse tipo de tecnologia envolve a transformação de materiais tóxicos e sua emissão em formas utilizáveis, os quais poderiam ser convertidos em algo que agregasse valor ao processo;
- b) a segunda e mais importante é voltada às causas básicas da poluição, aumentando a produtividade dos recursos num primeiro momento; esse aumento de produtividade poderia ocorrer quando materiais mais baratos substituíssem os de custo elevado, ou quando os mesmos materiais fossem mais bem utilizados (menor quantidade).

A segunda categoria é tida como a mais interessante inovação, pois combate as causas de poluição propriamente ditas, incluindo utilização mais eficiente de insumos, melhores processos de produção e melhores produtos.

Para Porter & Van der Linde (1995), a poluição esconde custos que, no fundo, representam desperdícios, e as normas ambientais são uma das formas de estimular a eficiência produtiva.

Novos padrões ambientais adequados podem dar início a um processo de inovações que diminua o custo total de um produto ou aumente o seu valor. As inovações permitem que as empresas usem mais produtivamente uma série de insumos – de matérias-primas a fontes de energia – de forma a compensar os gastos feitos para preservar mais o meio ambiente. Assim, chega-se ao fim de um impasse. Em última instância, a maior produtividade dos recursos torna as empresas mais competitivas, não menos (Porter & Van der Linde, 1995, p. 73).

É evidente que a adoção de tecnologias limpas<sup>20</sup> também apresenta fatores de risco e incerteza econômicos. Processos e rotinas de produção terão de ser modificados e trabalhadores terão de ser treinados, o que pode ser trabalhado e aceito com o decorrer do

---

<sup>20</sup> O conceito de tecnologia limpa foi desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e “significa aplicar, de forma contínua, uma estratégia ambiental aos processos e produtos de uma indústria [...] prevenir a geração de resíduos [...] e ainda minimizar o uso de matérias-primas e energia” (Valle, 2000, p. 68).

tempo, através da mudança de postura, afetando com certeza a difusão de processos produtivos mais limpos.

O uso de instrumentos econômicos pode auxiliar na construção de uma nova trajetória mais consciente, na qual crescimento e desenvolvimento tecnológicos possam ser ecologicamente sustentáveis.

Segundo Kemp & Soete (1992), algumas estratégias de implicações políticas deveriam ser adotadas, a saber:

- 1) a implementação de política ambiental mais severa, adotando o “princípio do poluidor pagador”;<sup>21</sup>
- 2) o uso de instrumentos econômicos como taxas (para emissões, desperdícios/resíduos e produtos), permissões para poluição intercambiáveis e sistema de fundos e depósitos, em casos de desperdício;<sup>22</sup>
- 3) uma política ambiental orientada para a prevenção de problemas ambientais, em vez de apenas cuidados com a correção dos efeitos nocivos desses problemas;
- 4) uma reorientação de programas de educação e ciência, de preferência nas áreas técnica, econômica, legal e de saúde, focando esses aspectos de políticas e problemas ambientais;
- 5) uma integração dos aspectos ecológicos com outras áreas de política, orientada para o controle da poluição, uma vez que as políticas industriais parecem, muitas vezes, estar orientadas para proteger setores nacionais mais poluentes;
- 6) o estabelecimento de uma legislação e de um poder de coação para que o “princípio do poluidor pagador” seja mais usado no contexto internacional – “... *countries that are the victims of the pollution of other countries may have to pay for environmental measures in other countries in order to prevent being polluted by their neighbors. This may become an important issue because ‘pollution knows no borders’* ”<sup>23</sup> (Kemp & Soete, 1992, p. 454).

A percepção dos problemas ambientais na atualidade e das questões relacionadas a eles encontra-se num contexto diferente daquele iniciado com a onda de conscientização no passado. Percebe-se, portanto, uma postura mais pró-ativa para mudanças na direção do progresso tecnológico mundial, facilitando essas medidas.

---

<sup>21</sup> Indica que quem polui mais deve, proporcionalmente, pagar mais. Veja Almeida (1998) e Goldemberg (2001).

<sup>22</sup> Saiba mais a esse respeito em Almeida (1998).

<sup>23</sup> Alguns países têm procurado compensar seus efeitos negativos sobre o meio ambiente investindo em projetos direcionados ao meio ambiente em outros países. A Holanda, por exemplo, tem investido no plantio de árvores no Brasil (esse tipo de atitude será abordado no Capítulo 4 desta dissertação).

A adoção dessas medidas por alguns países leva à crença de que é possível mudar o paradigma tecnoeconômico rumo ao “esverdeamento” tecnológico. Essa mudança de postura dependerá da interação entre os agentes microeconômicos – firmas e indivíduos – e o governo, que, através de medidas como as citadas, poderá afetar agentes individuais e também o sistema como um todo. O sucesso de tal estratégia convence por fazer crer na possibilidade de se sair do fenômeno de *lock-in* de um paradigma anterior. “... *a new paradigm begins to emerge a long time before the old one gives way and it cannot hope to displace the old one except after a long period of trial and error and demonstration in a wide variety of applications*” (Freeman, 1994, p. 1021).

De acordo com Freeman (1994), a onda verde poderá ser a 6.<sup>a</sup> onda de Kondratieff<sup>24</sup> e virá acompanhada em sua transição por conflitos políticos e sociais, que, com certeza, são inevitáveis em todo processo de transformação.

I suggest, however, that environmental factors are going to succeed in radically changing the directions and procedures of technical progress only **if** and **when** they are able to foster the emergence of new paradigms (for example, new materials that substitute for plastics, bioengineering processes to produce inputs that are alternative to fossil hydrocarbons)... (Dosi, 1988, p. 1142).

Conclui-se assim que serão necessários agentes para realizar tal mudança, os quais terão de adaptar-se ao novo contexto macroeconômico instaurado. Os aparatos institucionais e os sistemas nacionais de inovação abordados a seguir são importantes nesse sentido, pois podem influenciar a performance inovativa das firmas e dos agentes econômicos quanto a uma nova postura.

## 1.7 SISTEMAS NACIONAIS DE INOVAÇÃO

A análise das instituições, sob a ótica dos evolucionistas, envolve mudanças na estrutura econômica de forma complexa e criativa, em face das alterações no paradigma tecnoeconômico vigente.

... certain types of technical change – defined as changes in “techno-economic paradigm” – have such widespread consequences for all sectors of the economy that their diffusion is accompanied by a major structural crisis of adjustment, in which

---

<sup>24</sup> Ciclos de desenvolvimento tecnológico, caracterizados por ondas longas de acordo com o fator-chave predominante.

social and institutional changes are necessary to bring about a better “match” between the new technology and the system of social management of the economy – or “regime of regulation” (Freeman & Perez, 1988, p. 38).

Ressalta-se, pois, a importância das micro e macroinstituições para promover as ações e tomar as decisões que irão compor e direcionar a trajetória evolutiva, impor o ritmo do fluxo de inovações e a intensidade da seleção (de novos produtos e processos), caracterizando e definindo o desenvolvimento de todo o sistema econômico. De acordo com Dosi (1988), as microinstituições referem-se a arranjos institucionais presentes no interior das firmas e mercados, enquanto as macroinstituições se referem aos arcabouços institucionais, incluindo governo, agências públicas de pesquisa e tecnologia, sistema educacional, interação entre centros acadêmicos e empresas, legislações, aparatos regulatórios, entre outros. Portanto, são as macroinstituições que dão legitimidade às ações econômicas e impõem normas quanto aos direitos de propriedade (ou de patentes), evidenciando assim sua importância para o desenvolvimento econômico de uma nação.

Cientes do papel das macroinstituições para promover a relação entre as estruturas econômica e institucional bem como garantir o ritmo do crescimento de uma nação, os economistas evolucionistas Lundvall, Freeman e Nelson configuraram o conceito de Sistemas Nacionais de Inovação (SNI), tentando demarcar a interação complexa entre governo, instituições e política nacional, que, de certa forma, tem influências no processo inovativo de um estado nação.

Primeiramente, Lundvall (1992, p. 2) define sistema como algo constituído por “*a number of elements and by relationships between these elements*”. Em seguida, define sistema de inovação como constituído por “*elements and relationships which interact in the production, diffusion and use of new, and economically useful, knowledge and that a national system encompasses elements and relationships, either located within or rooted inside the borders of a nation state*”.

Assim, diferentes conceitos foram desenvolvidos para melhor entender os Sistemas Nacionais de Inovação:

The narrow definition would include organisations and institutions involved in searching and exploring – such as R & D departments, technological institutes and universities. The broad definition [...] includes all parts and aspects of the economic structure and the institutional set-up affecting learning as well as searching and exploring – the production system, the marketing system and the system of finance... (Lundvall, 1992, p. 12).

E também:

“National System of Innovation” may be used in two senses: in a *broad* sense it encompasses all institutions which affect the introduction and diffusion of new products, processes and systems in a national economy; and in a *narrow* sense it encompasses that set of institutions which are more directly concerned with scientific and technical activities (Freeman, 1992, p. 169).

Apesar de mostrar aspectos vistos como primordiais pelos autores, as definições são similares, pois reconhecem o papel das instituições para fomentar o processo inovativo e a competitividade internacional de uma nação. Será a capacidade de inovar das firmas e dos países que condicionará sua sobrevivência no sistema econômico. A abordagem do SNI ressalta a importância da interação entre micro (firmas) e macroinstituições (governo) para a dinâmica do processo inovativo.

O conceito de SNI tem sido muito utilizado em várias áreas do conhecimento. Para este estudo, ele será utilizado com o objetivo de servir de contexto para a dinâmica de inovação verde nas firmas privadas ou públicas. Lundvall (1992) ressalta que o recurso fundamental para a economia moderna é o conhecimento, e que o processo mais importante é o aprendizado. Sendo assim, o aprendizado é um processo interativo e ao mesmo tempo social, pois não pode ser entendido sem considerar o contexto institucional e cultural. Portanto, conjugar aprendizado e inovação torna-se um pré-requisito necessário para acelerar o processo de aprendizado e de industrialização dos países.

O ambiente inovativo é propiciado por regras atuais e instituições que governam decisões, que aprendem e que ajustam processos. Dosi & Orsenigo (1988) afirmam que as firmas também trabalham com incerteza em dois sentidos. Primeiro, porque elas são moldadas por comportamentos (frutos dos desenvolvimentos endógenos das organizações, das regras, crenças, podendo também envolver organizações externas, leis, etc.). Segundo, porque o fator incerteza requer instituições para organizar e coordenar as interações entre agentes que (a) têm um conhecimento aproximado de possíveis estados da arte e de possíveis resultados de suas próprias ações; (b) operam em um ambiente onde interações necessariamente produzem externalidades e resultados não intencionais.

Logo, os conhecimentos tecnológico e institucional de “*how and what people learn, what are their beliefs and how they change...*” (Dosi & Orsenigo, 1988, p. 19) ocupam um papel teórico porém imprescindível para explicar como fatores de ordem comportamental auxiliam na explicação, coordenação e consistência de atitudes em ambientes incertos, complexos e mutantes.

Complementando essa idéia, Dosi & Orsenigo (1988, p. 19) seguem ressaltando a importância e a necessidade das instituições para criar o futuro e para competir:

... the institution which shape “visions of the world”, behavioural conventions, perceptions of opportunities, and interactions between the agents are an important ingredient in the explanation of what the agents actually do, e. g., how much they invest in innovation, what kind of technical progress they expect in the future, what appropriability mechanisms they try to build, how much they cooperate, and to what extent they compete with each other.

Observa-se nessas palavras que o posicionamento das instituições em nível nacional criará, delimitará e/ou direcionará o futuro, baseado em inovações escolhidas *ex-ante*, perante suas próprias crenças em um futuro desejável.

Mesmo que os agentes em nível microeconômico estejam capacitados a inovar, o contexto macroeconômico interfere nesse processo, pois as firmas estão nele inseridas. Cenários de grande instabilidade macroeconômica geram maior instabilidade também para as inovações. Portanto, quanto mais estável o contexto macroeconômico, mais seguras as firmas tendem a se sentir para inovar, lembrando que a concorrência também é um grande indutor da atividade inovativa pelas firmas.

Alguns setores necessitam ser mais regulados que outros, em função da atividade que desenvolvem – geram impactos negativos ao meio ambiente –, e precisam de regulamentações e de instrumentos de política ambiental, criados pelas instituições governamentais. No sentido de corrigir esses impactos, a regulação pode induzir firmas a adotar inovações. Sendo a firma um agente influenciador do mercado e por ele influenciado, a inovação pode representar o fator diferenciador no processo de concorrência capitalista, dentro do qual seu destino pode ser morrer, ou inovar e sobreviver.

Observa-se, assim, que os países apresentam diferentes posições no que concerne ao desenvolvimento de suas fronteiras tecnológicas. Em países considerados avançados, as instituições tendem a evoluir, permitindo que novas tecnologias operem de maneira mais efetiva, adaptando as formas institucionais e eliminando os obstáculos à trajetória tecnológica almejada. Já nos países periféricos, o intuito é que as instituições possibilitem deslanchar o processo de *catching up* (aceleração do processo de desenvolvimento tecnológico, visando diminuir o hiato tecnológico existente entre os países menos desenvolvidos e os mais desenvolvidos).

Desse modo, inovações institucionais são necessárias para garantir um ambiente favorável ao desenvolvimento de uma capacidade de absorção tecnológica adequada

nas firmas dos países atrasados, visando, principalmente, à superação de situações de *lock-in* e o rompimento com a *path-dependence* (Paula, 1999, p. 42).

Neste estudo, admite-se a possibilidade de movimentos interativos entre tecnologia e arcabouço institucional, capazes de definir trajetórias de crescimento dinâmicas e escolhidas *ex-ante*, para garantir a qualidade dessa interação e a qualidade do crescimento econômico.

A busca de uma reestruturação do SNI é algo primordial para a redução do hiato tecnológico entre um país periférico como o Brasil, em relação à posição dos países centrais e, principalmente, representa uma saída para se alavancar processos de saltos tecnológicos qualitativos, possibilitados por oportunidades tecnológicas que surgem devido ao avanço do conhecimento (tecnologia é reconhecida neste estudo como conhecimento).

Sendo o objeto desta dissertação a energia elétrica (um setor de infra-estrutura básica e um bem gerado em sua maior parte pelo setor público no Brasil), é evidente que ela pode ser estudada e pesquisada – até mesmo definida em agendas de pesquisa – estruturando-se sua relação entre ciência e tecnologia, desenvolvendo-se científica e hipoteticamente numa ciência autogovernada por fatores sociais e desejos de bem-estar público.

Se é possível a forma de aprendizado proposta por Lundvall (1992) – *learning-by-interacting* (aprender interagindo), em que há uma interação entre usuário e produtor, torna-se também possível evoluir aperfeiçoando canais e códigos de informação entre as duas partes, de modo que as informações fornecidas pelos usuários possam funcionar como fator de estímulo ou entrave ao comportamento de firmas rumo a uma trajetória mais eficiente, que afetará sua competitividade no mercado.

Para a empresa pública, opiniões dos usuários contra suas atitudes poluentes podem afetar a competitividade das firmas e a imagem do governo no mercado internacional. Muitos setores, antes totalmente públicos, apresentam atualmente um caráter misto, dificultando essa interação explícita entre o produtor e o usuário. Veja-se o que diz Paula (1999, p. 51):

A intensificação dos fluxos tecnológicos, verificados basicamente nas últimas duas décadas em nível mundial, tem provocado mudanças estruturais nesses setores, implicando o desaparecimento de alguns fatores característicos dos monopólios naturais. Entretanto, não se pode dizer que tais transformações conduzem à presença do setor privado em todos os seus níveis como forma mais adequada de propriedade, pois, ainda que a emergência de economias de escala e escopo venham a propiciar em grande medida a operação eficiente de estruturas competitivas, algumas partes da estrutura produtiva ainda continuam a apresentar características de monopólios naturais passíveis de regulação por parte do Estado. Desse modo, o que se verifica nos últimos anos é a emergência de um conjunto de características que vem a complicar o processo regulatório, na medida em que permite a concepção de uma desregulamentação parcial dos setores de infra-estrutura.

Nesse contexto, os países periféricos também têm vivenciado essas transformações estruturais e tecnológicas. Portanto, a eficiência tecnológica agora passa a servir como resultado natural de um funcionamento, eficiente ou não, em termos de uma nova estrutura de mercado. A regulação do mercado através do SNI tem como função a conformação e o estabelecimento de formas institucionais que busquem a maximização e a eficiência de variáveis relacionadas à geração, à difusão e ao aprendizado tecnológico dentro de uma nação. Para tal, torna-se necessário capacitar as firmas dinamicamente.

Essa interação da firma em seus sistemas de inovação, enfatizando suas dinâmicas inovativas internas, especificamente voltadas para inovações ambientais, foi analisada através do modelo teórico de Sistemas Setoriais de Inovação Ambiental (Dalcomuni, 1997). Este modelo define-se como um detalhamento da abordagem do SNI ao nível da firma, enfocando-a como principal agente do processo inovativo, numa perspectiva que privilegia a análise integral das interfaces economia, tecnologia e meio ambiente.

Em síntese, a interação entre ciência, tecnologia e arcabouço institucional tem implicações sistêmicas e mútuas. A regulação das atividades inovativas dos agentes econômicos é um fator exógeno e institucional, que dirige as decisões dos atores econômicos (firmas reguladas e consumidores) que tentam adaptar-se a ela, ao mesmo tempo em que buscam alcançar seus interesses particulares. Atingir ou não esses interesses e objetivos é fruto de como tais atores reagirão perante as mudanças tecnológicas requeridas pelo aparato regulatório em vigência, bem como de sua velocidade de mutação e capacitação na busca pela eficiência produtiva e pela obediência às transformações de ordem institucional verificadas no âmbito da regulação, que podem ser direcionadas ao progresso qualitativo, ou seja, utilizando tecnologias ambientalmente menos impactantes.

Para uma compreensão histórica de um dos objetos deste estudo, o próximo capítulo enfocará a constituição do setor elétrico brasileiro, suas principais características e transformações ao longo do tempo, para, num segundo momento, abordar o padrão tecnológico vigente no país e as perspectivas tecnológicas futuras para esse setor.

## CAPÍTULO 2

### **SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO: HISTÓRICO, CONSTITUIÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO**

Este capítulo dedica-se ao resgate histórico e à caracterização do setor elétrico brasileiro, num breve panorama desde o desenvolvimento da energia elétrica no mundo e do início de sua utilização no Brasil até os dias atuais. Enfoca o processo de privatização do setor elétrico brasileiro e a atual crise de fornecimento de energia que se evidenciou em abril de 2001. Por fim, aborda a formação da estrutura tecnológica nacional e as principais perspectivas quanto às novas tecnologias para a produção de energia elétrica no futuro.

#### 2.1 HISTÓRICO DO SETOR ELÉTRICO NACIONAL

##### **2.1.1 Breve panorama do setor**

Nos primórdios da humanidade, a atividade econômica baseava-se na força muscular humana e animal. A energia advinda de fontes externas era provida pela combustão da madeira, elemento responsável pela fonte de calor, pelo cozimento dos alimentos e pela alimentação de fornos para a fundição de metais e cerâmicas. As fontes de energia mecânica eram restritas até então, estando condicionadas aos animais domesticados.

Até a 1.<sup>a</sup> Revolução Industrial, a madeira ainda era a matéria-prima utilizada na mecanização das atividades econômicas, e os limites energéticos impostos deviam-se à necessidade de melhor energia mecânica disponível para o desbravamento de terras difíceis e a transformação dos produtos da agricultura, questões essas solucionadas pelo ciclo de inovações que se intensificaram a partir desse período.

Dentre as grandes inovações surgidas, podem-se destacar as fontes de energia mecânica: o moinho hidráulico, o moinho de água e o moinho de vento, sendo os dois últimos técnicas antigas, porém difundidas a partir do século XVI. A disseminação da utilização da energia mecânica engendrou novas necessidades de materiais para a produção de maior quantidade de energia. A abundância de recursos propiciou a exploração florestal, o

desmatamento de regiões e a maior utilização dos rios. As máquinas a vapor, consideradas o motor da industrialização, exigiam uma demanda cada vez maior de energia fóssil.

O abastecimento energético evoluiu num momento posterior, passando a depender do carvão mineral e de outros hidrocarbonetos, dando suporte a um consumo de energia que se elevava desde o início do século XIX. Estava nascendo a economia fóssil, dependente do sobreuso dessa matéria-prima na industrialização, tendo de globalizar sua exploração para se manter ao longo do tempo.

A ausência de restrição energética é claramente um dos fatores explicativos do crescimento industrial sustentado do século XIX, no contexto de um capitalismo em plena expansão. Sem o carvão, nem a difusão da máquina a vapor (1790-1813), nem o *boom* das estradas de ferro (1844-1873) teriam sustentado as fases ascendentes dos dois primeiros Kondratieff. Contudo, o carvão desempenhou apenas um papel permissivo. As transformações tecnológicas implicadas por sua substituição à madeira (sobretudo na metalurgia) desestabilizaram o antigo sistema técnico e contribuiu para o grande crescimento da produtividade nas primeiras economias capitalistas (Martin, 1992, p.50-51).

Com a expansão da atividade econômica e com o desenvolvimento das cidades no decorrer do século XIX, as técnicas então existentes satisfaziam cada vez menos as necessidades da sociedade de iluminação residencial e pública, realizada por candeeiros a óleo, velas de sebo ou de cera. Surgiu, pois, a demanda por uma nova indústria que, associada aos avanços científicos, propiciou a pesquisa-desenvolvimento e possibilitou que as patentes existentes fossem disseminadas internacionalmente.

A lâmpada incandescente inventada por Thomas A. Edison só pôde ser explorada e comercializada a partir da criação de um mercado de iluminação elétrica que, por meio de um sistema, foi alimentado, produzido, transportado e medido em termos da quantidade vendida. A chegada da eletricidade foi marcada por uma profunda transformação nas regiões e indústrias e por novas possibilidades para a vida humana.

No Brasil, as primeiras experiências com o serviço de energia elétrica datam do final do século XIX, mesma época em que os Estados Unidos e outros países mais desenvolvidos da Europa passaram a explorar esse serviço. Apesar do pioneirismo do Brasil e de países mais adiantados, as experiências voltavam-se sobretudo para a iluminação pública. Na época em que se iniciou a evolução tecnológica no fornecimento de energia elétrica no país, ainda não se havia avaliado o potencial hidráulico existente, em comparação com outras fontes de energia, como o carvão mineral, muito usado nos países europeus para a geração térmica.

Com uma economia fraca e dependente tecnologicamente de outros países, o Brasil foi aos poucos cedendo lugar a companhias de capital estrangeiro, importantes pelo capital

empregado e pelo domínio da tecnologia necessária. O mercado consumidor brasileiro representava um grande potencial e passou a atrair empresas interessadas em explorá-lo. A instalação de empresas estrangeiras no país incentivou o consumo através de aparelhos domésticos. O setor, totalmente privatizado no início, não contava com instrumentos de ordem jurídica que controlassem, fiscalizassem e coordenassem a geração de energia e sua comercialização pela sociedade brasileira.

A Revolução de 1930 foi responsável pelo resgate do anteprojeto do Código de Águas, paralisado no Congresso Nacional desde 1908. Instituído pelo Decreto n.º 24.643, de 10 de junho de 1934, o Código regulamentava a exploração no setor de águas e energia elétrica, passando para as mãos da União todas as fontes de energia hidráulica existentes. Dele advieram, posteriormente, os órgãos para melhor controlar a política energética no Brasil.

Pela falta de energia elétrica e racionamentos, as crises começaram a ser sentidas a partir da 2.ª Guerra Mundial. Devido à impossibilidade de importar os bens de que necessitava, o país teve que fomentar a produção interna de alguns desses bens, ocorrendo então, no período, maior crescimento e desenvolvimento industrial. A restrição ao consumo fez com que se exigisse a expansão do parque gerador nacional, por parte das empresas concessionárias. O governo brasileiro não esteve ausente: propôs ao Congresso Nacional a aprovação do Plano Nacional de Eletrificação e a criação das Centrais Elétricas do Brasil S.A. (Eletrobras), que se destinaria a planejar e a coordenar a política de energia elétrica nacional.

A autorização para a criação da Eletrobras, no entanto, só viria a ocorrer em 1962. Funcionando desde o início de sua constituição, em 1963, como a empresa federal e *holding* do setor, é uma sociedade de economia mista que coordena, planeja, supervisiona e financia a ampliação, operação, transmissão e distribuição de energia elétrica pelo Brasil, através de suas quatro subsidiárias – Chesf (Nordeste), Eletronorte (Norte), Eletrosul (Sul) e Furnas (Sudeste e Centro-Oeste) –, e foi responsável pelo novo direcionamento estratégico dado ao setor elétrico nacional. Em 1965, o setor público já detinha a maior parte da capacidade total instalada no país.<sup>25</sup> Em 1984, entrou em operação a Itaipu, uma geradora binacional derivada de uma sociedade com o Paraguai, ficando a Eletrobras com o papel de administrá-la.

A ampliação do setor no âmbito federal deu-se, principalmente, a partir das reformas econômicas do período 1964-67. Políticas tarifárias juntamente com financiamentos interno e externo contribuíram para favorecer um maior investimento no setor elétrico. Essa foi uma das principais fontes de crescimento da economia no período 1968-73, que também serviu de

---

<sup>25</sup> Ver Mendonça (1993).

base para outros setores da economia. Enquanto, à época, as empresas do governo se expandiam na área de distribuição de energia elétrica, o setor privado voltava-se para áreas em que era possível a diversificação da produção.

Após a primeira crise do petróleo em 1973, a demanda de energia elétrica se fez sentir ainda mais, implicando novos investimentos de base hidráulica. Mesmo a custa de uma inflação crescente, foi possível ampliar a oferta de energia e oferecer preços competitivos a vários setores da economia, não havendo necessidade até então de abdicar do realismo tarifário.

A Tabela 1 mostra o crescimento da população brasileira atendida pela energia elétrica e o aumento da capacidade instalada desde a década de 1970, com investimentos sobretudo de base hidráulica. Permite também observar a redução da tarifa média de fornecimento em dólar por megawatt/hora e o aumento considerável do consumo *per capita* de energia elétrica da década de 1970 para a década de 1990.

Contudo, no ano de 1974, houve a equalização tarifária (Decreto-Lei n.º 1.383/74), que marcou a maior interferência federal no setor, postura que passou a ser vista como essencial para o desenvolvimento da nação. Posteriormente, criaram-se órgãos de planejamento e previsão de mercado. O governo federal definia as tarifas através do Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica (DNAEE), e os recursos financeiros advinham do consumidor através de impostos nelas embutidos. Observou-se, assim, o esgotamento da política de financiamento do setor, que se iniciou no final da década de 1970 e se estendeu por toda a década de 1980, devido ao baixo nível tarifário, usado como instrumento de controle inflacionário àquela época por parte do governo federal.

A estrutura do setor elétrico, coordenado pela Eletrobras, ficou sob fogo cruzado: de um lado, empresas elétricas estaduais que reivindicavam uma descentralização e tinham interesses próprios em soluções que trouxessem investimentos para sua área; de outro lado, organismos internacionais e setores liberais pressionavam a favor da privatização. As tarifas baixas foram usadas como instrumento de controle da inflação, em detrimento das empresas elétricas estatais. Os principais beneficiados eram (e são) os consumidores industriais, em particular os eletrointensivos que recebem subsídios, como a indústria do alumínio (Rosa, 2001, p. 109).

A Eletrobras, por sua vez, desempenhou, desde a década de 1970, o papel de banco de fomento do setor, sendo usada para captar recursos, principalmente empréstimos externos, com o objetivo de expandi-lo. O setor elétrico brasileiro também foi utilizado como instrumento de captação de empréstimos externos direcionados a fechar o balanço de pagamentos do governo, a custa de altas taxas de juros internacionais. “Ficou clara a falha

estratégica na decisão do governo, que captara recursos através das empresas elétricas, que tinham crédito no exterior” (Rosa, 2001, p. 111).

**TABELA 1 – Indicadores Retrospectivos**

<b>Indicadores</b>	<b>Unidade</b>	<b>1970</b>	<b>1975</b>	<b>1980</b>	<b>1985</b>	<b>1990</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>
<i>População</i>	10 <sup>6</sup> hab.	93	105	119	132	145	156	158
<i>PIB (preços constantes 1996=100 – DI)</i>								
Total	10 <sup>6</sup> US\$	237.707	384.159	543.795	578.744	635.320	727.522	748.621
Per Capita	US\$/hab.	2.564	3.665	4.586	4.384	4.390	4.668	4.738
<i>Consumo Total de Fontes Primárias de Energia</i>								
Total	10 <sup>3</sup> tEP	74.287	105.481	138.760	171.183	181.080	199.939	209.000*
Per Capita	tEP/hab.	0,801	1,006	1,170	1,297	1,251	1,283	1,323*
<i>Capacidade Instalada de Geração</i>								
Hidráulica (inclui autoprodutores)	MW	11.048	20.968	33.475	44.107	53.050	59.036	61.089
Térmica (inclui autoprodutores)	MW	2.213	4.652	5.823	7.030	7.492	7.725	7.729
<i>Energia Elétrica Disponível</i>	TWh	45,7	79,0	139,2	195,6	249,3	310,7	321,9
<i>Consumo de Energia Elétrica</i>								
Total (c/ tarifas especiais, c/ autoprodutores)	TWh	38,1	68,2	122,7	173,6	217,6	264,6	272,3
Per Capita	kWh/hab.	411,6	650,4	1.034,9	1.314,8	1.503,9	1.697,8	1.723,4
Total (c/ tarifas especiais, c/ autoprodutores)	TWh	35,7	64,3	114,2	163,3	205,3	249,9	260,9
Per Capita	kWh/hab.	385,5	613,9	963,7	1.237,0	1.418,6	1.603,5	1.651,32
<i>Perdas de Energia</i>	%	16,6	13,7	11,8	11,3	12,7	14,9	15,4
Tarifa Média de Fornecimento (base: mar/97)	US\$/MWh	132,70	144,10	105,10	91,10	78,30	65,10	72,00

Fonte: INFORME INFRA-ESTRUTURA (1997).

(\*) Valores preliminares.

O serviço da dívida ficava, desse modo, dependente do comportamento das taxas de juros, e o setor teve de arcar, a partir daquele momento, com o ônus de uma dívida, cujos recursos muitas vezes ele não absorveu.

Importante parte da dívida do setor foi contraída através da política do governo federal de captar dólares no exterior usando a capacidade de endividamento das empresas elétricas, que obtinham crédito para grandes obras. Um problema associado foi a vinculação dos créditos externos à compra de equipamentos com sobrepreços no exterior. Em geral, os recursos foram aplicados produtivamente, embora algumas

hidrelétricas sejam passíveis de críticas, como Balbina e, mais recentemente, Porto Primavera. O maior erro esteve nos reatores nucleares do acordo com a Alemanha, que Furnas foi levada a encomendar, a um custo altíssimo, da antiga Nuclebras e da Siemens [...]. Na renegociação da dívida, rolada ou aliviada para o setor privado e outras áreas públicas, o setor elétrico foi prejudicado. O vencimento da dívida do setor ficou concentrado entre os anos de 1987 e 1993. Tal situação, associada à taxa de juros flutuantes que incidiam sobre os empréstimos, deixou em dificuldades as empresas elétricas estatais (Rosa, 2001, p. 110).

Pode-se afirmar, então, que os recursos externos ingressavam no país substituindo os do próprio setor para financiar os investimentos necessários, já que havia contenção de tarifas (Rosa, 2001). Mas a maioria desses recursos era absorvida para a rolagem da própria dívida externa, tornando negativa a poupança externa na expansão do setor.

Sintetizava-se, assim, um quadro de “estrangulamento” das poupanças do setor a partir da década de 1980, porque os impostos e as taxas deixaram de estar vinculados à sua expansão. Os impostos e as taxas que ainda existiam continuaram durante muito tempo sendo transferidos a estados, municípios e federação, numa total desobediência aos preceitos legais do sistema elétrico nacional. Logo, a geração interna de recursos não foi suficiente para honrar os encargos das dívidas interna e externa, levando à inadimplência com fornecedores, instituições financeiras e concessionárias.

Como se vê, a crise foi sendo gestada passo a passo: juros altos (e flutuantes) que incidiram sobre empréstimos contraídos na época dos petrodólares abundantes, na década de 1970; inadequação entre os prazos curtos desses empréstimos e o prazo longo das obras requeridas pelo setor elétrico; compressão tarifária usada pelo governo desde a década de 1980 como instrumento de política macroeconômica, especialmente para atenuar a inflação; equalização tarifária após 1974, que permitiu abuso nos custos. Pode-se acrescentar um ponto não analisado acima: o superfaturamento praticado por empreiteiras de obras e fornecedores de equipamentos do setor elétrico (Rosa, 2001, p. 111-112).

### **2.1.2 O processo de privatização do setor elétrico**

A dimensão continental do Brasil e seu enorme potencial hidrelétrico resultaram em economias de escala, possibilitadas pelas enormes usinas elétricas construídas, levando à implantação de um sistema interligado de transmissão de energia, através do qual as empresas dividiam seus custos de linhas de transmissão. Esse tipo de sistema integrado permitia que empresas diferentes se utilizassem de maneira eficiente do mesmo fluxo de água advindo da mesma bacia. A centralização do setor para esse monitoramento foi implementada após a criação da Eletrobras, em 1963.

O sistema centralizado não era apenas considerado como o modelo mais eficiente em termos técnicos e econômicos, mas também se ajustava ao modelo de crescimento impulsionado pelo Estado que prevaleceu no Brasil após a Segunda Guerra Mundial, quando o país fez a transição de uma economia agrícola de exportação para uma nova economia industrializada. De acordo com o modelo de substituição da importação, o setor público foi responsável pelos investimentos na infra-estrutura de capital intensivo, mas de baixo retorno, como eram tipicamente os “monopólios naturais”. Tais investimentos iriam criar a demanda por empreiteiras do setor privado e indústrias de bens de capital. Com base no modelo de substituição da importação, o Brasil também desenvolveu um sistema de subsídio de tarifas, que visava baratear a energia elétrica para as indústrias, repassando o custo residual aos domicílios dos consumidores e a outras empresas fora do setor industrial (Ferreira, 2000, p. 185).

Observa-se desse modo que, desde a sua constituição, o setor elétrico brasileiro exerceu a função de dar subsídios ao desenvolvimento econômico e industrial do país. A integração do sistema e a exploração de recursos hídricos pelas empresas possibilitaram o atendimento à crescente demanda de energia elétrica nacional.

A expansão contínua do parque gerador instalado foi possível pela intervenção estatal, tendo a coordenação técnica, financeira e administrativa do setor público sido exercida pela Eletrobras. Integrada a uma estrutura de empresas geradoras e distribuidoras de âmbito regional que investiram na infra-estrutura de grandes barragens, centrais elétricas, linhas de alta tensão, etc. – o setor promoveu a construção e operação dos sistemas elétricos hoje existentes. Houve o aporte de capital requerido pelo crescimento urbano e industrial, que assegurou energia elétrica em larga escala e baixo custo. As redes de transmissão de energia foram decisivas para descentralizar a disponibilidade de energia para além das proximidades dos centros de geração, permitindo integração entre pontos críticos e o gerenciamento da sazonalidade da energia (ANEEL, 2001, p. 3).

Mesmo tomando medidas necessárias durante muitas décadas para o exercício dos papéis relatados acima, não foi possível impedir que o passo seguinte para o setor no país fosse a privatização e a implementação de um novo modelo.

A propagação em nível mundial de idéias de modelo de crescimento econômico impulsionado pelo mercado sobrepôs a idéia anterior do modelo até então vigente de crescimento impulsionado pelo Estado. Disseminou-se a idéia de esgotamento do papel do Estado numa economia globalizada. A necessidade iminente de se conjugar aumentos de produtividade em todo tipo de atividade econômica, com redução de custos e aumento de eficiência, tomou conta da nova ordem mundial instalada, que exigia um mercado global e competitivo. Para tal, fazia-se necessário privatizar empresas estatais existentes, deixando o Estado livre para atuar nas áreas essenciais, como saúde, educação e segurança.

Essa visão, aliada à crise institucional e financeira do setor elétrico brasileiro, fez surgir um clima propício para o incentivo à privatização do setor.

Sua crise institucional e financeira no final da década de 1980 e início da década de 1990 foi motivada pela falta de recursos para investir e por tarifas baixas demais, pela perda de receita causada por subsídios a setores eletrointensivos, por grandes empreendimentos equivocados (como o Acordo Nuclear com a Alemanha e a hidrelétrica de Balbina, na Amazônia), pela desarticulação institucional, pelo desestímulo profissional e pela perda de quadros competentes (Rosa, 2001, p. 112).

Segundo Ferreira (2000), as características específicas do setor elétrico brasileiro não permitiriam uma simples cópia dos modelos de privatização do setor realizados em outros países. Dentre essas características pode-se citar:

- 1) a característica técnica, que definia o setor como baseado majoritariamente em recursos de geração hídrica, criando um modelo centralizado de decisão de carga e um sistema interligado de transmissão territorial;
- 2) a complexidade da estrutura acionária do setor, que implicava a propriedade dos ativos de geração e transmissão por parte do governo federal e a propriedade das empresas de distribuição por parte dos governos estaduais, sendo que alguns deles eram proprietários de serviços públicos de integração vertical, tinham dívidas e sofriam de alavancagem, o que tornava complicada a privatização do setor como um todo;
- 3) a falta de financiamentos para a geração de energia nos últimos 10 anos (1985-1995), que tornava urgente a necessidade de grandes investimentos em ativos de nova geração para prover a população ainda não atendida em sua demanda, principalmente os consumidores residenciais.

No entanto, as privatizações tiveram início em 1993, sem uma regulamentação pré-definida, tendo por base um relatório que o governo encomendou à Coopers & Lybrand. Esse relatório, calcado no modelo inglês de privatização, continha erros que tiveram de ser corrigidos antes de ser aplicado.<sup>26</sup>

O primeiro passo foi a aprovação da Lei n.º 8.631, que possibilitou o fim do nivelamento geográfico de tarifas e estabeleceu em 10% o mínimo de retorno sobre os ativos. Em seguida, foram eliminados os créditos na Conta de Resultados a Compensar (CRC), na qual as empresas acumulavam resultados positivos ou negativos para acerto posterior, compensando empresas com retornos menores do que aquelas com maiores retornos em função de uma estrutura de custos diferenciados, o que beneficiou as empresas com créditos excedentes, pois puderam vendê-los a outras empresas do setor elétrico e mesmo utilizá-los em dívidas futuras contraídas com o governo.

---

<sup>26</sup> Veja mais em Rosa (2001).

O *lobby* das empresas de serviços públicos contra a política do governo Itamar Franco, de manutenção de tarifas públicas abaixo da inflação, e o Plano Real, em julho de 1994, com posterior controle inflacionário, abriram caminho para a verdadeira reestruturação do setor elétrico, iniciado no governo Fernando Henrique Cardoso. Em 1995, a decisão deste Presidente de privatizar o setor elétrico gerou dúvidas, pois, de acordo com as características específicas do setor, a privatização implicaria a simples transferência do monopólio público para o monopólio privado, sendo, portanto, indesejável, do ponto de vista da implantação de um modelo que buscava benefícios econômicos.

Alegou-se que a venda das empresas elétricas estatais seria feita para reduzir a dívida do Estado e, assim, preservar o Plano Real. No entanto, a venda de grande parte do setor elétrico não alcançou nem um pequeno percentual do seu patrimônio, que supera US\$ 100 bilhões. Pouco se abateu também da dívida interna e externa, que cresceu enormemente com a política de juros altos do próprio governo. Centrada na preocupação de “fazer caixa”, a privatização do setor elétrico queimou o patrimônio público em troca de muito pouco, irreversivelmente (Rosa, 2001, p. 114-115).

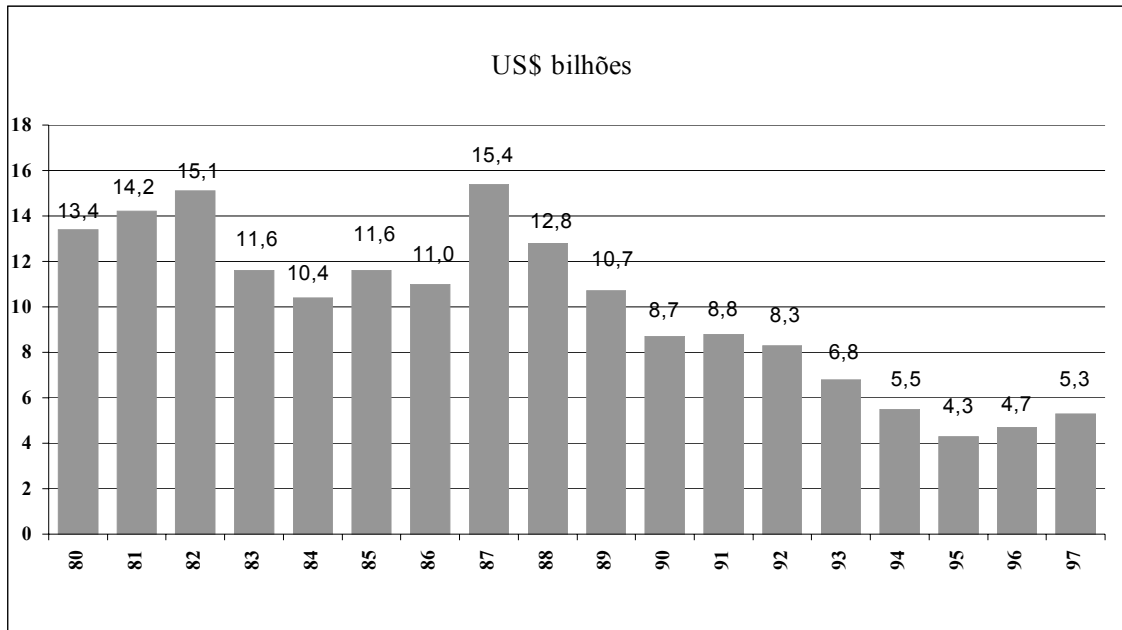
As características do modelo brasileiro<sup>27</sup> implicariam riscos para a privatização, caso não se introduzisse uma estrutura regulatória adequada antes de iniciá-la. A regulação anterior do setor dava-se através de duas entidades setoriais subordinadas à Eletrobras: o Grupo de Coordenação para Operação Interligada (GCOI), criado em 1973 para controlar o sistema centralizado de despacho por meio da otimização do fluxo de água, e o Grupo de Coordenação do Planejamento do Sistema de Energia Elétrica (GCPS), criado em 1982 para projetar a demanda de energia elétrica por meio de previsões macroeconômicas e, de acordo com os resultados, redefinir os investimentos necessários para a expansão das atividades de geração, transmissão e distribuição, além de estabelecer o cronograma de projetos de investimentos primordiais, dando prioridade aos mais urgentes, através da elaboração dos Planos Decenais de investimentos no setor elétrico. À Eletrobras cabia ainda a responsabilidade de administração de recursos financeiros destinados aos investimentos no setor elétrico. Como dito anteriormente, os recursos advindos para tais investimentos em infra-estrutura eram provisionados de impostos específicos sobre a utilização de energia e também de empréstimos compulsórios de grandes consumidores de energia.

A crise do setor público na década de 1980 retirou a possibilidade de que o modelo centralizado de financiamento continuasse a baixo custo. A Figura 1 mostra o impacto dessa falta de recursos no financiamento do setor, que saiu de um patamar de US\$ 14 bilhões/ano no

---

<sup>27</sup> Saiba mais sobre o antigo modelo centralizado brasileiro em Ferreira (2000).

período de 1980-82 para US\$ 10,7 bilhões no ano de 1989, chegando a US\$ 4,3 bilhões no ano de 1995.



**Figura 1** – Investimentos históricos do setor elétrico – 1980/97

Fonte: Ferreira (2000, p. 191).

A crise do modelo centralizado foi sentida mais profundamente na década de 1990, quando os problemas e falhas de ineficiência econômica, vulnerabilidade a reveses financeiros e serviço da dívida elevado indicavam que era o momento de se buscar um modelo novo de operação. Os três argumentos básicos da privatização como alternativa ao antigo modelo foram: a adoção de tarifas módicas, a realização de investimentos e a melhoria da qualidade do serviço de energia no país. O objetivo também era tentar reduzir a dívida do setor público e dar-lhe novo fôlego por meio de ajustes fiscais, com o intuito de associar o crescimento da oferta de eletricidade ao crescimento econômico do país, visando à sustentabilidade do crescimento do Brasil em longo prazo. A privatização do setor elétrico nacional representava dessa forma um desafio para a superação da crise de financiamento e dos altos níveis de endividamento que se iniciaram na década de 1980.

Assim, ela teve início com a venda das companhias distribuidoras Escelsa (em 1995) e Light (em 1996), antes mesmo da criação da nova agência reguladora do setor, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que viria substituir o antigo DNAEE, através da Lei n.º 9.427, de 26 de dezembro de 1996. A decisão pela privatização foi vista como a única saída viável para as empresas endividadas e com dificuldades financeiras e para alguns

governos estaduais com falta de caixa. Outros órgãos de regulação também foram criados para exercer papéis similares aos que exerciam no antigo modelo, como, por exemplo, o Operador Nacional do Sistema (ONS), em substituição ao GCOI, e o Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos (CCPE), subordinado ao Ministério de Minas e Energia (MME), em substituição ao GCPS. A Eletrobras também passou a exercer o papel de uma verdadeira *holding* comercial do setor, funcionando como seu agente financeiro.

No antigo modelo do setor elétrico, a expansão estava centrada na figura do estado empresário, ou seja, a responsabilidade da expansão ficava a cargo de suas geradoras, que funcionavam como concessionárias do serviço público, pois, além de estarem inseridas nos monopólios regionais e terem garantia de mercado, baseavam o preço da energia elétrica no custo da geração. Os financiamentos necessários eram obtidos via organismos multilaterais, fontes setoriais e as próprias tarifas e tinham a garantia do Tesouro em caso de risco.

Ao invés de atrair capitais privados para empreendimentos novos, garantindo assim aumento da capacidade geradora, o governo colocou à venda usinas hidrelétricas que já existiam, muitas das quais já amortizadas, capazes de gerar quase de graça: 5 dólares por kwh (Benjamin, citado por REVISTA CREA, 2001, p. 14).

Contudo, o novo modelo, instaurado no setor elétrico com a privatização de algumas empresas, possibilitou a abertura do setor ao capital privado, como se observa no Quadro 4.

Esse novo ambiente permite a competição na geração e comercialização da energia elétrica, podendo a expansão ficar a cargo das distribuidoras através de contratos de longo prazo, abrindo-se espaço, inclusive, para produtores de energia independentes, sendo os preços definidos pelo mercado através do Mercado Atacadista de Energia (MAE). A estrutura de financiamentos do setor poderá processar-se por meio de projetos do BNDES, a saber: *Project Finance* e *Corporate Finance* (Sampaio, 2001).

A Figura 2, por sua vez, mostra que, no novo ambiente institucional do setor elétrico, há espaço para diferentes agentes com funções regulatórias, integrativas e de suporte.

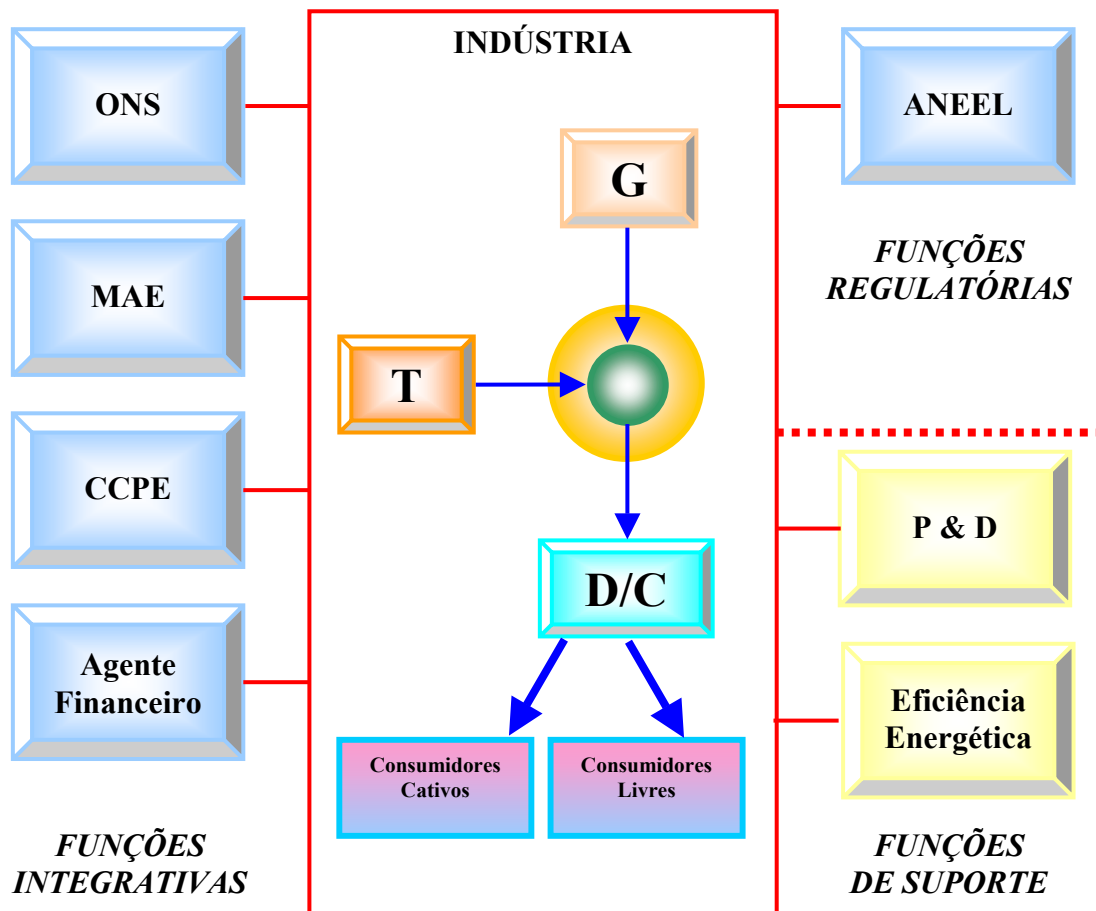
A grande questão relacionada à privatização de empresas brasileiras foi o atendimento ao projeto de privatização do setor elétrico de acordo com as regras impostas pelo Fundo Monetário Internacional (FMI).

**QUADRO 4 - Resultados dos Leilões de Privatização do Setor Elétrico**

Empresa	Data da venda	Valor da licitação (US\$ milhões)	Prêmio (%)	% do capital total	Valor da empresa (US\$ milhões)	Vendas (GWh/ano)	Grupo que adquiriu o controle
<b>Distribuição</b>							
Escelsa	12.7.95	385	11,78	50,00	770	5.487	Iven e GTD (Brasil)
Light	21.5.96	2.217	–	50,44	4.395	21.689	EDF (França) AES (Estados Unidos) Houston (Estados Unidos)
Cerj	20.11.96	588	30,27	70,26	837	5.733	Chilectra/Enersis (Chile) EDP (Portugal)
Coelba	1.7.96	1.602	77,38	62,54	2.561	7.985	Iberdrola (Espanha) Previ (Brasil)
CEEE	1.10.97	1.372	93,55	90,91	1.510	5.772	AES (Estados Unidos)
Centro-Oeste							
CEEE	21.10.97	1.487	82,62	90,75	1.637	4.611	VBC (Brasil) CEA (Estados Unidos) Previ (Brasil)
Norte-Nordeste							
CPFL	1.11.97	2.741	70,15	41,06	6.615	16.704	VBC (Brasil) Bonnaire (Brasil)
Enersul	19.11.97	568	83,79	48,67	1.167	2.513	Escelsa
Cemat	27.11.97	356	21,09	86,91	406	2.139	Grupo Rede/Inepar (Brasil)
Energipe	1.12.97	525	96,05	86,42	596	1.492	Cataguases-Leopoldina (Brasil)/CMS (Estados Unidos)
Cosern	1.12.97	616	73,90	85,75	718	2.084	Iberdrola (Espanha) Previ (Brasil)
Coelce	2.4.98	868	27,20	53,11	1.635	4.778	Enersis (Chile) Endesa (Espanha)
Eletropaulo Metropolitana	15.4.98	1.776	–	29,80	5.960	34.779	EDF/AES/Houston
Celipa	1.7.98	388	–	51,26	761	3.014	Grupo Rede/Inepar (Brasil)
Elektro	16.7.98	1.273	98,90	46,62	2.731	10.295	Enron Brasil Power Holding
Eletropaulo Bandeirante	17.9.98	860	–	29,80	2.885	23.170	CPFL/EDP
<b>Geração</b>							
Cachoeira	5.9.96	663	43,49	78,88	908	3.820	Endesa/Enersis
Dourada							
Gerasul	15.9.98	801	–	42,10	1.904	19.815	Tractebel (Bélgica)
<b>Outras empresas<sup>a</sup></b>							
(Participação minoritária)		<b>1.676</b>					
<b>Empresas federais</b>							
		<b>3.403</b>			<b>7.068</b>	<b>46.991</b>	
<b>Empresas estaduais</b>							
		<b>15.681</b>			<b>30.925</b>	<b>128.889</b>	

<sup>a</sup> Inclui US\$ 410 milhões da participação minoritária da Eletrobras e US\$ 1.053 bilhão e US\$ 213 milhões da venda de participações minoritárias na Cemig e na Copel, respectivamente.

Fonte: Ferreira (2000, p. 210).



**Figura 2** – Setor elétrico brasileiro: o ambiente institucional  
 Fonte: Sampaio (2001).

**LEGENDA:**

G – geração de eletricidade

T – transmissão de eletricidade

D/C – distribuição/comercialização de eletricidade

Consumidores cativos – consumidores que têm contratos com as distribuidoras para a compra de eletricidade

Consumidores livres – consumidores que comprarão sua eletricidade no mercado aberto

ONS – Operador Nacional do Sistema

MAE – Mercado Atacadista de Energia

CCPE – Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos

Agente Financeiro – Eletrobras (Centrais Elétricas do Brasil S.A.)

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

P & D – pesquisa e desenvolvimento

Eficiência Energética – serve para instruir a sociedade sobre a economia e a eficiência no uso da eletricidade

Ao reduzir a privatização a um problema de natureza puramente financeira, esqueceu-se a especificidade do setor elétrico brasileiro interligado. Sua base hidrelétrica é uma vantagem comparativa para o país, pois a energia hídrica é renovável e permite gerar eletricidade sem o uso dos combustíveis fósseis importados, cujos preços são imponderáveis no longo prazo (Rosa, 2001, p. 114).

E ainda:

... as estatais foram proibidas de investir pela política do ministro Pedro Malan, mesmo quando a crise foi progressivamente se evidenciando e os reservatórios das hidrelétricas baixando ano a ano os seus níveis, sem que os investimentos privados nas termelétricas<sup>28</sup> ocorressem. A crise foi prevista com enorme antecedência, porém o governo insistiu em negá-la, preocupado em não ferir a imagem da política econômica ou prejudicar as privatizações. Os reservatórios ficaram abaixo do nível de segurança para enfrentar uma escassez de chuvas (Rosa, 2001, p. 130).

A crise de inadimplência foi destaque na mídia no início dos anos 90 e a polêmica à época era se essa crise era de cunho estrutural, por ser o modelo obsoleto, ou de cunho econômico-financeiro, pela desobediência ao cronograma de planejamento e obras do setor em face da escassez de recursos para tal programação. No entanto, o discurso da privatização foi aceito como saída e subterfúgio ao problema maior de omissão dos homens públicos com a trajetória de crescimento de um setor.

O que se observa, então, é que a privatização veio não como um caminho para se investir em expansão e modernização da infra-estrutura existente, e sim para comprar e administrar o que já existia. Fica evidente, assim, o problema futuro de suprimento de eletricidade.

... se os compradores não investissem adequadamente em expansão o Estado teria de prover os recursos necessários para isso, de modo a não inviabilizar a possibilidade de crescimento da economia como um todo. Foi o que acabou ocorrendo com a crise aberta em 2001. Pela Constituição, a energia elétrica é de responsabilidade da União, mesmo quando esta dá concessões para que empresas atuem no setor (Rosa, 2001, p. 115).

Como os problemas de investimentos do setor público ainda persistem e a grande parte da geração continua sendo estatal, o Brasil parou de investir na expansão da capacidade de fornecimento do sistema energético, com o intuito de obter um superávit contábil e financeiro, restando ao sistema o sobreuso de suas reservas de água em face do não-investimento adequado em expansão e devido ao crescimento natural da demanda do país.

---

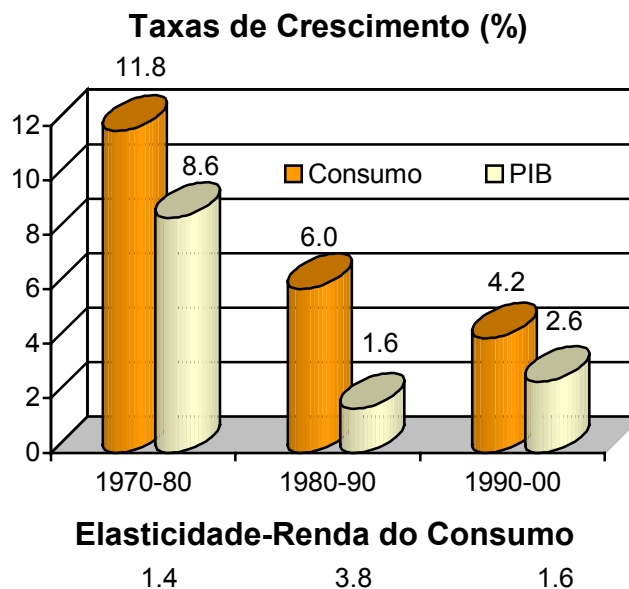
<sup>28</sup> As termelétricas planejadas para serem construídas antes da crise teriam o objetivo de complementar a oferta de energia hidráulica.

Percebe-se assim que o futuro do setor elétrico brasileiro ainda é incerto e dependerá da transparência das novas regras para o sistema como um todo.

### 2.1.3 O cenário atual do setor energético no Brasil

É sabido que o mercado de energia elétrica deve acompanhar o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) de uma nação. No Brasil, nos últimos 30 anos, o mercado de energia elétrica cresceu mais do que a economia, mostrando alta elasticidade-renda da demanda. A Figura 3 ressalta que não houve década perdida para o setor elétrico nacional.

A crise de suprimento do setor elétrico que culminou em abril de 2001 é, pois, um reflexo de mais de quinze anos (1985-2000) de descaso e de falta de investimentos suficientes em um setor-chave para o desenvolvimento de uma nação. Os investimentos não foram capazes de expandir a oferta de energia elétrica na escala necessária (Rosa, 2001). A administração pública, na figura do Presidente da República, não exerceu de fato seu papel de forma consciente e responsável, pois não realizou os investimentos necessários, não alertou a sociedade a tempo, tampouco realizou campanhas de economia de energia antes da explosão da crise. O atual Presidente mostrou surpresa e falta de sensibilidade, uma vez que os técnicos do setor comprovaram o seu conhecimento da atual crise.



**Figura 3** – Economia e mercado de energia elétrica  
Fonte: Sampaio (2001).

Em maio de 2001 o governo assumiu publicamente a crise, decretando em seguida o racionamento.<sup>29</sup> A crise foi atribuída à escassez de chuvas pelo presidente da República em dois pronunciamentos em cadeia nacional [...]. O Brasil utiliza há muitas décadas a geração hidrelétrica, e após a década de 1960 não ocorreu falta de energia no sistema interligado. A hidreletricidade, que ultrapassa 90% da geração elétrica, foi planejada considerando a variação das chuvas. Caso contrário, crises se sucederiam nos períodos secos. Não houve crises, pois os reservatórios foram dimensionados para acumular água nas usinas para períodos de cinco anos [...]. A maior parte do consumo e do armazenamento de água está no sistema interligado, que abrange as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste. Se todos os reservatórios ficassem cheios ao mesmo tempo e se todo o país fosse interligado, eles acumulariam água para manter a potência média atual por mais de seis anos. Entretanto, eles não ficam cheios simultaneamente e nem todo o país está interligado [...]. Como o consumo cresce ano a ano, é necessário ampliar sempre a capacidade de geração, construindo novas usinas, hidrelétricas ou termelétricas, além de usar alternativas energéticas, como o bagaço de cana e o lixo urbano, promover a conservação para economizar energia, aumentando a eficiência, e gerar eletricidade distribuída nas empresas usando o gás natural que está sobrando. Nada disso foi feito. A água, que era a poupança do sistema, foi sendo gasta (Rosa, 2001, p. 131-132).

A falta de investimentos em geração está deixando para a sociedade a tarefa de pagar a conta, pois teve de abandonar seus aparelhos elétricos, aceitar multas e suspensão do fornecimento de energia e, posteriormente, um aumento de tarifas. Também está fazendo com que se utilize, no presente, a energia futura, já que os reservatórios existentes estão sendo drenados para compensar a falta de investimentos. A evolução dos níveis dos reservatórios da região Sudeste do Brasil ao longo da década de 1990, bem como o comportamento da capacidade instalada e do consumo de energia elétrica na mesma década podem ser observados nas Tabelas 2 e 3.

**TABELA 2 - Níveis de Água Mínimo e Máximo:  
Reservatórios das Hidrelétricas da Região Sudeste**

ANOS	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/00
MÍNIMO	80%	67%	81%	64%	49%	51%	44%	62%	44%	19%
MÁXIMO	98%	96%	95%	93%	89%	77%	88%	83%	70%	59%

Fonte: Rosa (2001, p. 132).

<sup>29</sup> A meta de economia de energia elétrica foi estipulada em 20% a menos no consumo mensal de cada domicílio, indústria e comércio.

**TABELA 3 - Capacidade Instalada e Consumo de Energia Elétrica na Década de 1990**

	1990	1995	1999	Crescimento 99/90 (sic.)
Capacidade Instalada (1000 MW)	53,0	59,1	68,1	28,5%
Consumo (milhões de MWh)	217,6	264,8	314,7	44,6%

Fonte: Rosa (2001, p. 133).

A dimensão das perdas sofridas dependerá e muito do período e da extensão da crise, bem como da capacidade do governo atual de retomar os investimentos necessários em infraestrutura elétrica, pois, apesar de muitas usinas estarem em construção ou terem sido anunciadas, muitas delas só começarão a operar no segundo trimestre de 2002.<sup>30</sup>

A crise atual veio para lembrar que o Brasil não possui uma estratégia nacional de desenvolvimento e, portanto, poderá apresentar problemas semelhantes no futuro.<sup>31</sup> O retrocesso econômico que surge como consequência pode levar anos para ser corrigido.

O que a experiência está demonstrando é que confiar na magia do mercado e abrir mão da responsabilidade de intervir para criar condições estruturais de desenvolvimento não é solução. O mercado não é e jamais será um substituto adequado para a boa administração pública (LAFIS, 2000, p. 27).

## 2.2 CARACTERIZAÇÃO E ESTRUTURA TECNOLÓGICA

### 2.2.1 Desenvolvimento do padrão tecnológico nacional

A importância do setor elétrico no contexto socioeconômico de uma nação está condicionada ao nível de sua participação na estrutura energética, mostrando a dependência de sua utilização para o desenvolvimento econômico. Logo, a evolução e o aprimoramento tecnológico desse setor e dos que a ele estão ligados implicarão o desenvolvimento futuro eficiente do país. A capacidade energética é, pois, um limitador do crescimento econômico.

No Brasil, a expansão inicial do setor elétrico esteve marcada por tecnologia provida pelo exterior. A pesquisa e o desenvolvimento em tecnologia nacional inexistiam. Depois, com a filosofia de uma política governamental desenvolvimentista e nacionalista, houve incentivo e estímulo ao desenvolvimento local da fabricação de grande parte dos equipamentos destinados à geração, transmissão, distribuição e utilização de energia elétrica.

<sup>30</sup> Ver Oliveira (2001) e Rosa (2001).

<sup>31</sup> De acordo com Sampaio (2001), simulações da evolução futura do mercado de energia elétrica indicam, para a próxima década, um crescimento de 5,9% a.a., ficando 25% acima do crescimento da economia.

Os avanços verificados na produção interna, entretanto, não foram significativos, pois representavam apenas inovações de natureza incremental ou adaptações às especificidades do setor elétrico nacional.

O Setor Elétrico foi um dos que mais se empenhou no desenvolvimento tecnológico nacional. Ainda assim, é de fundamental importância que sejam garantidas as ações no sentido de consolidar tecnologias, bem como assegurar a capacitação em áreas estratégicas e características de nossos sistemas, tais como transmissão à longa distância, co-geração e produção independente, fontes alternativas, uso racional de energia, eletrônica de potência, impactos ambientais de projetos setoriais, dentre outras (ELETROBRAS, 1993, p. 2).

A implementação de uma política tecnológica no setor depende do desenvolvimento científico-tecnológico que sustente uma parceria entre os centros de pesquisa e universidades no país e as indústrias fornecedoras de bens e serviços, com o objetivo de garantir competitividade e domínio em áreas consideradas prioritárias e estratégicas, aplicadas sobretudo ao caso específico brasileiro.

A confiabilidade do atendimento e a qualidade do serviço prestado no setor elétrico são fatores que tornam o planejamento de médio e longo prazo um instrumento fundamental para a antecipação e a definição do futuro energético do país.<sup>32</sup> “... energia elétrica não é globalizável: ou é produzida internamente ou é indisponível...” (Lessa, 2001a, p. 12).

Logo, a manutenção ou a mudança do rumo a ser traçado no setor elétrico de acordo com a orientação de política econômica, industrial e tecnológica do país é algo sério e requer investimento em P & D. Não se trata apenas de imitar o desenvolvimento tecnológico de outros países, e sim de capacitar o setor para o processo de seleção e adaptação na transferência de tecnologia de outros países, observando o caminho traçado para um futuro desejável, respeitando as particularidades de cada nação, bem como de suas regiões.

O horizonte de planejamento de longo prazo para a expansão do setor elétrico é de 20 a 30 anos. A definição da estratégia tecnológica do setor depende de informações do planejamento atreladas à evolução da ciência e da tecnologia, à capacitação da indústria e à política industrial e tecnológica implementada no país, inserida na dinâmica tecnológica internacional vigente no momento.

---

<sup>32</sup> Este assunto será tratado com mais atenção no Capítulo 4 deste estudo.

Na área de geração, tema deste estudo, o Brasil vive uma situação diferente da dos países desenvolvidos, por dispor ainda de grande potencial hidrelétrico a ser explorado, conforme se observa na Tabela 4.

**TABELA 4 – O Potencial Hidrelétrico Brasileiro**

<b>Regiões</b>	<b>Inventariado (%)</b>	<b>Estimado (%)</b>	<b>Operação (%)</b>	<b>Total (MW)</b>
Norte	37	54	9	112.495
Nordeste	54	6	40	26.710
Sul	40	16	44	41.859
Sudeste	36	13	50	42.776
Centro-Oeste	20	56	24	36.255
Total (Brasil)	37	37	27	260.095

Fonte: Sampaio (2001).

O desafio a ser vencido, com respeito às fontes primárias, é a longa distância entre tais fontes passíveis de geração hidrelétrica e os principais centros de carga, levando-se em consideração a necessidade de equacionamento dos problemas ambientais.

Uma das alternativas que tem sido propostas para suprir a crescente demanda de energia elétrica é a geração distribuída ou descentralizada. Também chamada de microgeração, esta consiste na construção de pequenas usinas hidrelétricas ou termelétricas, com potencial máximo de 100 MW. Ao contrário das grandes usinas hidrelétricas, em geral construídas em locais distantes dos centros consumidores – o que exige extensas linhas de transmissão – as microusinas podem localizar-se próximas a centros urbanos ou a áreas em processos de urbanização (Fraga, 2001, p. 34).

A vantagem da microgeração é conjugar o uso de recursos disponíveis, a tecnologia dominante, a questão financeira não vultosa e as exigências aos padrões ambientais à proximidade com o mercado consumidor. É uma solução de curto prazo para a carência na oferta energética, evitando as longas linhas de transmissão e o seu custo elevado.

Deve-se também ressaltar que pesquisas e desenvolvimentos na área de fontes alternativas também são fundamentais, tendo em vista não só as necessidades de suprimento a pequenas cargas isoladas, cujas interligações à rede básica seriam anti-econômicas, como também a crescente necessidade de se dispor de fontes geradoras adequadas do ponto de vista de impacto ambiental. Neste particular, deve-se concentrar as atenções em energia eólica, solar e de biomassa, fontes alternativas de maiores probalidades prospectivas no momento (ELETROBRAS, 1993, p. 14).

A coordenação do planejamento setorial está, no novo modelo, sob a responsabilidade do MME, e a articulação e formulação das estratégias tecnológicas para o setor, sob a responsabilidade da Eletrobras. Através do Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL),

que é o centro de P & D do setor elétrico brasileiro, torna-se possível uma interação entre concessionárias, fornecedores, empresas de engenharia, universidades e centros de pesquisa voltados para o setor. No entanto, o sucesso da implementação de novas tecnologias e a sua viabilidade dependerão do investimento em recursos humanos e de programas de melhoria de instalações físicas.

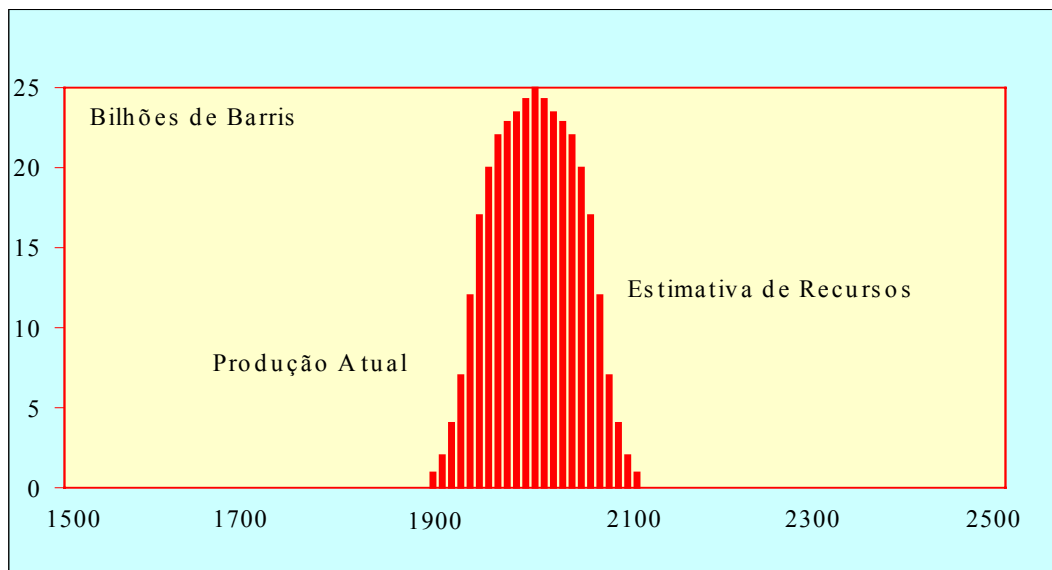
O suporte econômico-financeiro para tais parcerias deverá partir não somente do setor público, mas também do setor privado, uma vez que parte do setor elétrico foi privatizado e tende a buscar maior competitividade em suas atividades. No Brasil, atualmente, os investimentos em P & D no setor são considerados baixos se comparados com os dos países mais desenvolvidos. Tal limitação de recursos poderá comprometer uma posição de vanguarda no futuro e a garantia de um serviço de qualidade para o país, o que poderá impedir um crescimento qualitativo ordenado e otimizado, direcionado para uma política consciente traçada previamente para o futuro desejável nesse setor. Os recursos para as atividades de P & D devem ser adequados, de maneira a dar sustentação a um setor de importância estratégica em toda a nação.

### **2.2.2 Perspectivas quanto à evolução tecnológica no setor**

Prescrever o futuro em qualquer área não é tarefa fácil. Corre-se o risco de errar bastante. No entanto, diante das pesquisas realizadas na área energética, muito já se pode dizer sobre o caminho energético que percorrerão os países neste século XXI. As principais tendências tecnológicas, econômicas, sociais e ambientais sugerem uma transição energética global já no início do século.

Embora o futuro permaneça, como sempre, nada previsível, as diretrizes gerais de um novo sistema energético podem estar agora se delineando, graças em parte a uma série de novas tecnologias e abordagens revolucionárias. Estes desenvolvimentos sugerem que nossa economia energética futura pode ser altamente eficiente e descentralizada, com o uso de uma diversidade de equipamentos eletrônicos sofisticados. Os recursos principais para este sistema podem ser os mais abundantes na Terra: o sol, o vento e outras fontes “renováveis” de energia. E o principal combustível para a economia deste século XXI pode ser o hidrogênio, o mais leve e mais abundante elemento no universo (Flavin & Dunn, 1999, p. 24).

As transições energéticas de um século a outro não são obras do acaso. São motivadas por mudanças tecnológicas e por forças sociais, econômicas e ambientais. O entendimento do relacionamento entre essas forças facilitará a compreensão do caminho a ser seguido nas próximas décadas. A substituição do carvão e suas formas de uso, do século XVII até o início do século XX, por novos combustíveis fósseis no século XX foi marcada pela mudança de uma dependência de um estoque finito de recursos fossilizados para outro, que também tende a acabar em breve.



**Figura 4** – Produção mundial de petróleo e recursos estimados – 1500-2500  
 Fonte: Flavin & Dunn (1999, p. 26).

A Figura 4 mostra a evolução da produção e dos recursos estimados de petróleo no mundo. Constata-se que a limitação dos combustíveis fósseis tende a levar o mundo a abandonar pouco a pouco o seu uso. Veja-se o que dizem Flavin & Dunn (1999, p. 25):

O petróleo é a fonte de energia mais importante atualmente, responsável por 30 por cento do uso comercial; o gás natural desenvolveu-se como uma alternativa ambientalmente indicada em muitos usos, e tem uma participação de 23 por cento; o carvão tem mantido a posição chave na geração de energia, e mantém uma participação de 23 por cento do uso total de energia. Ambos, o gás natural e o carvão, estão disponíveis em quantidades suficientes até o fim do século XXI ou além – mas o petróleo não.

Assim, as fontes renováveis apresentam-se como uma forte opção para substituí-lo. De acordo com Anderson (1996), essas fontes de energia apresentam algumas características atraentes, a saber:

- potencial para desenvolvimento – as novas tecnologias representam um novo campo, sendo, portanto, um solo fértil em inovações e descobertas, contexto no qual os custos

tendem a declinar, o mercado está em franco crescimento com desenvolvimento de pesquisas;

- modularidade – as novas tecnologias podem ser redesenhadas para utilização em pequena ou em grande escala de produção;
- gestação curta – a instalação é rápida, podendo levar meses em vez de anos;
- exigência de pouca terra – à exceção da biomassa, o atendimento às exigências de energia presentes e futuras pode ser provido pelas tecnologias em desenvolvimento, tendo a energia solar que usar apenas 5% da terra que hoje é usada pela agricultura e sendo as áreas sem utilidade os melhores locais para a implantação de tais tecnologias.

As diversas opções em energia renovável e suas possibilidades de armazenagem elétrica, cinética, térmica, hidráulica e de ar comprimido, têm sido pesquisadas e é sabido que funcionam com êxito.

... desenvolvimentos da energia solar e das tecnologias de armazenagem correlatas encerram muitas promessas comerciais. Mas resta o fato de que a maior parte da demanda mundial de energia terá de ser atendida por combustíveis fósseis por mais alguns anos. Antes de a energia renovável se tornar a fonte primária de energia – por razões ambientais ou comerciais, ou por ambas –, a transição levará décadas. Nesse intervalo, é da maior importância a opção por maneiras mais eficientes e pouco poluentes do uso dos combustíveis fósseis (Anderson, 1996, p. 13).

O século XX assistiu ao reaparecimento de uma antiga fonte de energia: o vento. Ela ressurgiu na década de 1970 através da pesquisa em geração por engenheiros dinamarqueses. A célula solar fotovoltaica, apesar de amplamente utilizada em satélites e aparelhos eletrônicos, ainda precisará ter seu custo reduzido para tornar-se competitiva na geração elétrica. Já as células combustíveis<sup>33</sup> utilizam um processo eletroquímico numa combinação de hidrogênio e oxigênio, resultando na produção de água e eletricidade.<sup>34</sup> Essa forma de geração de energia elétrica, segundo Flavin & Dunn (1999, p. 30), é “quase tão econômica em pequena escala, como em grande escala”.

A definição do futuro energético mundial é imprescindível e as novas tecnologias que surgem podem assumir papéis relevantes nessa transição em direção a um novo padrão energético mundial, baseado nas fontes primárias existentes e abundantes. A não-configuração deste novo padrão, antes do acontecimento de colapsos energéticos, evidenciará

---

<sup>33</sup> A célula combustível foi descoberta primeiramente em 1829, cinco décadas antes do motor de combustão interna. Saiba mais em Flavin & Dunn (1999).

<sup>34</sup> Esses processos de geração de energia elétrica serão descritos tecnicamente no Capítulo 3 deste estudo.

a vulnerabilidade dos aparelhos e modernos equipamentos informatizados, em casos de interrupção do fornecimento ou cortes provisórios de energia.

Pode-se dizer que o ritmo e o direcionamento desse período mundial de transição na definição de um novo padrão energético serão determinados pelos avanços tecnológicos nessa área e também pelo respaldo das indústrias, dos governos e da sociedade envolvida no processo de implantação das novas tecnologias já disponíveis. A mudança envolverá a abertura de novas áreas de comercialização de energia, dando espaço também para a produção de uma nova geração de engenheiros e empreendedores, voltados para a nova realidade.

Conclui-se que é essencial um ambiente institucional propício ao setor elétrico, que apóie a reestruturação da economia energética global e que permita a continuação do progresso econômico do país. A limitação dos recursos para a produção de eletricidade é certamente preocupante, quando se percebe a vulnerabilidade do suprimento energético futuro diante das evidências do crescimento da demanda continuada. Haverá assim uma pressão crescente sobre o setor para o maior uso de fontes de energia e de fontes diferentes das tradicionais para sua geração.

Com essas preocupações, o próximo capítulo buscará mostrar o que é a matriz energética de uma nação e como é formada, a partir de fontes renováveis e não renováveis disponíveis para cada tipo de geração de energia elétrica. Serão apresentadas as opções tecnológicas conhecidas para a produção de eletricidade e as externalidades negativas que elas causam ao meio ambiente, pois o conhecimento das características de cada país e de cada região torna-se importante na escolha consciente da tecnologia a ser implantada.

## **CAPÍTULO 3**

### **OPÇÕES ENERGÉTICAS: REFORÇAMENTOS OU OBSTÁCULOS A UMA TRAJETÓRIA TECNOLÓGICA SUSTENTÁVEL?**

Este capítulo fala sobre matriz energética e sua importância para o desenvolvimento integrado e consciente de um país, considerando as oportunidades tecnológicas e os recursos existentes. Em seguida, descreve de maneira técnica as principais formas de geração de energia elétrica conhecidas mundialmente e relata seqüencialmente os danos e benefícios conhecidos resultantes do emprego de diferentes combustíveis para a produção de energia elétrica e da tecnologia a eles associada.

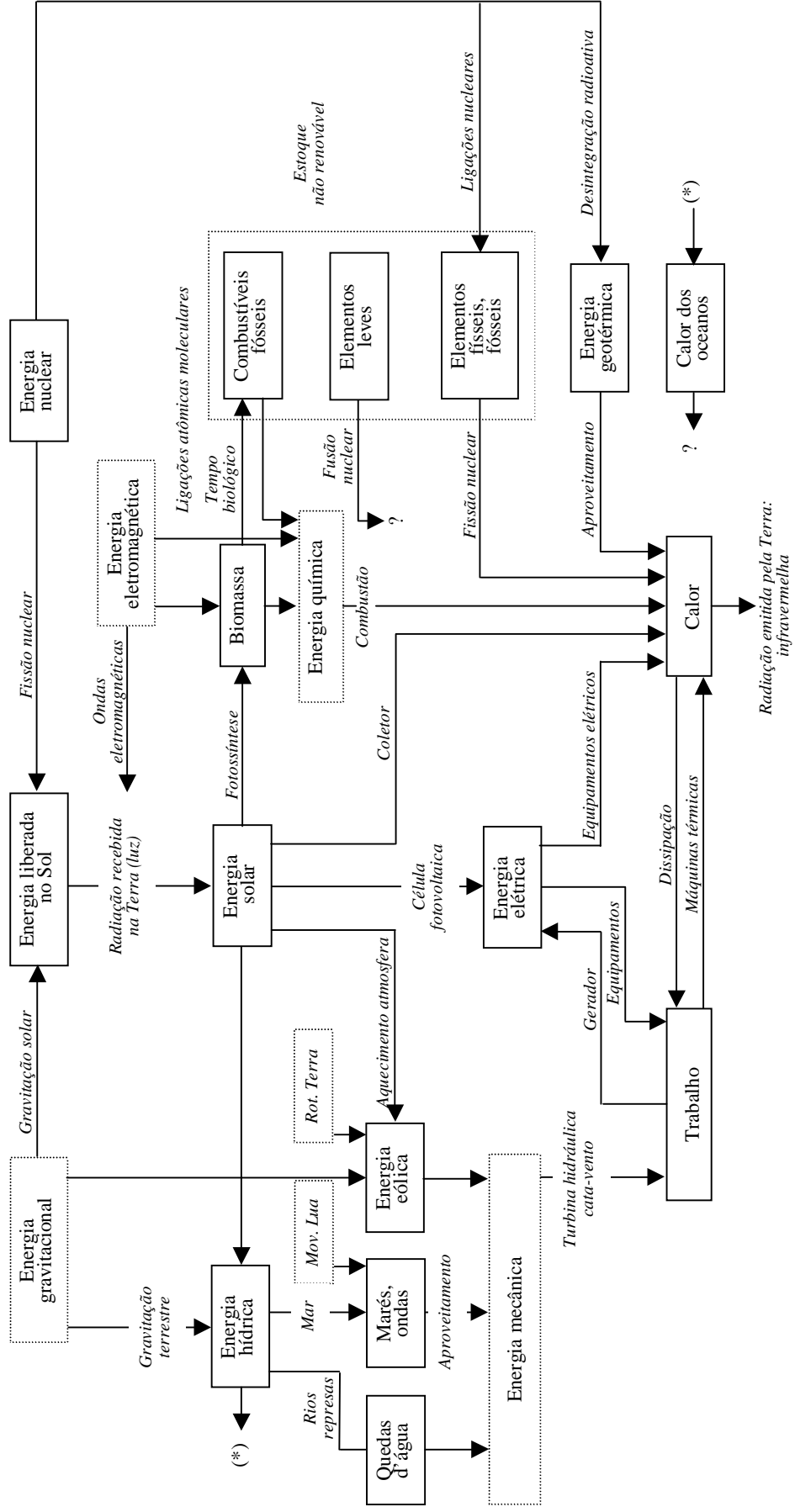
#### **3.1 MATRIZES ENERGÉTICAS E FONTES DE ENERGIA ELÉTRICA**

A matriz energética de uma nação é a demonstração da composição de toda matéria-prima utilizada na geração das diversas formas de energia. O principal objetivo da matriz energética é assegurar o suprimento de energia do país. Neste estudo, os insumos abordados da matriz energética referem-se aos usados na produção de energia elétrica.

A matéria-prima é de fundamental importância para o processo produtivo da energia, pois se constitui na fonte primária que é convertida e transformada em eletricidade. Tem um papel essencial no contexto da geração elétrica consciente, voltada para um desenvolvimento sustentável ao longo do tempo, pois configura parte dos impactos produzidos atualmente, que continuarão a ser sentidos no meio ambiente, podendo causar externalidades de ordem ambiental, socioeconômica e cultural tanto local quanto nas demais regiões do planeta.

De acordo com Reis & Silveira (2000), os principais processos de transformação que podem levar à geração de energia elétrica são:

- i) transformação de trabalho gerado por energia mecânica através do uso de turbinas hidráulicas (acionadas por quedas d'água, marés) e cata-ventos (acionados pelo vento);
- ii) transformação direta da energia solar através do uso de células fotovoltaicas;



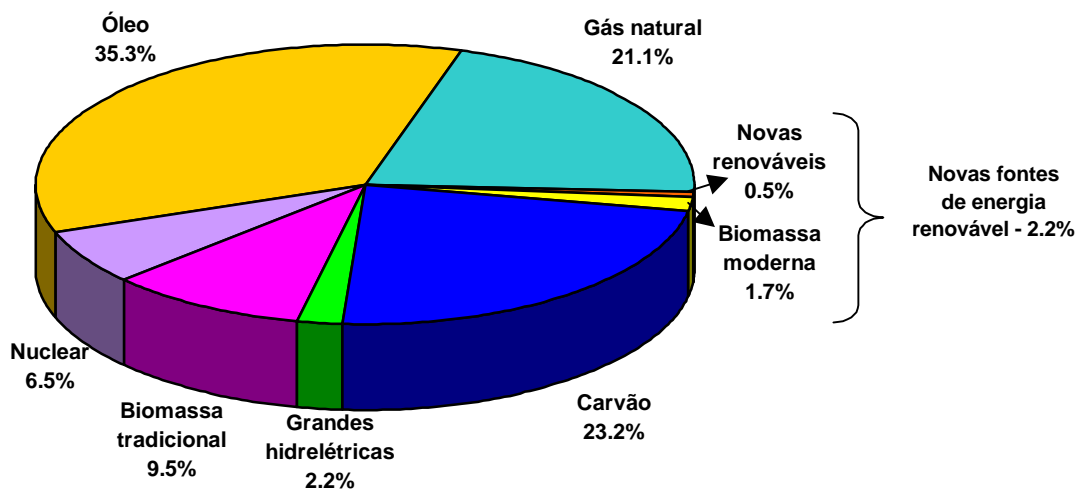
**Figura 5** – Origem das fontes de energia  
 Fonte: Reis & Silveira (2000, p. 45).

- iii) transformação de trabalho resultante da aplicação do calor do Sol, por combustão (energia química), fissão nuclear ou energia geotérmica através de máquinas térmicas; e
- iv) transformação de trabalho fruto de reações químicas através de células de combustível.

A Figura 5 mostra a origem das diferentes fontes de energia existentes na Terra e a maneira como podem ser utilizadas e transformadas em eletricidade. Com base nas matérias-primas usadas, é possível classificar essas fontes em renováveis e não renováveis.

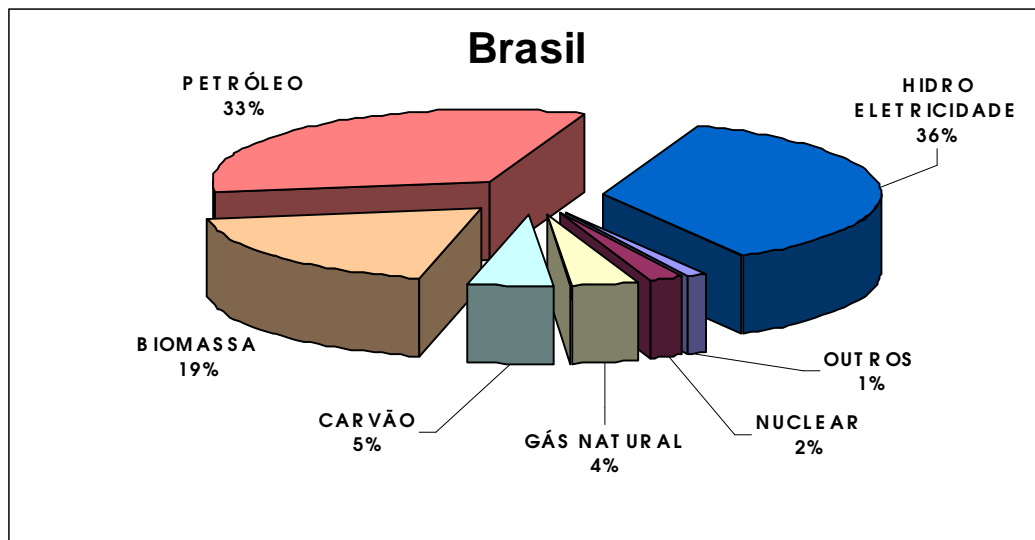
São classificadas como fontes não-renováveis aquelas possíveis de se esgotarem por serem utilizadas com velocidade bem maior que os milhares de anos necessários para sua formação [...] não são repostas pela natureza em velocidade compatível com a da sua utilização pelo ser humano [...] Fontes renováveis são aquelas cuja reposição pela natureza é bem mais rápida do que sua utilização energética, como no caso das águas dos rios, marés, sol e ventos, ou cujo manejo pode ser efetuado de forma compatível com as necessidades de sua utilização energética como no caso da biomassa – cana-de-açúcar, florestas energéticas e resíduos animais, humanos e industriais (Reis & Silveira, 2000, p. 44).

As fontes primárias renováveis são usadas para a geração de eletricidade por meio das usinas hidrelétricas (água), eólicas (vento), solar fotovoltaicas (Sol – relação direta) e centrais termelétricas (biomassa renovável e Sol – relação indireta, gerando vapor). A produção de eletricidade pelo uso de fontes primárias não renováveis é dada pela transformação de combustíveis radioativos – urânio, plutônio, tório, entre outros –, petróleo e seus derivados e energia geotérmica, via processos de combustão, de fissão ou geotérmicos.



**Figura 6** – Consumo mundial de energia primária e renovável por tipo de energia (1998)  
Fonte: Paletta (2002).

As fontes primárias de geração energética renovável são variadas, mas nem todas são usadas em larga escala mundialmente, pois suas tecnologias ainda não são produzidas em escala suficiente para torná-las competitivas e acessíveis.<sup>35</sup> Nota-se assim, pela Figura 6, que o consumo mundial de energia<sup>36</sup> provém em sua maior parte de recursos não renováveis. No Brasil, os recursos hídricos têm grande peso sobre o consumo de energia (Figura 7) e em relação à geração de eletricidade, são a fonte predominante, respondendo por cerca de 93% do parque gerador,<sup>37</sup> ao passo que no mundo respondem por apenas 2,2% (Figura 6).



**Figura 7** – Perfil do consumo de energia no Brasil (1998)

Fonte: Malufe (2001, p. 38).

Pode-se afirmar que a geração elétrica no Brasil ainda terá um perfil fortemente hidrelétrico a médio prazo. Entretanto, o perfil renovável que hoje se verifica na matriz energética do país pode ficar comprometido a longo prazo, caso as políticas para o setor não visualizem um futuro de desenvolvimento sustentável, fomentando assim a atratividade de soluções renováveis (Reis & Silveira, 2000, p. 46).

Decisões relacionadas à base do suprimento energético da nação devem vir de avaliações profundas de todas as fontes primárias disponíveis para geração, de seus pontos fortes e fracos, e obedecer a princípios de ordem econômica, de dependência energética,

<sup>35</sup> Este assunto será abordado no Capítulo 4 desta dissertação.

<sup>36</sup> As figuras de consumo de energia não separam o que se refere à eletricidade e à energia mecânica.

<sup>37</sup> Saiba mais no Plano Decenal de Expansão 2001/2010 (Brasil, 2001).

social, ambiental e de eficiência, comprometidos com a sustentabilidade de seu fornecimento e desenvolvimento.

Para melhor compreensão dos processos de geração da eletricidade, eles serão relatados técnica e brevemente, a seguir, abordando-se os problemas ambientais ligados a suas tecnologias e insumos. Os diversos tipos de geração foram separados a partir da nomenclatura usualmente empregada, e de acordo com a tecnologia e matéria-prima utilizadas, diante de suas possibilidades de renovação.

## 3.2 PRINCIPAIS FORMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E SEUS RESPECTIVOS ASPECTOS AMBIENTAIS

### 3.2.1 Geração a partir de fontes primárias renováveis

#### 3.2.1.1 Geração hidrelétrica

Na geração de energia hidrelétrica, o insumo é a água. Normalmente, essa geração parte de uma central hidrelétrica, que depende da vazão de água usada para produzir a energia mecânica que aciona o gerador elétrico. “O gerador elétrico tem seu rotor acionado a girar por acoplamento mecânico com a turbina e transforma energia mecânica em elétrica devido às interações eletromagnéticas ocorridas em seu interior...” (Reis & Silveira, 2000, p. 68).

Esse mecanismo é conhecido como vazão turbinada, pois aciona a turbina que transmitirá energia ao gerador. A vazão turbinada está ligada ao aproveitamento da água nos reservatórios, que podem estar voltados apenas à produção de eletricidade, quando toda a vazão pode ser turbinada, ou conjugar num mesmo contexto irrigação, navegabilidade e geração de energia elétrica, esta última compreendendo somente parte da vazão regularizada total.

Os principais componentes de uma central hidrelétrica são barragens, vertedores, comportas, tomada de água, condutos, chaminés de equilíbrio ou câmaras de descarga e casa de força.<sup>38</sup>

As usinas hidrelétricas podem ser a fio d’água, cuja capacidade de armazenamento se dá em função da vazão natural do curso d’água (a água pode ser represada durante algum tempo para ser usada em horários de “pico” diários); com reservatório de acumulação, com tamanho e capacidade suficientes para armazenar água em épocas de cheias a fim de usá-la

---

<sup>38</sup> Para maiores detalhes, ver Reis & Silveira (2000), capítulo 2.

em épocas de estiagem (a vazão firme pode ser superior à vazão mínima natural); e reversíveis, usadas para produzir energia nos horários de “pico” do sistema, bombeando água de um represamento para o reservatório nos períodos de carga pequena do sistema.

Esse tipo de geração de eletricidade era considerado até pouco tempo como um dos mais limpos e menos impactantes em relação ao meio ambiente. Recentemente, as hidrelétricas têm sido questionadas em face da produção das seguintes externalidades ambientais: alteração na fauna e flora local; destruição da biodiversidade das áreas submersas e do meio ambiente das regiões que ocupam; emissão de gás metano (CH<sub>4</sub>), que contribui para o aquecimento global; e também da produção de externalidades sociais: deslocamento de populações inteiras; e destruição de áreas de subsistência (terras aráveis, florestas, pastos).

No Brasil, ainda há um grande potencial hídrico a ser explorado<sup>39</sup>, mesmo que as fontes estejam localizadas distantes das áreas de maior crescimento da demanda. As pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) poderão suprir demandas locais, pois são de menor potência<sup>40</sup> e ambientalmente menos impactantes.

O maior desafio para continuar a construção de hidrelétricas é analisar os erros do passado e avaliar se os projetos de novas hidrelétricas devem ser abandonados ou refeitos, dentro de novos parâmetros. As questões que devem permear as decisões da nação para um melhor aproveitamento energético são o potencial a ser explorado, um planejamento energético consciente e aberto a debates das partes envolvidas e a eficiência e a necessidade do uso de fontes renováveis de energia, diante das alternativas existentes e do crescimento contínuo da demanda. Benefícios socioeconômicos também podem ser criados e trazidos à região envolvida no projeto, sobretudo se este estiver inserido no contexto de políticas regionais de desenvolvimento.

### **3.2.1.2 Geração eólica**

O combustível principal neste caso é o vento, ou seja, o movimento do ar na atmosfera terrestre, estando, pois, condicionado a fatores, como o clima da superfície da Terra em diferentes pontos, a rotação da Terra, a topografia local e o caminho percorrido por ele.

Através de medidas de frequência das velocidades do vento, obtém-se uma curva de energia disponível (potência média bruta ou fluxo de potência eólica). A partir desses dados constroem-se mapas cartográficos, indicando as alterações do fluxo do vento, para depois

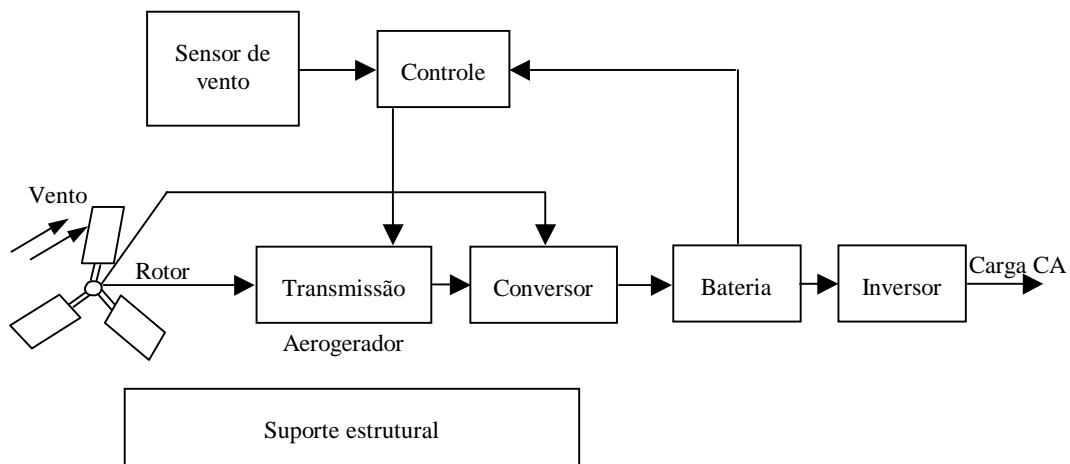
---

<sup>39</sup> Conforme Tabela 4 do Capítulo 2.

<sup>40</sup> Até 30 MW.

verificar a velocidade média e estimar a energia a ser gerada. Os aerogeradores usados para esse tipo de geração de eletricidade necessitam de determinada velocidade do vento para dar a partida e girar, e de outra velocidade, para parar. Assim, o mapeamento da frequência de ventos fortes, fracos e calmaria é imprescindível para se mensurar a dimensão correta do sistema de armazenamento, pois o mais importante nessa forma de geração de energia é a relação entre o vento médio e o máximo.

Observando a Figura 8, pode-se dizer que um sistema eólico autônomo é constituído dos principais componentes: rotor, transmissão, controle, conversor, sistema de armazenamento (bateria) e suporte estrutural.<sup>41</sup>



**Figura 8** – Diagrama de bloco de um sistema eólico  
Fonte: Reis & Silveira (2000, p. 110).

As turbinas eólicas são fabricadas com tamanhos e aplicações variadas. Seu primeiro impacto evidente é na mudança da paisagem, mas existem outros, como no uso da terra, na proteção das aves e na poluição sonora tão questionados pela sociedade.

O envolvimento ativo e direto dos consumidores na utilização das turbinas eólicas tende a aumentar a aceitação dos impactos paisagísticos, como demonstra a experiência dinamarquesa. Entretanto, o nível de importância desses assuntos varia de país para país, dependendo da topografia, das densidades e dos usos da terra nas áreas atrativas para instalação de turbinas eólicas (Thomsen, 1994, citado por Reis & Silveira, 2000, p. 114).

Contudo, há fatores positivos que envolvem esse tipo de geração: ser possível a associação de fazendeiros para produção de eletricidade em suas terras, juntamente com

<sup>41</sup> Para maiores detalhes, ver Reis & Silveira (2000), capítulo 2.

outras culturas, e a criação de cooperativas na produção de eletricidade, levando renda extra para as comunidades.

O Brasil apresenta condições de vento<sup>42</sup> muito favoráveis à exploração, sobretudo no Nordeste. No ano de 2001, a ANEEL autorizou projetos da ordem de 3.020 MW, e até 2003 serão implantados 1.050 MW de centrais eólicas no país.<sup>43</sup> No mundo, a energia eólica tem sido desenvolvida por muitos países, principalmente EUA e Dinamarca. Os custos da eletricidade produzida têm caído na última década, fruto da aprendizagem organizacional, e tenderão a se reduzir ainda mais em virtude das melhorias técnicas adicionais.<sup>44</sup>

### 3.2.1.3 Geração solar

Energia solar é a energia transmitida pelo Sol à Terra. Pode ser dividida em:

- a) sistemas termossolares (heliotérmicos), nos quais a energia solar produz o vapor que acionará uma termelétrica a vapor (esse processo será descrito no item 3.2.1.4.2);
- b) sistemas fotovoltaicos autônomos (FV), que transformam diretamente a energia solar em energia elétrica.

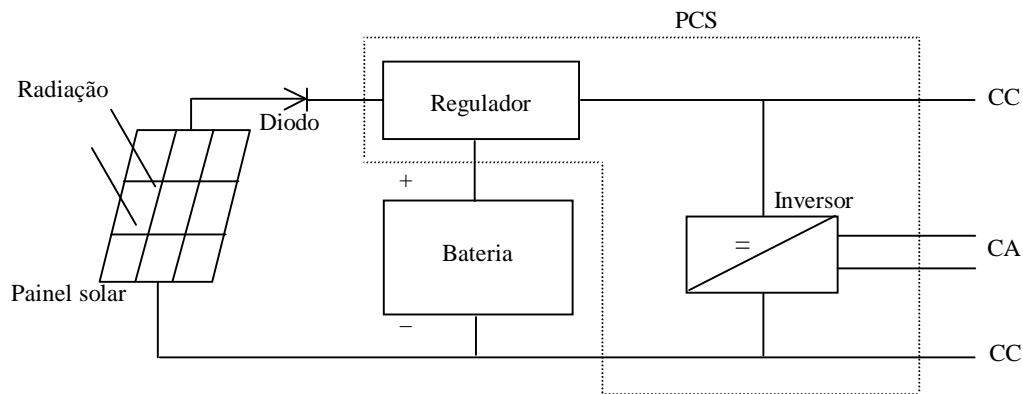
O aproveitamento da energia solar é fundamental para fazer funcionar sistemas fotovoltaicos (FV) autônomos dependentes da radiação solar que deverá incidir no sistema de geração de eletricidade. A radiação eletromagnética do Sol sofre reflexões, dispersões e absorções ao longo do percurso até o solo, estando assim condicionada às flutuações climáticas, à topografia, às estações do ano (eixo de rotação do Sol) e à latitude e à longitude da região a ser analisada para uso. Os levantamentos de dados solarimétricos podem basear-se e ser coletados em um dia, necessitando de observação durante longos períodos de tempo para fornecer estimativas e previsões do recurso solar que servirá de parâmetro.

---

<sup>42</sup> O Ministério de Minas e Energia e a Eletrobras estão lançando o “Atlas do Potencial Eólico Brasileiro”, o único documento que possui um levantamento global do potencial eólico nacional.

<sup>43</sup> Para maiores detalhes dos projetos e sua localização, veja Plano Decenal de Expansão 2001/2010 (Brasil, 2001), capítulo 3.

<sup>44</sup> Saiba mais a este respeito em Goldemberg (2001).



**Figura 9** – Diagrama de bloco de um sistema solar fotovoltaico (FV)  
 Fonte: Reis & Silveira (2000, p. 100).

A Figura 9 mostra os componentes de um sistema solar fotovoltaico: conjunto de módulos fotovoltaicos, sistema para armazenamento de energia, regulador de tensão e inversor de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA)<sup>45</sup> – os dois últimos compondo o Subsistema Condicionador de Potência (PCS).

O conjunto de módulos fotovoltaicos é o dispositivo gerador, chamado de painel solar, constituindo-se em células fotovoltaicas interligadas e conectadas. Podem-se usar dispositivos para rastrear e orientar o painel solar, segundo o movimento do Sol, com o intuito de aumentar a energia gerada no painel. Em relação ao material utilizado na confecção das células, o silício é o mais empregado, apesar de outros materiais estarem sendo pesquisados.

As células fotovoltaicas são modulares e têm uma vida útil de aproximadamente 20 anos. As baterias, no entanto, precisam ser trocadas após alguns anos. Assim, os problemas ambientais relacionados a essa forma de geração elétrica são os materiais danosos usados na fabricação desses módulos e baterias, que voltam à natureza ao serem trocados ou repostos, poluindo o meio ambiente, o que pode ser amenizado com a redução do uso de materiais no processo de fabricação e/ou reciclagem. Outra questão é o impacto ambiental pela perda do espaço usado pelo sistema, que poderia ser ocupado para outras atividades.

Contudo, uma central solar não muda o equilíbrio térmico com a área que ocupa ou com a absorção solar. Mesmo sendo considerada como uma das que menos impactam ambientalmente, essa energia ainda é pouco usada. Mundialmente, essa tecnologia tem tido

<sup>45</sup> Para maiores detalhes, ver Reis & Silveira (2001), capítulo 2.

crescente penetração<sup>46</sup> e, no Brasil, os primeiros projetos foram instalados com doações internacionais. Todavia, devido ao sucesso dessa aplicação, o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM) elaborou um projeto mais amplo, porém ainda inexpressivo, se comparado ao de alguns países europeus e asiáticos. A tendência é de que essa fonte de energia aumente no país, pois a maior parte de sua área está situada na região tropical, representando um grande potencial para o aproveitamento do Sol.<sup>47</sup>

#### 3.2.1.4 Geração termelétrica

A geração termelétrica apresenta uma grande diversidade de uso tecnológico em função dos combustíveis utilizados no processo, que podem ser subdivididos em recursos energéticos primários renováveis e não renováveis. Os combustíveis fósseis e nucleares são tidos como fontes não renováveis, e a biomassa e o Sol, como fontes renováveis.

As centrais termelétricas envolvem o processo de conversão de energia térmica em energia mecânica que, em seguida, é convertida em energia elétrica.

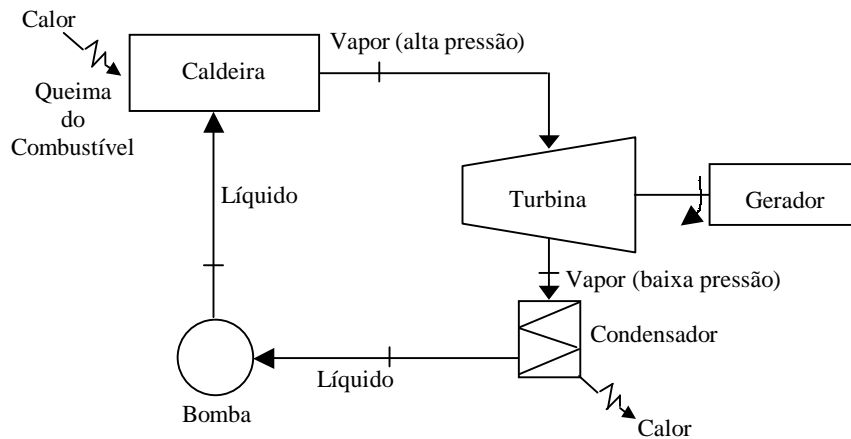
A produção da energia térmica pode se dar pela transformação da energia química dos combustíveis através do processo da combustão, ou da energia nuclear dos combustíveis radioativos através da fissão nuclear. As centrais onde a geração é baseada na combustão são conhecidas como termelétricas, e as outras são conhecidas como centrais nucleares (Reis & Silveira, 2000, p. 76).

As centrais termelétricas são classificadas pelo método de combustão utilizado:

- Combustão externa: processo em que o combustível aquece o fluido de trabalho sem entrar em contato com ele. O fluido normalmente usado é a água que, aquecida, gera vapor, produzindo trabalho mecânico em sua expansão. Esse método é utilizado nas centrais termelétricas a vapor.
- Combustão interna: processo em que a combustão é efetuada através de uma mistura de ar e combustível. O fluido do trabalho será o resultado dos produtos dessa combustão. É usado nas turbinas a gás e nas máquinas térmicas a pistão, caso dos motores a diesel.

<sup>46</sup> Na Comunidade Européia, é prevista para o ano de 2010 a instalação de cerca de 100 milhões de m<sup>2</sup> de coletores térmicos; e países industrializados, como Estados Unidos, Alemanha e Japão, têm implementado programas governamentais para incentivar essa aplicação. Saiba mais no Plano Decenal de Expansão 2001/2010 (Brasil, 2001).

<sup>47</sup> Para maiores detalhes, veja Plano Decenal de Expansão 2001/2010 (Brasil, 2001), capítulo 3.



**Figura 10** – Central termelétrica com combustão externa (a vapor)  
 Fonte: Reis & Silveira (2000, p. 77).

A Figura 10 mostra um esquema simplificado de uma central termelétrica a vapor (combustão externa). O combustível é queimado, gera calor, transformando o líquido em vapor na caldeira. O vapor expande-se, gerando energia quando se reduz a pressão na turbina. Esse vapor é direcionado ao condensador para se retirar calor e obter um líquido. O líquido é então bombeado de volta à caldeira, fechando o ciclo. O processo é contínuo.

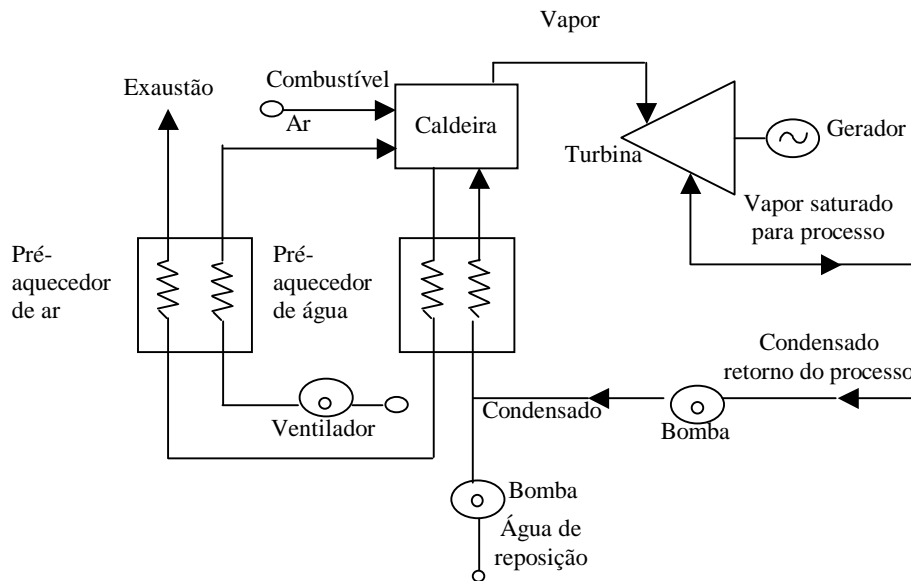
Os combustíveis usualmente aplicados nas centrais a vapor são o óleo, o carvão, a biomassa (madeira, bagaço de cana, lixo etc.) e os derivados pesados de petróleo. Os principais combustíveis usados nas máquinas térmicas a gás são o gás natural e o óleo diesel... (Reis & Silveira, 2000, p. 77).

As centrais termelétricas também são usadas para produzir eletricidade e vapor num processo chamado de sistema de cogeração. Visando a uma maior eficiência energética e ao atendimento às questões ambientais, tecnologias mais recentes têm buscado combinar centrais a gás e a vapor (gaseificação), como será visto no item 3.2.1.4.3.

A seguir, serão descritos os processos de produção de termelétrica a partir de fontes primárias renováveis. A geração de termelétrica a partir de fontes não renováveis será vista no item 3.2.2. Ao final de cada descrição, serão relatados os impactos ambientais da utilização de cada combustível.

#### 3.2.1.4.1 Centrais a vapor – não nucleares

Nesta termelétrica, pode-se trabalhar com ciclo aberto ou com ciclo fechado. O ciclo aberto é empregado, utilizando-se o calor no processo. O ciclo fechado permite trabalhar com um ou mais de um fluido de trabalho, caso em que se opera com ciclos superpostos.



**Figura 11** – Turbina a vapor para cogeração de calor e eletricidade usando biomassa  
Fonte: Reis & Silveira (2000, p. 83).

A Figura 11 configura uma central a vapor onde há cogeração - de calor e de eletricidade -, a partir do uso da biomassa, um combustível renovável. Sendo uma termelétrica, o processo de transformação de energia é o mesmo descrito anteriormente.

#### 3.2.1.4.2 Geração termossolar (heliotérmica)

Este processo de geração termelétrica converte a energia solar em energia térmica, e esta, em energia elétrica. Para realizar o processo de conversão são necessários 4 sistemas: coletor, receptor, transporte-armazenamento e conversão elétrica.<sup>48</sup> Os dois tipos básicos de captação e conversão de radiação solar em eletricidade para um sistema termossolar são a conversão heliotérmica (campo de heliostatos) de receptor central – torres de potência – e a distribuição de conversão heliotérmica.

No Brasil, tem sido desenvolvido o projeto GeraHélio, com o objetivo de estabelecer uma base tecnológica para que as concessionárias de eletricidade nacionais possam desenvolver opções de produção de energia a partir desse processo.<sup>49</sup> No mundo, essa tecnologia ainda é pouco usada, mas acredita-se que economias de escala e P & D

<sup>48</sup> Saiba mais em Reis & Silveira (2000), capítulo 2.

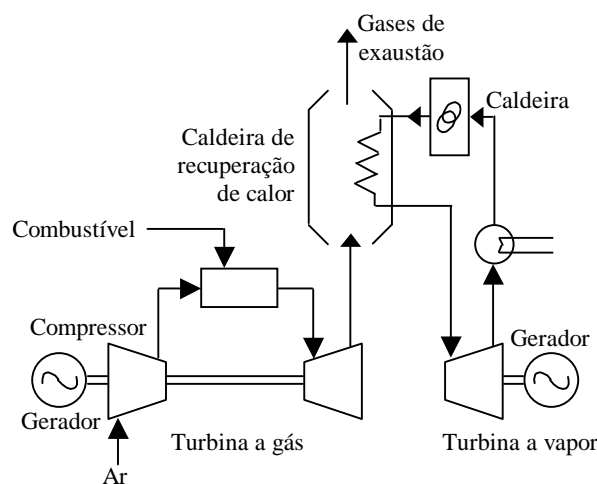
<sup>49</sup> Saiba mais em Plano Decenal de Expansão 2001/2010 (Brasil, 2001), capítulo 3.

continuados poderão melhorar sua competitividade. Uma grande usina já funciona na Califórnia com o potencial de 300 MW.<sup>50</sup>

### 3.2.1.4.3 Termelétricas com sistema de ciclo combinado - gaseificação

Os ciclos combinados, com turbinas a gás e a vapor, como relatados anteriormente, têm sido mais utilizados em função da busca de maior eficiência energética e de melhor desempenho de recursos ambientais. Essa técnica, chamada de *Biomass Integrated Gaseification/Gas Turbine* (BIG/GT), permite reduzir o consumo de combustível, diminuindo assim as emissões de dióxido de carbono, o CO<sub>2</sub>.

Nessa geração, as perdas totais causadas por um sistema termelétrico convencional a vapor são reduzidas. Por exemplo, o vapor de exaustão das turbinas de condensação, que gera calor, é quase todo dissipado nas torres de resfriamento, representando perda de grande parte da energia térmica, em função da temperatura do sistema. Visando utilizar essa energia perdida, verificou-se que é possível aumentar a temperatura ou usar turbinas a gás nesta parte do processo, podendo-se com isso recuperar a quantidade de calor perdida, num processo de cogeração. O processo da gaseificação pode empregar os combustíveis biomassa e também o carvão mineral, que é mais poluente e possui mais enxofre e cinzas do que a biomassa, que é considerada um combustível renovável. A Figura 12 ilustra este processo.



**Figura 12** – Ciclo combinado – diagrama simplificado  
Fonte: Reis & Silveira (2000, p. 88).

<sup>50</sup> Veja Goldemberg (2001).

A biomassa, usada como combustível nessa geração, é uma das fontes de energia mais antigas da humanidade e continua sendo utilizada largamente pelos países em desenvolvimento e também retomada por alguns países desenvolvidos. Pode ser utilizada através da energia solar, por meio da fotossíntese, como também no processo de gaseificação, do qual se extrai o biogás (metano proveniente da cana-de-açúcar), a partir da decomposição dos resíduos vegetais, que será queimado e utilizado como combustível para uma turbina a gás. Observa-se então seu uso em técnicas de combustão e gaseificação, a serem empregadas em geração termelétrica e cogeração.

... com o uso de biomassa é possível reduzir a zero os problemas decorrentes da emissão de gás carbônico, pois ela “seqüestra” o CO<sub>2</sub> da atmosfera. Todo o gás carbônico liberado com a queima do bagaço de cana (biomassa) é novamente absorvido com a fixação do carbono no processo da fotossíntese. Na verdade, na produção de energia a partir de biomassa, “seqüestra-se” mais CO<sub>2</sub> do que é emitido. Assim, a utilização de biomassa como combustível ajuda a retirar CO<sub>2</sub> emitido por outras fontes que utilizem combustíveis fósseis (André, 2001, p. 32).

Contudo, uma usina de cogeração movida a biomassa necessita de investimentos em cuidados ambientais, pois pode ser poluente se não for bem planejada e executada, podendo gerar emissões de óxidos de nitrogênio e material particulado, e requer investimentos em equipamentos de controle para uso em um processo realmente limpo.

Seu aspecto positivo consiste em combinar, de forma consciente, o benefício social com o desenvolvimento das populações locais e regionais, gerando empregos, principalmente de caráter rural, além de poder beneficiar o meio ambiente com o seqüestro do CO<sub>2</sub>.

No Brasil, o projeto *Brazilian Wood Big-GT Demonstration Project/Sistema Integrado de Gaseificação da Madeira para Geração de Eletricidade (WBP/SIGAME)* para utilização dessa tecnologia foi iniciado em meados de 1991 e sua implementação se dará na Bahia (Mucuri), com potencial previsto de 32 MW. Conta com recursos de entidades internacionais e nacionais, sendo o maior projeto em construção no mundo.<sup>51</sup> O desenvolvimento dessa tecnologia tende a ser promissor devido à possibilidade de aproveitamento da madeira e de resíduos agrícolas provenientes de “fazendas” energéticas, sobretudo nos países em desenvolvimento, gerando desenvolvimento rural, emprego, e abrindo mercados para as tecnologias produzidas por empresas multinacionais nesses países.<sup>52</sup>

---

<sup>51</sup> Veja Plano Decenal de Expansão 2001/2010 (Brasil, 2001), capítulo 3.

<sup>52</sup> Para mais detalhes, ver Goldemberg (2001).

#### **3.2.1.4.4 Geotérmica**

Esta energia vem do calor proveniente das profundezas da crosta terrestre. Sua exploração fica restrita à profundidade máxima de cinco quilômetros. A temperatura da crosta aumenta a uma taxa média de 30 a 35 graus por quilômetro, e esse é o gradiente térmico para a profundidade a ser explorada.

A energia geotérmica usada para a geração de energia elétrica também é considerada uma termelétrica. Necessita de altas temperaturas para produzir calor, podendo ser convertida em energia das seguintes formas:

- Energia hidrotérmica – proveniente de reservatórios de água quente ou de vapor localizados entre rochas e sedimentos da crosta terrestre. O vapor quente é aproveitado por meio de um tubo inserido numa cavidade construída para esse fim. Após se filtrarem as partículas sólidas presentes no vapor, ele é direcionado para movimentar as pás de uma turbina conectada a um gerador, produzindo a eletricidade. O vapor produzido pela água quente separa-se dela e é usado para acionar a turbina. A água, por sua vez, pode ser usada para aquecer um outro líquido que, transformado em vapor (gás), aciona a turbina, enquanto a água volta à terra (ciclo binário).
- Rocha quente e seca – a tecnologia permite perfurar um poço profundo no qual é injetada água para ser retirada, já aquecida, de outro poço, que funciona como retorno. A água aquecida levada à superfície gera eletricidade numa planta geotérmica de potência.
- Reservatórios geopressurizados – reservatórios subterrâneos que possuem uma mistura de água e metano (gás natural) sob pressão elevada, encontrada em rochas sedimentares.
- Magma – seu calor pode ser extraído para ser trocado, após se injetar água por uma cavidade. Pode ser aproveitado num ciclo de Rankine (ciclo que gera vapor) que, transformado, gera eletricidade.

A limitação no uso dessas tecnologias é econômica. Assim, apenas parte do calor natural produzido é extraído da crosta terrestre. A energia geotérmica não pode ser produzida no Brasil, porque o país não apresenta as características necessárias à sua geração.

#### **3.2.1.4.5 Energia dos oceanos**

O planeta Terra é formado por 71% de oceanos. A energia aí contida é proveniente das marés, das ondas, do gradiente térmico, da salinidade, das correntes e da biomassa marítima.

A energia das marés provém do enchimento e do esvaziamento de baías e estuários, em função da atração gravitacional que a Lua exerce sobre a Terra. Na maré cheia, a água

sobe de nível e pode ser usada para a geração de eletricidade. O aproveitamento das marés dá-se pela construção de uma barragem num estuário, equipada com comportas que permitem a entrada de água na baía. A energia elétrica é produzida por meio de turbinas axiais de diâmetros variados, que podem atingir até 9 metros.

A energia das ondas é decorrente da maior ou menor intensidade da interação dos ventos<sup>53</sup> com a superfície do mar (energia cinética) e da velocidade da água deslocada do nível médio do mar (energia potencial). A altura e o período das ondas, bem como sua duração e intensidade, condicionam os níveis de energia gerados. Os fatores que interferem na formação das ondas são os fenômenos das marés, as diferenças da pressão atmosférica, os abalos sísmicos, a salinidade e a temperatura da água.

Os efeitos negativos relacionados ao meio ambiente dizem respeito ao regime hidrodinâmico, que é afetado quando da construção de barragens, e pode interferir no alcance das marés e das correntes, influenciando a qualidade da água, a composição e o movimento dos sedimentos usados na cadeia alimentar das aves, peixes e invertebrados. Os equipamentos usados nessa geração de eletricidade também podem ser imperceptíveis a olho nu e a radares, devido à sua reduzida altura sobre as águas, o que compromete a navegação de embarcações pelo ambiente costeiro onde estão essas instalações. Outros problemas ambientais são o CO<sub>2</sub> presente em águas profundas do oceano, que pode ser liberado na superfície atmosférica quando bombeado e aquecido pelo condensador, apesar de ser inferior ao que é emitido pelas fontes fósseis; e as mudanças na temperatura e salinidade da água.

Os benefícios consistem em evitar a emissão de CO<sub>2</sub> em grande quantidade e a de outros gases poluentes na atmosfera e em favorecer a procriação de peixes, algas e aves aquáticas na área do aproveitamento de ondas por meio das barragens erguidas, além de proteger a costa de tempestades marítimas.

Estima-se que o potencial dessa fonte seja da ordem de 40 bilhões de MW e que, embora o fluxo de energia a ser gerado seja grande, apenas uma fração seja explorada num futuro próximo, devido à energia ser de baixa intensidade e estar disponível em locais distantes dos grandes centros de consumo.<sup>54</sup>

No próximo item, serão relatadas as diversas formas de geração a partir de fontes primárias não renováveis.

---

<sup>53</sup> Os ventos sopram com maior intensidade entre as latitudes 40° e 60° em cada hemisfério, onde se concentra a maior energia das ondas.

<sup>54</sup> Para maiores detalhes, ver Reis & Silveira (2000), capítulo 2.

## **3.2.2 Geração a partir de fontes primárias não renováveis**

### **3.2.2.1 Geração termelétrica**

A geração termelétrica foi descrita no item anterior, por se tratar de uma forma de geração elétrica ampla, que pode envolver tanto combustíveis renováveis como não renováveis. No entanto, sua descrição técnica continua aqui, em função de os combustíveis não renováveis também serem utilizados no processo de geração termelétrica.

A queima de combustíveis no processo de geração termelétrica convencional pode acarretar muitos impactos ambientais negativos. Esses impactos podem variar conforme o combustível e a tecnologia utilizados. Assim, os impactos das termelétricas dependem dos combustíveis usados no processo de conversão da energia térmica em energia elétrica. No processo de combustão, subprodutos derivados da queima de combustíveis fósseis são liberados na atmosfera. A diferença entre esse tipo de geração e o da hidrelétrica, por exemplo, é que seu impacto é de ordem global, pois esses gases, subprodutos da combustão, dissipam-se na superfície terrestre.

A produção de energia das termelétricas pode então ser separada em três categorias diferentes, quando se analisam os impactos e as características específicas, a saber: usinas convencionais, que operam com combustíveis derivados do petróleo, do carvão mineral e do gás natural; usinas nucleares e usinas a biomassa. Tais impactos serão relatados após a descrição técnica dessas formas de geração de energia, embora os impactos das usinas a biomassa já tenham sido mencionados no item 3.2.1.4.3, por se tratar de um combustível renovável, apesar de utilizado na produção termelétrica.<sup>55</sup>

#### **3.2.2.1.1- Petróleo e derivados**

O petróleo e seus derivados pesados são os combustíveis normalmente utilizados nas centrais termelétricas a vapor. Esse procedimento de produção de energia elétrica foi mostrado anteriormente, variando somente em face dos combustíveis empregados para serem queimados e produzirem o calor que gerará vapor, ao aquecer o fluido de trabalho, gerando calor e líquido, e então fechando o ciclo.

Os hidrocarbonetos usados apresentam fórmulas, em geral  $C_nH_n$ , e por destilação, liberam seus derivados. Essa é a grande diferença entre os combustíveis fósseis e a biomassa

---

<sup>55</sup> Para fins deste estudo, serão analisados apenas os impactos na geração de energia elétrica, não se enfocando os impactos na extração e no transporte de cada combustível usado para a produção de energia.

na geração termelétrica a vapor: a emissão na atmosfera de óxidos de enxofre, de nitrogênio e de carbono causam danos ambientais<sup>56</sup> e contribuem para o “efeito estufa”.

As centrais termelétricas que utilizam o petróleo emitem predominantemente os gases CO<sub>x</sub>; as que utilizam o carvão mineral emitem CO<sub>x</sub> e SO<sub>x</sub>, em função da qualidade do carvão empregado; e as que utilizam gás natural emitem CO<sub>2</sub>, porém em quantidades inferiores às emitidas pelas duas anteriores.

Os subprodutos gerados causam impactos ambientais, como rejeitos térmicos, ruídos e efeitos estéticos, e também os chamados efluentes, que podem ser:

- gasosos/aéreos: são os gases óxidos de carbono (CO e CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e alguns compostos sulfurosos (H<sub>2</sub>S, SO<sub>x</sub>), e material particulado (cinzas e partes de hidrocarbonetos que não foram queimados do combustível);
- sólidos: são as cinzas leves e pesadas, o lodo do tratamento de água (usada como fluido de trabalho) e os rejeitos da unidade geradora (por exemplo, fuligem das caldeiras, varrição da usina, sucata de equipamentos, entre outros);
- líquidos: são frutos de operações e processos ocorridos próximos às caldeiras, dos geradores/turbinas e dos tanques de armazenamento e estação de tratamento de água (ETA).

Em relação aos efluentes aéreos, o CO<sub>2</sub> é o principal produzido no mundo, decorrente dos transportes, de atividades industriais, residenciais, e também da geração de energia elétrica.<sup>57</sup> Assim, as termelétricas convencionais<sup>58</sup> causam grandes emissões de CO<sub>2</sub>, contribuindo para o aumento da concentração dos gases do efeito estufa (GEE), resultantes da queima dos combustíveis fósseis, e para o aquecimento global do planeta (Tabela 5).

**TABELA 5 - Comparativo de Emissões de CO<sub>2</sub> por Tipo de Geração – G/KWh**

Usinas a Gás	446
Usinas a Óleo	818
Usina Nuclear	4
Usinas a Carvão	955

Fonte: Plano Decenal de Expansão 2001/ 2010 (Brasil, 2001, p. 77).

Quando dissociado em água, o CO<sub>2</sub> pode ainda ser transportado e depositado, formando a chuva ácida (ácido carbônico), que altera as condições físico-químicas dos solos e

<sup>56</sup> Para mais detalhes sobre os principais problemas ambientais, ver Goldemberg (2001).

<sup>57</sup> De acordo com dados citados por Goldemberg (2001, p. 96), a produção de energia contribui 57% para o efeito estufa, o desmatamento, 9%, a agricultura, 14%, a indústria, 4%, e os gases CFCs, 17%.

<sup>58</sup> Assim chamadas por utilizarem combustíveis fósseis.

sua qualidade, diminuindo o crescimento da vegetação. O excesso de CO<sub>2</sub> pode também resultar em dificuldades respiratórias em crianças e idosos.

Os óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) podem oxidar-se, originando sulfatos e ácido sulfúrico. Seu percentual é mais elevado nas usinas a óleo combustível do que nas usinas a carvão mineral. Esses óxidos são responsáveis por problemas respiratórios e pela chuva ácida, podendo ter efeitos locais ou mesmo distantes do local de sua emissão. Resultados do processo de combustão, os óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), também em altas concentrações na atmosfera, causam problemas pulmonares, renais e cardiovasculares, redução do crescimento de plantas e queda prematura das folhas. Outro gás resultante da queima do combustível é o monóxido de carbono (CO) que, reagindo com os óxidos de nitrogênio, gera compostos oxidantes. Esse gás é constantemente monitorado, pois é muito importante para a eficiência da caldeira.

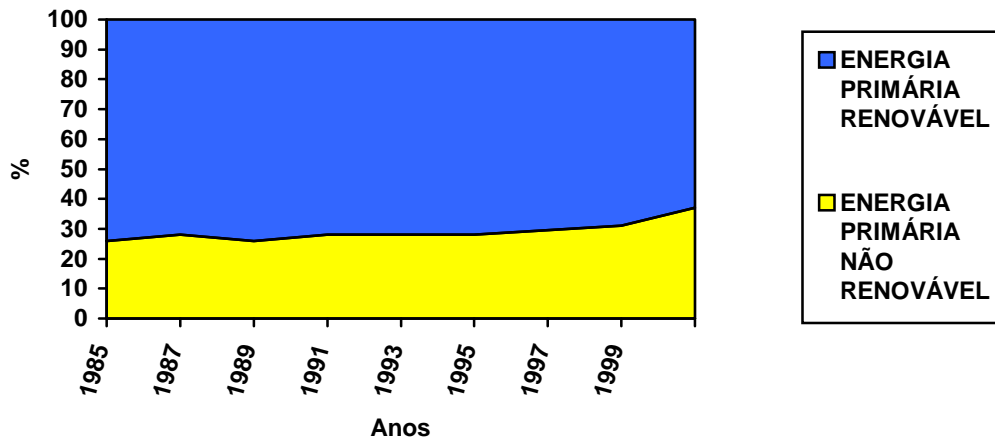
Os efluentes sólidos, chamados de material particulado, referem-se às cinzas formadas no decorrer do processo de combustão, lançadas à atmosfera. Seus efeitos são a deposição nos bens imóveis, que, pela ação do ácido sulfúrico, corroem os materiais, a diminuição da intensidade da luz e da visibilidade nas regiões presentes e a alteração no sistema respiratório de pessoas, animais, plantas e vegetais. As cinzas leves e pesadas contaminam a atmosfera, o solo e a água pela ação das chuvas e dos ventos.

Em relação aos efluentes líquidos, o lançamento de produtos químicos para o tratamento das águas e da purga das caldeiras das usinas pode causar impactos ambientais negativos sobre o solo, o lençol freático e os cursos d'água receptores dos efluentes, comprometendo a sobrevivência de espécies biológicas. Os impactos podem ser controlados através de sistemas de tratamento dos efluentes líquidos, antes de sua saída do sistema.

Objetivando a melhoria da eficiência do sistema, têm sido desenvolvidas muitas tecnologias específicas com o fim de minimizar os impactos ambientais das termelétricas e, também, reduzir o consumo de combustíveis para a mesma quantidade de energia gerada. No Brasil, as termelétricas têm características de complementaridade do parque gerador; contudo sua participação na matriz energética nacional tem aumentado,<sup>59</sup> o que merece atenção em face das externalidades potenciais a serem geradas. Veja a Figura 13, a seguir:

---

<sup>59</sup> O Capítulo 4 deste estudo abordará esse assunto.



**Figura 13** – Comparação entre energia renovável e não renovável (%)  
 Fonte: Paletta (2002).

Uma vantagem das termelétricas a ressaltar é o tempo necessário para a sua construção, que leva em média dois anos.

O petróleo é atualmente o principal componente na matriz energética mundial, com 20% dele usados na produção de eletricidade. No Brasil, seu uso está ligado ao setor de transportes, porém, uma vez que o petróleo está associado à produção nacional do gás natural, é provável que o potencial desse subproduto do petróleo seja melhor aproveitado, o que será visto a seguir.

### 3.2.2.1.2 Gás natural

Também derivado do petróleo, o gás natural é um hidrocarboneto misturado a impurezas. Em sua composição, apresenta o metano (principal componente), o etano, o propano, o butano e outros componentes mais pesados. A tecnologia dessa geração termelétrica é igual à dos derivados do petróleo.

Embora seja uma fonte não renovável, sua composição faz com que seja menos poluente do que o petróleo e o carvão mineral, principalmente com um nível de emissões de CO<sub>2</sub> bem inferior que nos outros casos [...] O gás natural alimenta aproximadamente 12,8% das termelétricas mundiais, as quais são responsáveis por menos de 3% da energia elétrica primária produzida no mundo. Embora ainda seja um montante tímido, a tendência é de aumento desse número, seja por questões ambientais ou para diminuição da dependência do petróleo e do carvão mineral (Reis & Silveira, 2000, p. 80).

A restrição à maior ampliação na utilização do gás natural deve-se ao alto custo inicial da construção de gasodutos necessários para seu transporte e uso. No Brasil, a construção de

gasodutos para interligar o país a outros países grande produtores<sup>60</sup> e também interligar cidades nacionais visa criar novas e maiores oportunidades para otimizar a exploração e comercialização desse combustível,<sup>61</sup> que ocupa hoje o terceiro lugar na matriz energética mundial.

Os impactos ambientais resultantes desse tipo de geração foram relatados no item anterior.

### **3.2.2.1.3 Centrais a diesel**

O diesel é usado em centrais termelétricas com combustão interna por meio de motores a pistão. Seu mecanismo funciona como num motor a combustão de automóvel e apresenta vantagens de fácil operação, manutenção e atendimento a populações situadas em locais longínquos. As desvantagens estão ligadas à potência, ruído e vibração. Os impactos ambientais originados desse tipo de geração foram relatados no item “petróleo e derivados”.

### **3.2.2.1.4 Carvão mineral**

O carvão mineral também é utilizado na geração termelétrica a vapor como um combustível a ser queimado para gerar vapor e mover o processo de geração elétrica. Assim como os hidrocarbonetos, o carvão mineral é altamente poluente, devido à grande quantidade de CO<sub>2</sub> lançada à superfície. “Deve-se ressaltar que 50% do consumo de carvão mineral é voltado para a geração de energia termelétrica e, portanto, a substituição desse combustível na geração elétrica pode trazer grandes vantagens ambientais” (Reis & Silveira, 2000, p. 79).

Os impactos ambientais desse tipo de geração também foram relatados no item “petróleo e derivados”.

De acordo com o Plano Decenal de Expansão 2001/2010 (Brasil, 2001), o carvão mineral é a segunda<sup>62</sup> fonte mais usada para a geração de eletricidade no mundo, responsável por cerca de 31% do total gerado em 2000, superado apenas pelos derivados do petróleo. No Brasil, sua participação em 2000 na geração de energia elétrica foi de 2,3%. Porém, diante das reservas estimadas existentes no país, sobretudo na região Sul, e com o potencial avaliado em 31,7 bilhões de toneladas, o governo instituiu o Programa de Incentivo à Utilização de Carvão

<sup>60</sup> Gasodutos Brasil-Bolívia e Argentina-Brasil. Veja mais em Plano Decenal de Expansão 2001/2010 (Brasil, 2001), capítulo 3.

<sup>61</sup> O Programa Prioritário de Termelétricidade (PTT) no Brasil envolve a construção de usinas a gás natural e será abordado no Capítulo 4 deste estudo.

<sup>62</sup> Devido principalmente ao seu baixo custo. Veja Reis & Silveira (2000), capítulo 2.

Mineral em março de 2000, com o objetivo de aumentar a participação do carvão na matriz energética nacional, empregando tecnologias de queima limpa.<sup>63</sup>

### 3.2.2.1.5 Combustíveis radioativos

A produção de energia térmica neste caso dá-se pela transformação da energia nuclear dos combustíveis radioativos através do processo de fissão nuclear (reação nuclear em cadeia), que gera o calor para o aquecimento do fluido de trabalho (água). Os combustíveis radioativos usados no processo são urânio, plutônio, tório e outros, todos classificados como não renováveis por necessitarem de um tempo elevado para sua reposição pela natureza.

A energia atômica também pode ser utilizada através de um processo conhecido como fusão nuclear, baseado não na quebra, mas na junção de núcleos atômicos. Embora a quantidade de energia liberada seja muito alta, este processo não apresenta tecnologia que permita seu aproveitamento comercial (Reis & Silveira, 2000, p. 80).

Os reatores usados nas centrais nucleares para a produção de eletricidade apresentam tecnologias diferentes:

- reatores de água leve (LWR) – tecnologia considerada a mais econômica, segura e confiável; é a mais utilizada (mais de 75% das usinas nucleares mundiais);
- reatores a água pesada (HWR) – tecnologia também considerada econômica, segura e confiável, no entanto, é utilizada em cerca de 8% das usinas mundiais em operação;
- reatores refrigerados a metal líquido (*Fast Breeder Reactors*) – tecnologia bastante atrativa, pois apresenta um atendimento superior ao dos outros dois reatores; contudo ainda não tem sido aplicada em larga escala, devido ao aumento da disponibilidade de urânio a baixo custo para o atendimento da demanda, o que torna essa técnica inviável por enquanto.

Apesar da tendência mundial em adotar a energia nuclear como mais uma opção na década de 1960, a partir da década de 1970 a discussão sobre esse tipo de usina voltou-se para a questão de acidentes<sup>64</sup> e o medo inerente à radioatividade liberada, perigosa para as populações que moram próximo aos reatores nucleares pelos altos riscos que correm, e também pelo risco constante que oferecem ao meio ambiente, que fica sujeito a desastres atômicos. Outra questão dos debates atuais é o problema de como e onde estocar os rejeitos dessas usinas. Se não forem resolvidos, esses problemas serão deixados às futuras gerações.

<sup>63</sup> Para maiores detalhes, veja Plano Decenal de Expansão 2001/2010 (Brasil, 2001), capítulo 3.

<sup>64</sup> Lembrar os desastres de Three Miles Island (EUA) e Chernobil (antiga URSS).

Entretanto, essa forma de geração de energia é considerada “limpa” por emitir pouco CO<sub>2</sub> na atmosfera (Tabela 5), e pela vantagem de poderem ser construídas usinas próximas aos centros consumidores, dispensando longas linhas de transmissão para o transporte da eletricidade. A busca pela segurança e pelo contorno dos problemas ambientais causados pelas usinas nucleares tem levado ao desenvolvimento de tecnologias voltadas para minimizar esses impactos. As novas tecnologias poderão representar, no futuro, uma retomada da confiança e o crescimento desse tipo de energia, como uma alternativa mais atraente.

No Brasil, a Usina de Angra I entrou em operação em 1982, com capacidade instalada de 657 MW, e a de Angra II, em julho de 2000, com capacidade instalada de 1.350 MW. O início de Angra III está em processo de avaliação pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE).<sup>65</sup>

### **3.2.3 Outras fontes de geração**

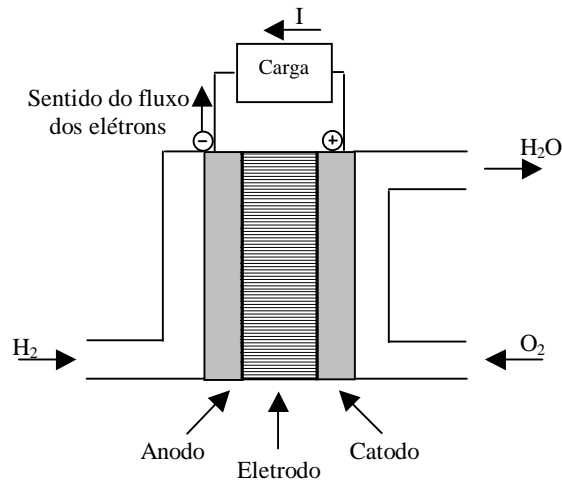
#### **3.2.3.1 Células de combustível**

Células de combustível é o nome dado a dispositivos criados para a produção de eletricidade a partir do hidrogênio. Pela Figura 14, observa-se que o combustível (normalmente o hidrogênio) supre um dos eletrodos – o anodo, para reagir eletroquimicamente com um oxidante (o oxigênio) que será suprido no outro eletrodo – o catodo. Entre esses dois eletrodos, situa-se um eletrólito que permite o fluxo dos íons positivos e negativos, induzindo assim uma corrente elétrica por meio do circuito externo.

A célula de combustível difere de uma bateria, pois não acumula energia, sendo apenas geradora de energia elétrica enquanto se mantiver o fluxo dos reagentes (hidrogênio e oxigênio). A geração de eletricidade em uma célula combustível é o inverso do fenômeno presente no processo de eletrólise. Sendo de baixa tensão, as células de combustível devem ser dispostas em grande número e em série, para que possam ser utilizadas efetivamente.

---

<sup>65</sup> Para maiores detalhes, ver Plano Decenal de Expansão 2001/2010 (Brasil, 2001).



**Figura 14** – Esquema básico de uma célula de combustível  
 Fonte: Reis & Silveira (2000, p. 122).

De acordo com as características dos eletrólitos usados, as células de combustíveis são divididas em células de ácido fosfórico, células de carbonato fundido, células de óxido sólido e células de membrana de troca catiônica. As diferentes células operam com diferentes temperaturas e com eficiência, em função do material utilizado e do aproveitamento do combustível empregado.<sup>66</sup> Essas tecnologias encontram-se em testes por empresas interessadas no negócio. No mundo, ainda muito poucas encontram-se em operação.

A tecnologia de células de combustível também pode ser usada em ciclo combinado.

O hidrogênio pode ser produzido eficientemente a partir do uso de várias fontes renováveis disponíveis, usando métodos como a eletrólise da água, no qual a energia elétrica requerida para o processo pode ser fornecida através de geração eólica, hidrelétrica, solar fotovoltaica, gaseificação da biomassa etc. A diversidade de fontes primárias irá facilitar o papel do hidrogênio como um transportador universal de energia do futuro (Reis & Silveira, 2000, p. 126).

O hidrogênio pode ser considerado o combustível do futuro por apresentar potencial de exploração e ser o menos poluidor. No processo de combustão, os gases gerados são os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), os quais podem ser reduzidos a níveis negligenciáveis com o uso de queimadores catalíticos, e o produto dessa combustão é a água. Se o hidrogênio for produzido por meio de recursos renováveis, é possível não haver geração de GEE nem de outros poluentes na produção e uso da eletricidade.

<sup>66</sup> Para maiores detalhes, veja Reis & Silveira (2000), capítulo 2.

A utilização dessa tecnologia está limitada, sendo usada apenas a bordo de naves espaciais e em alguns *shopping centers* (processo conhecido como *chillers* de absorção: absorvem o vapor em máquinas térmicas apropriadas). Assim, apesar de confiável e de ser considerada uma fonte “limpa”, essa tecnologia ainda é cara e pouco construída e usada no mundo. No Brasil, por enquanto não é adotada para a geração de eletricidade.

### 3.2.3.2 Sistemas híbridos

Estes sistemas de geração de eletricidade podem ser formados apenas por fontes renováveis ou podem conjugar fontes renováveis e não renováveis, combinando-as. As possibilidades de diferentes combinações variam com as condições climáticas e a estrutura regional, podendo ser:

- solar-diesel – combinação de energia solar fotovoltaica com algum tipo de combustível (gasolina, diesel, gás), favorecendo regiões isoladas e de difícil acesso;
- solar-eólico – combinação que visa ao aproveitamento conjunto de forma anticíclica; períodos de grande radiação solar e períodos de pouco vento (verão); assim a complementação visa a um nivelamento da oferta de energia durante o dia;
- diesel-eólico-solar – combinação de geradores a diesel com instalações de energia solar-eólica que objetiva abastecer seguramente as regiões isoladas de países em desenvolvimento;
- biogás-eólico-solar – combinação de instalações de energia solar e eólica com o aproveitamento de gases provenientes da decomposição de matéria orgânica, podendo ser usados em centrais térmicas num processo descentralizado.

O sistema de combinação de fontes diferentes visa otimizar o uso energético global e atender a localidades isoladas numa geração elétrica descentralizada, com custos menores.

As externalidades negativas geradas pelos sistemas híbridos são as mesmas causadas pelos processos utilizados em separado e envolvem não apenas a tecnologia, mas também o combustível usado a partir de fontes renováveis ou não renováveis.

Assim, com base no conhecimento das tecnologias disponíveis para a produção de energia elétrica e dos combustíveis que podem ser associados a essa geração, possibilitado pela descrição aqui realizada, pode-se saber se as opções nacionais por determinadas fontes energéticas são de fato mais impactantes, ambientalmente ou não.

Conclui-se então que as tecnologias associadas aos combustíveis de origem fóssil são as mais utilizadas no mundo e as mais poluentes e impactantes na emissão de CO<sub>2</sub> (Tabela 5) sobre o meio ambiente e a sociedade, e que essas fontes, além de serem limitadas, não são

renováveis, diante da velocidade de seu uso e consumo. Como não se consegue trocar rapidamente o “paradigma dos hidrocarbonetos” por se estar preso ao *lock-in* tecnológico, duas opções não excludentes são colocadas para a redução das externalidades ambientais causadas para a produção de eletricidade: (a) o melhoramento na eficiência das tecnologias de geração de combustíveis fósseis, buscando assim reduzir os poluentes na fonte de sua produção; (b) o aumento da participação dos combustíveis renováveis na geração de eletricidade.

Foi visto que as tecnologias têm sido melhoradas e novas estão surgindo, mesmo não sendo, por enquanto, aplicadas em larga escala. Em relação às fontes renováveis, a tendência é de que se tornem mais atrativas e competitivas no futuro, principalmente se os países introduzirem em suas análises de custo/benefício as questões ambientais e sociais provocadas pela energia produzida a partir de tecnologia e combustíveis poluentes.

Somente diante da noção do que pode constituir-se numa trajetória tecnológica sustentável para cada país, reconhecendo suas fontes naturais e sua dependência de insumos externos, é viável uma análise das decisões políticas direcionadas à geração de energia elétrica. A grande diversidade climática do Brasil, por exemplo, torna-o um país com grande possibilidade de utilização de tecnologias de fontes renováveis de energia. Contudo, algumas políticas estratégicas do setor elétrico e de transportes vêm contribuindo para uma mudança no perfil energético a ser seguido a médio e longo prazos.

Decisões de planejamento e política, como importar o combustível e/ou importar a tecnologia, são algumas questões discutidas no próximo capítulo, que tratará dos condicionantes internos e externos ao planejamento de energia na atualidade e dos desafios e perspectivas atuais com relação à sustentabilidade ambiental do sistema energético brasileiro.

## CAPÍTULO 4

### DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DO SISTEMA ENERGÉTICO NO BRASIL

Este capítulo objetiva abordar o planejamento energético brasileiro e os principais fatores internos e externos atuais que possam condicionar sua direção futura. Enfoca também os determinantes que se colocam a favor ou contra a manutenção de um padrão tecnológico sustentável no país e as atitudes tomadas pelo governo brasileiro, diante da crise no setor energético especialmente evidenciada em 2001. Por fim, discute como uma crise energética pode constituir-se em estímulos ou obstáculos a uma trajetória consciente e sustentável de tomada de decisões no setor elétrico.

#### 4.1 CONDICIONANTES INTERNOS E EXTERNOS AO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

##### 4.1.1 Planejamento de geração de eletricidade no Brasil

Considerando que o consumo de eletricidade no Brasil tem crescido a taxas elevadas, que chegaram a 4,6% ao ano, no período 1993 a 2000, para uma taxa de crescimento do PIB de 3,1% no mesmo período, é necessária a realização de investimentos no parque gerador e nas linhas de transmissão para atender às previsões de crescimento da demanda.<sup>67</sup> O consumo *per capita* brasileiro é da ordem de 2.000 kWh/habitante, o que significa um nível sete vezes menor do que o que se observa nos países desenvolvidos. A estimativa é de que, nos próximos dez anos, o crescimento do consumo de eletricidade se situe entre 5% e 6% ao ano, o que reforça a necessidade de maiores investimentos na área.

Em abril de 2001, quando a crise energética foi reconhecida, o Presidente Fernando Henrique Cardoso anunciou um plano para aumentar a oferta de energia elétrica, com

---

<sup>67</sup> De acordo com ELETROBRAS (2002), a previsão de crescimento da demanda/consumo por segmentos no Brasil para o ano de 2002 é: 44,25% para o industrial; 24,91% para o residencial; 15,56% para o comercial; e 15,28% para os outros segmentos.

investimentos da ordem de R\$ 31,5 bilhões<sup>68</sup> entre 2001 e 2003, e não afastou a ameaça de novos racionamentos nesse período. Aos 75 mil megawatts já produzidos seriam acrescentados 19,9 mil megawatts, o que se acredita ainda não ser suficiente para acompanhar o crescimento da economia já previsto em cerca de 4,5% ao ano.

De acordo com o novo Plano Decenal de Expansão 2001/2010, elaborado em 2001 pelo Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos (CCPE) para aumentar a capacidade instalada em 33.564 MW, nos próximos dez anos, entre usinas hidrelétricas (superiores a 30 MW) e termelétricas a gás natural, serão necessários investimentos aproximados de US\$ 28 bilhões,<sup>69</sup> ou seja, o custo médio de implantação de um novo quilowatt ao sistema sairá por cerca de US\$ 860, e os investimentos médios anuais sairão em torno de US\$ 2,8 bilhões.

Para efeito deste estudo serão analisadas apenas as necessidades de investimentos na geração de eletricidade no Brasil, considerando-se o atual parque gerador e as iniciativas que poderão conduzir a modificações na configuração do padrão em vigência no futuro próximo.

Dentro de uma concepção moderna, o governo deverá gerir o setor elétrico através da utilização de três instrumentos distintos e complementares (Bajay & Badanhan, 2002):

- i) formulação de políticas públicas;
- ii) planejamento, *indicativo* no caso geral e *determinativo* em circunstâncias específicas;
- iii) regulação de mercado.

Segundo Bajay & Badanhan (2002), para uma atuação eficaz do governo é preciso que os instrumentos acima sejam usados de maneira autônoma e complementar, sendo necessários diferentes agentes para a execução desses papéis, o que facilitaria essa eficácia.

No Brasil, a formulação de políticas públicas na área de energia, bem como a realização de estudos prospectivos de planejamento da expansão do setor energético são responsabilidades do Ministério de Minas e Energia (MME). Durante o período de vigência do modelo setorial estatal, essas tarefas eram executadas pela Eletrobras e pela Petrobras (petróleo e gás), e o MME tinha apenas o papel de homologá-las. A regulação do mercado está, desde dezembro de 1996, a cargo da ANEEL,<sup>70</sup> que também está vinculada ao MME.

<sup>68</sup> R\$ 22,198 bilhões viriam do setor privado e R\$ 9,327 bilhões do governo federal, em valores de 2001. Saiba mais em Bertelli (2001).

<sup>69</sup> Apenas investimentos em geração; não estão aqui considerados investimentos em transmissão e distribuição. O único investimento de transmissão considerado nesse cálculo foi para a Usina de Belo Monte (PA), pois já estava inserido no valor final do Plano Decenal 2001/2010. Também não estão aqui incluídos os investimentos em fontes renováveis e em pequenas centrais hidrelétricas (PCHs).

<sup>70</sup> Essa mudança foi tratada no Capítulo 2 desta dissertação.

O planejamento do setor elétrico era realizado pela Eletrobras por meio do GCPS, antes das modificações institucionais e organizacionais ocorridas. À Eletrobras cabia a responsabilidade de coordenar estudos de previsão de demanda do mercado, perante as variações macroeconômicas presentes. Esses estudos serviam de referência para a análise de investimentos das concessionárias federais, estaduais, municipais e privadas. Com o novo modelo, o planejamento passou a ser realizado pelo MME, através do CCPE.

Durante a vigência do modelo estatal, o planejamento do setor caracterizava-se por ser um planejamento *determinativo*, de acordo com o qual a ordenação, a distribuição e a prioridade das obras eram planejadas para serem executadas ao longo do tempo, mediante uma política de desenvolvimento que objetivava, simultaneamente, o baixo custo e a confiabilidade.

A confiabilidade implica assegurar um suprimento confiável da carga em função do crescimento previsto, incluindo geração e transmissão adequadas e seguras. Busca-se ainda minimizar os custos de investimento e de operação, assim como da continuidade do serviço. Tais requisitos devem ser alcançados considerando-se as restrições sociais, financeiras, políticas, geográfico-temporais e ambientais. Com isso, o planejamento de energia elétrica pode ser compreendido como a apresentação, ao ente tomador de decisão, do maior número possível de alternativas que permitam encarar o futuro (Reis & Silveira, 2000, p. 246-247).

Em países em desenvolvimento, como o Brasil, o aumento crescente da demanda por eletricidade tende a elevar os custos de sua provisão, por meio da construção de novas unidades geradoras, implicando maior endividamento e afetando suas economias internas.

Contudo, o serviço de energia elétrica é uma atividade de caráter essencialmente estratégico e a indústria da eletricidade representa um pólo de relações interindustriais dos mais dinâmicos e dos mais intimamente correlacionados à própria dinâmica do desenvolvimento (Reis & Silveira, 2000, p. 244).

A demanda não é estável, varia durante o dia, a semana, o mês e o ano. Logo, a oferta tanto para a geração quanto para a transmissão deve ser planejada para atender à variação, com base nos “picos” de demanda, evitando que a população fique às escuras por motivos técnicos ou de inadequada organização e previsão.

Como a energia elétrica não pode ser armazenada, é imprescindível que seu planejamento seja feito com antecedência para garantir seu suprimento contínuo e ininterrupto, a médio e longo prazos e com uma margem de confiabilidade e custos baixos, exigindo esforços de planejamento, previsão e programação, e ainda de acordo com opções da tecnologia e dos combustíveis para seu emprego e uso.

As características do Brasil com seus diferentes perfis e realidades socioeconômicas exigem atenção aos níveis de incertezas presentes em todo estudo de previsão, e ainda às diferentes possibilidades de recursos energéticos a serem explorados, de acordo com os anseios nacionais.

O processo de planejamento do setor elétrico sempre foi realizado por meio de planejamentos diferenciados, em função de diferentes objetivos. Para o planejamento da expansão do sistema, chamado de planejamento *estratégico*, são necessários estudos de análise de longo, médio e curto prazos (Fortunato et al., 1990):

- estudos de longo prazo – seu horizonte de análise varia de 20 a 30 anos, procurando identificar as linhas mestras que direcionarão o desenvolvimento do sistema, fixando as capacidades dos troncos de transmissão, as metas do programa de expansão de médio prazo e o desenvolvimento de processos tecnológicos e industriais;
- estudos de médio prazo – seu horizonte de análise varia até 15 anos, estabelecendo o programa de expansão do sistema e objetivando oferecer qualidade no suprimento de eletricidade nos níveis predeterminados a um mínimo custo;
- estudos de curto prazo – seu horizonte de análise é de 10 anos e referem-se a ajustes no programa de expansão do sistema, de acordo com as variações conjunturais, e nas previsões de mercado, na alteração no cronograma de obras e nas restrições dos recursos financeiros.

Os estudos acima são realizados em periodicidades distintas: os de longo prazo, a cada 5 anos; os de médio prazo, a cada 2 anos; e os de curto prazo, são revistos anualmente. O Quadro 5 fornece as características, informações e decisões particulares desses estudos.

No planejamento da operação do sistema, o planejamento *tático*, é necessário um conjunto de ações que obedecem a um cronograma temporal decrescente e que vão desde o planejamento da operação até a análise estatística e o controle de intercâmbio realizado.

Os planejamentos de expansão e operação são feitos juntamente com estudos espaciais que dão apoio ao planejamento, seguindo as seguintes etapas: definição de metodologias e critérios, estimativa e inventário dos recursos energéticos, análise da viabilidade econômica dos recursos energéticos, realização de projeto básico dos empreendimentos futuros e acompanhamento estatístico do desempenho operativo dos empreendimentos.

Todas as etapas das fases dos planejamentos devem ser cumpridas<sup>71</sup> pois “a ampliação da capacidade de atendimento ao consumidor final implica um processo interativo de planejamento entre geração, transmissão e distribuição, tanto para a compatibilização física

---

<sup>71</sup> As várias etapas a serem cumpridas, envolvidas nos diferentes planejamentos do setor elétrico, podem ser visualizadas em Reis & Silveira (2000), na página 250.

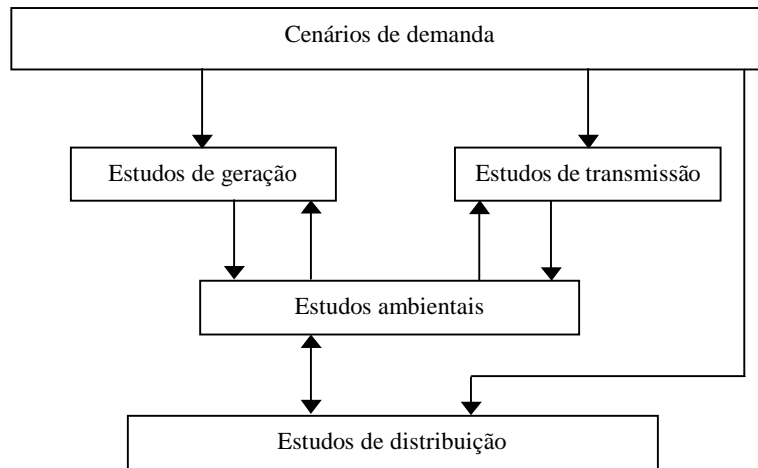
das obras necessárias quanto para o equacionamento do aporte financeiro” (Reis & Silveira, 2000, p. 251).

**QUADRO 5 – Estudos de Planejamento da Expansão de Geração**

ETAPA	CARACTERÍSTICAS	INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS	DECISÕES
Longo Prazo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Horizonte: 30 anos</li> <li>– Discretização: quinquenal</li> <li>– Periodicidade: a cada 5 anos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Previsões a longo prazo               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Econômicas</li> <li>▪ Tecnológicas</li> <li>▪ Energéticas</li> </ul> </li> <li>– Potencial energético total               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Usinas em operação</li> <li>▪ Usinas em construção</li> <li>▪ Usinas em projeto básico</li> <li>▪ Usinas em nível de viabilidade</li> <li>▪ Recursos inventariados</li> <li>▪ Recursos estimados</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Linhas mestras do desenvolvimento do sistema               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Capacidade instalada de cada tipo de fonte geradora</li> <li>▪ Grandes troncos de transmissão</li> </ul> </li> <li>– Custos marginais de referência</li> <li>– Política industrial e tecnológica</li> <li>– Programa de inventário de recursos energéticos</li> </ul>
Médio Prazo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Horizonte: 15 anos</li> <li>– Discretização: mensal</li> <li>– Periodicidade: a cada 2 anos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Previsões a médio prazo               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Econômicas</li> <li>▪ Energéticas (mercado)</li> </ul> </li> <li>– Potencial energético inventariado               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Usinas em operação</li> <li>▪ Usinas em construção</li> <li>▪ Usinas em projeto básico</li> <li>▪ Usinas em nível de viabilidade</li> <li>▪ Recursos inventariados</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Determinação do programa de referência               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Projetos de geração e sua programação</li> <li>▪ Programa de estudos de viabilidade de projetos de geração</li> </ul> </li> </ul>
Curto Prazo	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Horizonte: 10 anos</li> <li>– Discretização: mensal</li> <li>– Periodicidade: anual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Previsões a curto prazo               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Financeiras</li> <li>▪ Energéticas (mercado)</li> </ul> </li> <li>– Potencial energético em nível de viabilidade               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Usinas em operação</li> <li>▪ Usinas em construção</li> <li>▪ Usinas em projeto básico</li> <li>▪ Usinas em nível de viabilidade</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ajustamento do programa de expansão de referência               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Programa decenal de geração</li> <li>▪ Condições de atendimento do mercado</li> </ul> </li> <li>– Programação financeira do setor elétrico</li> <li>– Programa de estudos de projeto básico de usinas</li> </ul>

Fonte: Fortunato et al. (1990, p. 119).

Diante da necessidade de decisões importantes que envolvam diferentes horizontes de planejamento e, a partir de cenários de demanda prevista, realiza-se a expansão da geração e transmissão conjuntamente. Para essas expansões, requerem-se estudos ambientais, podendo implicar revisões nos estudos de geração e transmissão (Figura 15).



**Figura 15** – Planejamento da expansão do setor elétrico

Fonte: Reis & Silveira (2000, p. 251).

Decisões econômicas por si sós não têm sido suficientes para orientar as decisões de novos projetos de ampliação do parque gerador no Brasil, sendo imprescindível a obediência às recentes políticas ambientais de caráter multidisciplinar, criadas para o setor elétrico.

A idéia da formulação de políticas específicas surgiu a partir da necessidade de promover a incorporação de instrumentos que mitigassem os impactos ambientais nos projetos do setor elétrico. Isto orientou reformas institucionais e reorganizações administrativas. Foram criados incentivos econômicos para o controle da poluição, implementados sistemas de gestão ambiental e estabelecidos meios de participação da sociedade na tomada de decisões. Há de se mencionar ainda as pressões internacionais de ambientalistas sobre os financiadores de grandes projetos e sobre o governo brasileiro, para exigir avaliações dos efeitos socioambientais nos programas governamentais. Nesse contexto, surgiram, por exemplo, a Lei n.º 6.938 de Política Nacional de Meio Ambiente, de 1981, que institui a avaliação do impacto ambiental e audiências públicas etc., e o Decreto n.º 88.351, de 1983, que regulamenta o licenciamento de atividades poluidoras ou modificadoras do meio ambiente. Em 1986, o Conama (Conselho Nacional de Meio Ambiente) aprovou a Resolução n.º 001 que exige a execução de Estudos de Impacto Ambiental, EIA, e a apresentação do Relatório de Impacto Ambiental, RIMA (Reis & Silveira, 2000, p. 263).

O planejamento da geração de eletricidade implica, pois, a escolha de um cronograma de obras eficiente para atender à carga crescente do sistema, considerando aspectos técnicos e econômicos, além dos aspectos políticos, sociais e ambientais.

Além das incertezas associadas às projeções futuras, há um descompasso entre a distribuição temporal e espacial das cargas e as alternativas de geração. Estas últimas, além de dependerem do tempo necessário para desenvolvimento do projeto, estão vinculadas a locais determinados pela disponibilidade dos recursos naturais e a requisitos econômicos para sua utilização. Assim, o que o planejamento busca é a integração mais adequada e escalonada de novos projetos de geração ao sistema de potências, de forma a utilizar da melhor forma possível as características intrínsecas da forma de geração utilizada nos projetos (Reis & Silveira, 2000, p. 49-50).

Há possibilidade de que os sistemas elétricos sejam planejados para interligar um grande sistema de potências e atender à demanda. Quando a construção dos grandes sistemas deixa de ser segura, econômica e confiável, é preciso atender às demandas de consumo através de sistemas isolados de geração, “pelo menos até que o aumento da demanda de eletricidade possa justificar a extensão da rede” (Reis & Silveira, 2000, p. 50).

Observa-se, então, a possibilidade de planejamento de dois tipos de centrais elétricas:

- Planejamento centralizado de geração elétrica e do sistema de potência – são usinas de médio e grande porte construídas em função da facilidade do aproveitamento dos recursos naturais de uma região, mostrando-se, do ponto de vista econômico, mais atrativas do que unidades isoladas próximas aos centros consumidores, mesmo estando, algumas vezes, longe dos grandes centros consumidores e necessitando de longas linhas de transmissão e de alta tensão. No Brasil, podem-se destacar, como exemplos, as grandes usinas hidrelétricas, as centrais termelétricas a gás ou a combustível (transportados por gasodutos ou oleodutos), além das usinas nucleares, realizadas nos locais onde estão por questões de segurança e/ou economias de escala. A decisão por esse tipo de sistema de geração decorre do planejamento de sistemas que deverão ser interligados.
- Planejamento descentralizado ou local de geração elétrica – são usinas ou centrais de pequeno e médio porte construídas próximas aos centros consumidores local ou regional, ou seja, próximas às cargas. São considerados, como exemplos, as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), os sistemas solares fotovoltaicos, os sistemas eólicos e as centrais térmicas de pequeno porte. A decisão por esse tipo de geração é tomada normalmente para sistemas isolados, podendo às vezes ser integrado aos sistemas interligados.

O planejamento da eletricidade na atualidade tem uma concepção mais ampla, voltado não apenas para o aumento da capacidade instalada, ou seja, a oferta, mas também para os intercâmbios de energia, o seu uso racional e a inserção de impactos ambientais na análise do setor (Reis & Silveira, 2000).

Os intercâmbios de trocas de energia estão ligados ao percentual de cada fonte de geração dentro da matriz energética de um país, em face das novas fontes já existentes para diversificação e com tecnologias que podem ser comercializadas ou trocadas entre países.

O uso racional da energia refere-se à eficiência no uso da energia, que pode ter uma relação direta com o preço e o custo relativo da energia no mercado, e com a eficiência e economia das tecnologias de uso final, evitando desperdícios ao longo do processo.

A inserção dos impactos ambientais na análise do setor elétrico condiz com a produção de energia direcionada para o desenvolvimento sustentável, por sua vez inserida numa dinâmica em que o meio ambiente é um dos principais condicionantes de uma oferta segura e contínua no futuro.

Assim, o planejamento de eletricidade, mesmo numa concepção ampla, poderá contribuir para o crescimento econômico de um país, mas não necessariamente induzirá ao seu desenvolvimento econômico e social.

O novo cenário do setor elétrico brasileiro, que constitui um ambiente competitivo com a presença de atores públicos e privados, tem implicado o estabelecimento de novos regulamentos e normas. A importância da análise desse novo cenário consiste em saber se as diretrizes traçadas pelos novos atores assumirão as incertezas impostas por todo o setor elétrico, bem como se garantirão o suprimento de energia para o atendimento da crescente demanda do país. O que se observou recentemente com a crise de oferta de eletricidade em 2001 foi um quadro confuso em busca de culpados, talvez decorrente do período de transição.

A implantação de um novo modelo setorial, há poucos anos atrás, que privilegia a busca de competição, onde ela for possível, e a atração de investimentos privados, valorizou em excesso a atividade de regulação do mercado e relegou a um segundo plano a formulação de políticas energéticas e a realização de exercícios de planejamento [...]. No caso brasileiro, a atual crise do setor de energia elétrica revelou com bastante clareza esta falha (Bajay & Badanhan, 2002, [s.p.]).

O planejamento do setor elétrico no novo modelo é considerado *indicativo*, pois as tendências e direções ficarão por conta do mercado. Agora, a gama de alternativas para geração de eletricidade deverá ser maior, em virtude do tempo necessário para a construção de outros tipos de usinas quando comparado ao tempo de construção das hidrelétricas (leva em média 8 anos), que compõem a maior parte do parque gerador nacional, instituídas por decisões tomadas dentro do planejamento *determinativo* do arcabouço convencional do modelo centralizado estatal. As termelétricas, por exemplo, tornam-se mais atrativas para o mercado, por requererem um prazo menor para sua implantação. Alternativas mais rápidas de

serem implantadas atualmente são mais viáveis, em virtude da necessidade de retornos em prazos mais curtos.

Isso explica por que o planejamento é considerado indicativo e não determinativo no novo cenário do setor elétrico brasileiro, e por que se escolheu como referência o *Plano Decenal de Obras* do planejamento de curto prazo na metodologia convencional (Reis & Silveira, 2000, p. 270).

Enquanto o Plano Decenal, no planejamento *determinativo* do antigo modelo, era praticamente definitivo, no planejamento *indicativo* seu papel deverá ser apenas o de fornecer uma orientação para projetos de geração possíveis de serem executados e prováveis localizações desejáveis do ponto de vista do sistema como um todo. O planejamento *indicativo* certamente representará uma abertura no modelo para novas oportunidades.

O Ministério de Minas e Energia – MME criou, em 10 de maio de 1999, através do Art. 1º da Portaria n.º 150, o Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos – CCPE, com a atribuição de coordenar a elaboração do planejamento da expansão dos sistemas elétricos brasileiros, de caráter indicativo para a geração, consubstanciado nos Planos Decenais de Expansão, que são elaborados em ciclos anuais, e nos Planos Nacionais de Energia Elétrica de longo prazo. O CCPE tem também a atribuição de elaborar e apresentar pareceres e proposições relativas a questões específicas afetas à expansão do sistema. O planejamento da expansão da transmissão, elaborado pelo CCPE, tem um caráter determinativo para obras consideradas por este Comitê como inadiáveis, para garantia das condições de atendimento do mercado, constituindo estas obras o Programa Determinativo da Transmissão; para as demais obras de transmissão, sobretudo mais a longo prazo, o planejamento do CCPE é indicativo. Em dezembro de 2001 foi finalizado, pelo CCPE, o Plano Decenal de Expansão, 2001-2010 (MME, 2001), o primeiro de cunho indicativo (Bajay & Badanhan, 2002, [s.p.]).

Entretanto,

...é preciso atentar para o fato de que, no novo cenário de mercado competitivo, pode haver uma tendência à fragmentação das visões e do processo de planejamento em si [...]; pode-se entender que diversas formas de planejamento estarão convivendo no setor elétrico, e poderão resultar em interesses conflitantes. O *planejamento indicativo* de geração e de transmissão poderá servir de fator de integração, mas também poderá ser bastante influenciado pelo mercado e por projetos específicos de geração visualizados de forma individual e fragmentada (Reis & Silveira, 2000, p. 272).

Para Bajay & Badanhan (2002), a formulação de políticas públicas na área energética é uma atividade típica de governo, e o exercício da regulação, uma atividade de Estado, fundamentada na regulamentação da legislação vigente dentro de uma expectativa de longo prazo. A atividade do planejamento deve possuir ambas as características: propiciar um suporte quantitativo na formulação das políticas energéticas do governo; e sinalizar à sociedade metas de longo prazo, que certamente extrapolam o mandato do governo. Assim,

para que a estrutura organizacional do setor elétrico seja eficaz na execução dos exercícios de planejamento, ela deverá contemplar as duas características citadas.

O essencial dentro do planejamento do setor é que a sociedade participe e discuta mais ativamente das decisões acerca das metas de planejamento energético. Elas deverão ser flexíveis, evitando-se incorrer em problemas ambientais e sociais do passado, que poderão comprometer a sustentabilidade do sistema, levando ao uso ineficiente de fontes atrativas e possíveis de ser exploradas. É preciso analisar os ganhos e perdas e os limites aceitáveis, dentro da consciência dos efeitos da degradação ambiental de projetos energéticos.

#### 4.1.2 O Proinfa

A crise de suprimento de energia elétrica de 2001 apontou dois caminhos para o Brasil: a estagnação ou a inovação. A estagnação econômica certamente não é aceita pela sociedade e pelos agentes econômicos produtivos, logo a inovação do processo produtivo de eletricidade tem-se mostrado como o caminho a ser trilhado.

No Brasil, a fonte hidrelétrica é a mais usada para a geração de energia elétrica, contudo as “novas” renováveis<sup>72</sup> ainda têm pouca participação na matriz energética nacional. Assim, segundo Porto (2002), entre os desafios para a atual política energética brasileira, estão a garantia da oferta contínua de energia sem perder o foco na sua tradição de utilização de tecnologias “limpas”; a diversificação da matriz energética, visando reduzir riscos hidrológicos; a contribuição para o desenvolvimento sustentável do país; e a possibilidade de se criar um ambiente competitivo no setor, para proteger o consumidor de energia elétrica.

As tecnologias disponíveis atualmente para a produção de eletricidade no Brasil, a partir de fontes renováveis, são: eólica, solar, biomassa e PCH. Entretanto, cada fonte energética apresenta características técnico-econômicas distintas (Tabela 6).

**TABELA 6 – Características Técnico-Econômicas**

Fonte	Custo de Instalação (US\$/KW)	Fator de Capacidade (%)	Custo de Geração (US\$/MWh)
Eólica	900 a 1.400	25 a 40	50 a 95
Biomassa	1.000 a 2.000	45 a 85	45 a 105
PCH	1.000 a 3.000	40 a 70	35 a 145
Solar FV	6.000 a 10.000	18 a 22	500 a 1.160

Fonte: Plano Decenal de Expansão 2001/2010 (Brasil, 2001, p. 79-80).

<sup>72</sup> Eólica, biomassa, solar, PCH e hidrogênio.

Mesmo sendo as renováveis muito caras para serem implantadas em larga escala no país, sobretudo a solar fotovoltaica, há de se considerar as vantagens comparativas das fontes renováveis sobre as fontes tradicionais: são tidas como nativas e, ao mesmo tempo, se renovam; não são tão contaminantes e, portanto, têm licenças ambientais facilitadas; complementam o fluxo hidrológico, sem comprometer as contas externas do país; apresentam rapidez de implantação em larga escala; ampliam o desenvolvimento socioeconômico; e possibilitam gerar energia próxima ao centro de carga e/ou de distribuição.

É preciso que o mercado seja transformado para possibilitar às “novas” renováveis uma competição com as outras formas de geração de eletricidade. O subsídio explícito às fontes renováveis seria uma solução e poderá vir a acontecer no Brasil mediante o Programa de Incentivo a Fontes Alternativas (Proinfa), instituído pelo governo com a Lei n.º 10.438, de abril de 2002, para estimular as renováveis.

Diante das recentes ações governamentais para avaliar<sup>73</sup> o potencial das renováveis no Brasil, o Proinfa prevê investimentos em geração da ordem de US\$ 19,6 bilhões. A primeira fase está direcionada a inserir 3.300 MW de fontes renováveis até 2006, 1.100 MW dos quais seriam de energia eólica (2,89 TWh/ano), 1.100 MW, de PCH (5,78 TWh/ano) e 1.100 MW, de biomassa (6,75 TWh/ano). A segunda fase prevê obrigatoriedade de 15% do crescimento anual do mercado até que 10% do consumo total sejam de fontes renováveis, e a inserção de 16.250 MW divididos igualmente entre as fontes renováveis entre 2006 e 2019: o crescimento da capacidade instalada seria da ordem de 6.518 MW, para a eólica (17,13 TWh/ano), para a PCH (34,26 TWh/ano) e para a biomassa (39,97 TWh/ano).

Seu objetivo é inserir sustentavelmente as fontes renováveis presentes no Brasil e promover ganhos de competitividade dessas fontes por meio de redução do custo operacional e do custo de investimento (através de desenvolvimento industrial local e de ganhos de escala). Apesar de muito promissora em tentar tornar as “novas” renováveis mais competitivas no setor elétrico, essa lei, publicada no Diário Oficial da União em 30 de abril de 2002, ainda precisa de regulamentação do governo federal em alguns artigos, o que tem deixado os agentes do setor confusos, sobretudo em relação ao valor normativo estipulado pela ANEEL, ou seja, à remuneração da “nova” energia a ser produzida e comercializada no mercado.

---

<sup>73</sup> Atlas Eólico Nacional, Atlas Solarimétrico do Brasil, levantamento do potencial real de cogeração de excedentes no setor sucro-alcooleiro, desenvolvimento na área de P & D, com recursos do CT-ENERG, entre outros. Ver Porto (2002).

### 4.1.3 O Protocolo de Kyoto

Na década de 1980, evidências científicas denotaram a possível ocorrência de mudanças climáticas em nível mundial. As causas dessas alterações estariam ligadas a fatores antropogênicos: queima de combustíveis fósseis, processos industriais, desflorestamento, fabricação de cimento, entre outros.

Assim, em dezembro de 1997, os principais países do mundo, interessados nos rumos do crescimento econômico e dos impactos ambientais por ele causados, reuniram-se em Kyoto, no Japão, na Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. O grande e principal tema desse encontro foi o aumento da temperatura da Terra, sinalizado como efeito estufa,<sup>74</sup> provocado pelo aumento de alguns gases danosos<sup>75</sup> emitidos na atmosfera terrestre, devido à intensificação da atividade econômica com o passar do tempo.

É sabido que uma das fontes principais do efeito estufa é a emissão de CO<sub>2</sub>, causado pela queima de combustíveis fósseis, usados na produção de energia elétrica e mecânica. Sendo essa fonte de energia a mais utilizada no mundo, tanto por países desenvolvidos quanto por países em desenvolvimento, nesse encontro os países foram divididos em 2 grupos: “Países do Anexo 1” (Tabela 7), considerados grandes emissores de CO<sub>2</sub>, e “Outros Países”, considerados de baixo nível de industrialização.

Para conhecer as emissões totais de CO<sub>2</sub>, foi realizado um estudo comparativo entre os 20 maiores responsáveis por essas emissões no ano de 1994, em relação a suas posições em 1950 (Tabela 8). Nos dados da Tabela 8 observa-se que, nos primeiros lugares do *ranking* de 1994, há não só grandes economias industrializadas e ricas, mas também economias em desenvolvimento e com altos níveis de pobreza.

O objetivo da reunião em Kyoto era rever a proposta assinada por 165 países na Conferência do Rio de Janeiro em 1992, em que 35 países industrializados se comprometeram a reduzir suas emissões de CO<sub>2</sub> aos níveis de 1990, até o ano de 2000. Em virtude de poucos países industrializados terem atingido suas metas, a Comunidade Européia propôs, nessa reunião, que até o ano de 2010 os países do “Anexo 1” diminuíssem a emissão de gases tóxicos em 15% em relação aos níveis emitidos em 1990. Os Estados Unidos sugeriram que até o ano de 2012 as emissões se reduzissem aos níveis de 1990 e que os países em desenvolvimento também participassem desse acordo de redução de emissões.

---

<sup>74</sup> Entre os impactos causados pelo efeito estufa sobre a Terra, os mais divulgados são o aquecimento global do planeta e a desertificação de áreas agricultáveis.

<sup>75</sup> Os gases responsáveis pelo efeito estufa são de origem antropogênica, a saber: o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que é o mais presente nas emissões (cerca de 80%), os hemióxidos de nitrogênio (N<sub>2</sub>O), o metano (CH<sub>4</sub>), os hidrofluorcarbonos (HFC), o hidrocarboneto perfluorado (PFC) e o hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>).

TABELA 7 – Países Membros do Anexo 1

Países em maior parte responsáveis pelo aquecimento global que assumiram compromissos de reduzir as emissões dos gases que causam o efeito estufa	Porcentagem do ano-base ou período
Alemanha.....	92
Austrália.....	108
Áustria.....	92
Belarus*.....	92
Bélgica.....	92
Bulgária*.....	92
Canadá.....	94
Comunidade Européia.....	92
Croácia*,**.....	95
Dinamarca.....	92
Eslováquia*,**.....	92
Eslovênia.....	92
Espanha.....	92
Estados Unidos da América.....	93
Estônia*.....	92
Federação Russa*.....	100
Finlândia.....	92
França.....	92
Grécia.....	92
Hungria*.....	94
Irlanda.....	92
Islândia.....	110
Itália.....	92
Japão.....	94
Letônia*.....	92
Liechtenstein*.....	92
Lituânia*.....	92
Luxemburgo.....	92
Mônaco*.....	92
Noruega.....	101
Nova Zelândia.....	100
Países Baixos.....	92
Polônia*.....	94
Portugal.....	92
Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte.....	92
República Tcheca*,**.....	92
Romênia*.....	92
Suécia.....	92
Suíça.....	92
Turquia.....	00 (sic)
Ucrânia*.....	100

\* Países em processo de transição para uma economia de mercado.

\*\* Países que passaram a fazer parte do Anexo 1 mediante emenda que entrou em vigor no dia 13 de agosto de 1998, em conformidade com a decisão 4/CP.3 adotada na COP 3.

Fonte: Rocha (2000, p. 33).

**TABELA 8 – Os Vinte Maiores Responsáveis pela Emissão de CO<sub>2</sub>**

<b>País</b>	<b>Ranking 1994</b>	<b>Ranking 1950</b>
EUA	1	1
China	2	10
Rússia	3	2*
Japão	4	9
Índia	5	13
Alemanha	6	3
Reino Unido	7	4
Canadá	8	7
Ucrânia	9	2*
Itália	10	17
México	11	20
Polônia	12	8
Coréia do Sul	13	58
França	14	5
África do Sul	15	14
Austrália	16	15
Coréia do Norte	17	73
Irã	18	164
Indonésia	19	31
Cazaquistão	20	2*

\*URSS

Fonte: Conjuntura Econômica, dez.1997, p. 57.

Mais recentemente, tem-se observado uma certa hesitação, principalmente dos Estados Unidos, em assinar esse acordo, por não aceitar que grandes países em desenvolvimento<sup>76</sup> não estejam incluídos. Os países em desenvolvimento justificam-se pelo fato de acreditar que ainda precisam desenvolver-se para atingir o nível de progresso vivenciado pelas nações mais desenvolvidas e, principalmente, pelo estilo de vida adotado pelos países capitalistas desenvolvidos, de crescimento com pressões sobre os recursos naturais e de acúmulo de grande quantidade de lixo ambiental.

Assim, o resultado desse encontro foi apenas o estabelecimento da diminuição média de 5,2% dos gases causadores do efeito estufa abaixo dos níveis registrados em 1990 até o ano de 2012,<sup>77</sup> significando uma diminuição de cerca de 40% nas emissões totais desses gases, em especial do CO<sub>2</sub>. Cotas especiais foram estipuladas para a Comunidade Européia (8%), para os EUA (7%) e para o Japão (6%) (CONJUNTURA ECONÔMICA, 1999, p. 44-45).

<sup>76</sup> Atentar para o fato de que Brasil, México, Índia e China não estão incluídos no “Anexo 1”.

<sup>77</sup> Nessa primeira fase de implementação do Protocolo de Kyoto, os países de baixo nível de industrialização não têm compromissos obrigatórios de redução dos gases poluentes por eles emitidos.

Por enquanto, o Protocolo foi assinado apenas por 84 países e somente entrará em vigor após ser ratificado por um conjunto mínimo de 55 países que representem pelo menos 55% das emissões mundiais de CO<sub>2</sub>. Apenas 77 países ratificaram o Protocolo (o Brasil ratificou em 23 de julho de 2002), o que ainda representa 36% das emissões totais, não permitindo no estado atual que o Protocolo entre em vigor.<sup>78</sup>

O Congresso norte-americano foi além. Rebelou-se contra o consenso internacional e aprovou indicação que impede a ratificação do Protocolo até que se comprove que os países em desenvolvimento estão realmente reduzindo suas emissões. Como em Kioto não se estabeleceu nenhuma cota específica para quatro grandes países em desenvolvimento (China, Brasil, Índia e México), o projeto de defesa do meio ambiente ficou mesmo pelo caminho. E assim ficará porque a Rússia também não firmou o Protocolo. Recordar-se que, juntamente com os norte-americanos, os russos respondem por 53% das emissões dos chamados gases estufa (CONJUNTURA ECONÔMICA, 1999, p. 44).

A Conferência de Joanesburgo, na África do Sul, também frustrou qualquer expectativa de avanço global imediato quanto a esse acordo, com uma vez mais a ausência da representação americana.

Independentemente dos níveis a serem cumpridos por cada país e dos países que realmente ratificarão o Protocolo, algumas ações podem e devem ser implementadas para atingir as cotas, reduzindo as emissões de poluentes pelos países interessados e envolvidos no acordo, de maneira a criar impactos econômicos e ambientais positivos.

As emissões de poluentes podem ser encaradas como fluxos que refletem acréscimos ao estoque de poluição existente (P) [...] A necessidade de se promover um ajuste na situação descrita com o fito de combater o efeito estufa mostra que a única variável passível de controle é o fluxo de emissões (Diniz, 1998, p. 313).

De acordo com Diniz (1998), existem quatro efeitos que impactam o fluxo de emissões de poluentes no mundo:

- a) o efeito escala, que reflete o impacto do crescimento da produção no mundo sobre as emissões de poluentes;
- b) o efeito tecnologia, que reflete o impacto das mudanças tecnológicas que podem alterar a proporção das emissões no produto;
- c) o efeito composição entre os países, que reflete alterações na parcela correspondente a cada país no produto do setor i;

---

<sup>78</sup> EUA, Canadá e Austrália, grandes emissores, ainda não ratificaram. A Rússia acaba de ratificar o Protocolo na Conferência de Joanesburgo, o que significa que o Protocolo entra em vigor a partir de dezembro de 2002.

d) o efeito composição entre setores, que reflete mudanças na fração do setor i no produto mundial.

Pode-se observar que o efeito escala é cumulativo e que as emissões tendem a aumentar; o efeito tecnologia poderá diminuir as emissões, quando tecnologias menos poluidoras passarem a ser adotadas; o efeito composição entre países poderá diminuir as emissões ao se aumentar a fração do produto do setor i para os setores menos poluidores; e o efeito composição entre setores poderá diminuir as emissões ao se aumentar a participação dos setores menos poluidores na produção mundial. Nota-se que “o efeito composição sempre envolve pelo menos dois países (em c) ou dois setores (em d), enquanto o efeito tecnologia pode ser resultado do esforço de um só país em um único setor” (Diniz, 1998, p. 314).

Eis algumas alternativas para atingir a redução das cotas de poluição dos países:

- i) cortar o subsídio concedido às energias provenientes de combustíveis fósseis tradicionais, forçando o emprego de fontes alternativas, como a solar, a eólica, a hidráulica, as células de hidrogênio, e até mesmo a nuclear;
- ii) utilizar combustíveis menos poluentes, como o gás natural;
- iii) substituir combustíveis fósseis por combustíveis renováveis, como o bagaço de cana, o cavaco da madeira, a palha do arroz, e o lixo urbano reciclado;
- iv) estabelecer acordos bilaterais, em que grandes emissores de CO<sub>2</sub> poderiam compensar suas emissões por meio da criação e conservação de “sumidouros”, como florestas em outros países, ou seja, o seqüestro de carbono se daria nos países geralmente em desenvolvimento, por meio de plantios de compensação, em troca da continuidade de emissão de gases do efeito estufa (GEE) pelos países mais poluentes – a discussão é polêmica, mas já tem sido colocada em prática por empresas em alguns países;<sup>79</sup>
- v) criar um mercado mundial de licenças para emissão de CO<sub>2</sub>, onde os países mais poluentes comprariam cotas dos menos poluentes para poluírem além das suas estabelecidas, dando lugar à compra e venda de Certificados de Redução de Emissões (CERs), de modo que, na troca, um nível global de emissões desejado seria atingido;<sup>80</sup>

---

<sup>79</sup> Esse tipo de ação já tem sido verificado no Brasil com a compra de áreas da região de Guaraqueçaba, no Paraná, por empresas internacionais. Saiba mais em *Veja*, 11/10/2000, e em Rocha (2000).

<sup>80</sup> Essa ação dá lugar aos seguintes agentes protagonistas: os emissores, interessados na aquisição dos certificados de emissões reduzidas; os captadores, que contribuirão no seqüestro de carbono e outros gases, ou na redução de sua emissão e que obterão certificados a serem comercializados; e os facilitadores, que prestarão serviços, ou seja, serão os auditores e consultores para a fiscalização e certificação e que trabalharão conjuntamente com bancos de investimento, seguradoras, assessores jurídicos, empresariais e financeiros.

vi) investir pesadamente em P & D para possibilitar avanços tecnológicos, via pesquisa aplicada direcionada para tecnologias corretivas (*end-of-pipe*), e também voltada para o desenvolvimento de tecnologias novas, eficientes e “limpas”.

... a idéia de que o desenvolvimento produz sempre conseqüências danosas ao ambiente é falsa. Isso só seria verdadeiro se não houvesse introdução de novas tecnologias menos poluidoras e se a fatia do produto pertencente a cada país e a cada setor permanecesse constante, hipóteses completamente em desacordo com os fatos do mundo real (Diniz, 1998, p. 314).

Em relação às alternativas citadas para a redução de emissões no Brasil, já existe uma visão pró-ativa dos agentes do setor elétrico, um dos mais poluentes. Entretanto, ainda não foi cortado o subsídio aos combustíveis fósseis no país. A segunda opção, contudo, foi considerada por parte do governo, quando da elaboração do Programa Prioritário de Termelétricidade (PPT),<sup>81</sup> em virtude da crise de insuficiência de oferta de energia em 2001. A terceira alternativa já começou a ser implementada e tende a ser incentivada através do Proinfa, que é um grande passo para o emprego de fontes energéticas alternativas, além das hidrelétricas, para diversificar a matriz energética nacional. Na quarta opção, há uma tendência de que o Brasil funcione como “sumidouro” para os países mais poluentes, diante das florestas e matas que ainda possui. Resta saber como funcionará esse sistema, bem como a compra e venda de CERs, e como os políticos e ambientalistas brasileiros se posicionarão a esse respeito. Já a quinta alternativa,

... o Sindicato dos Economistas do Estado de São Paulo propôs a criação da Bolsa Brasileira de *Commodities* Ambientais, com vistas a negociar, com transparência e publicidade, mercadorias à vista, com entrega física e no mercado futuro, por meio de financiamentos nos prazos adequados para a produção sustentável. Desde 1994, a Environmental Protection Agency, EPA, vem emitindo milhares de certificados autorizando emissões de toneladas de dióxido de enxofre, monóxido de carbono e outros gases poluentes (Rocha, 2000, p. 32-33).

Acredita-se que em breve o Brasil entrará nesse processo de compra e venda de CERs, pois alguns projetos agroflorestais<sup>82</sup> têm sido destinados a esse fim. Para a sexta alternativa, pode-se dizer que o país faz pesquisa dentro do setor elétrico através do CEPEL e que por meio de um dos instrumentos de flexibilização do Protocolo de Kyoto – o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (CDM) – poderá ser possível o fornecimento de tecnologia “limpa” aos países em desenvolvimento, em troca dos créditos de carbono, os CERs.

---

<sup>81</sup> Este assunto será tratado mais adiante, ainda neste Capítulo.

<sup>82</sup> Proflorar, Projetos Canavieiros, Instituto Pró-Natura, Projeto Floram, e Projeto Corumbataí. Ver Rocha (2000).

O que deve ser ressaltado é que o Brasil, mesmo tendo ratificado o Protocolo de Kyoto recentemente, apresenta, por enquanto, uma posição privilegiada, pois não é considerado um grande emissor de CO<sub>2</sub>. Ao contrário, apresenta um grande percentual de renováveis na sua matriz energética, o que já é um aspecto positivo. Entretanto, o país é responsável por grande produção material para consumo interno e para exportação, e é possível que, num futuro próximo, também seja incluído como um dos mais poluentes.

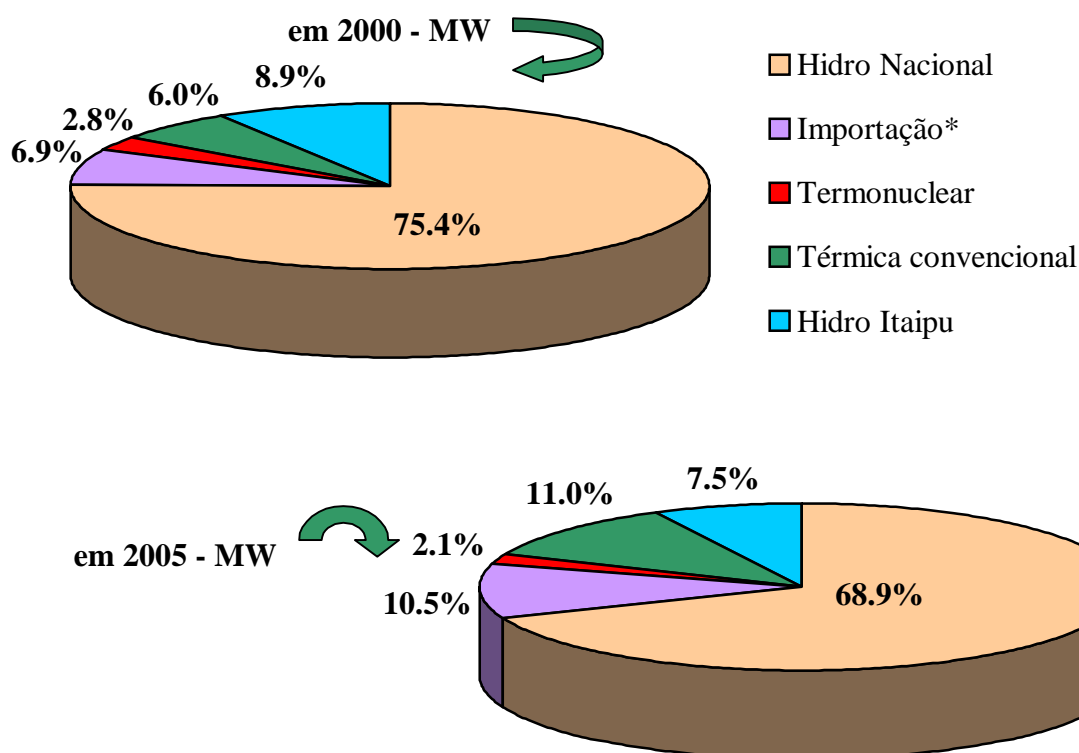
... os países, ao atingirem um grau mais alto de desenvolvimento, delegariam a terceiros a produção de bens cujo processo produtivo seja altamente poluidor, o que elevaria o preço de tais bens e estimularia a produção dos mesmos por países pobres [...]. Logo, o mero desenvolvimento econômico não contribui para a eliminação do problema, e um acordo se torna necessário para forçar a diminuição das emissões (Diniz, 1998, p. 314-315).

Sendo assim, o país deveria aceitar servir de “sumidouro” dos países poluentes e até mesmo vender suas cotas deficitárias de poluição? Ou deveria resguardar-se para compensações internas de suas emissões no futuro? Tudo dependerá das estratégias traçadas pelos agentes envolvidos nesse processo e da política governamental e suas decisões acerca de um futuro energético desejável para o Brasil.

#### 4.2 PADRÃO TECNOLÓGICO ATUAL: PRÓS E CONTRAS À SUSTENTABILIDADE DO SETOR ENERGÉTICO

Os dados do Operador Nacional do Sistema (ONS) mostram que a capacidade instalada do sistema interligado brasileiro em 2000 era de 75,4% de hidreletricidade nacional, 8,9% de hidreletricidade de Itaipu, 6,9% de hidreletricidade importada de Itaipu, 6,0% de termoeletricidade convencional e 2,8% de termoeletricidade nucleares (Figura 16).

O atual padrão tecnológico nacional amparou-se até então no vasto potencial hidráulico presente no país: 75,4% da capacidade instalada são de hidreletricidade e respondem por cerca de 95% da eletricidade gerada. Apresentando limitadas reservas conhecidas de hidrocarbonetos, a opção pela hidreletricidade era favorável, pois a importação de combustíveis fósseis iria representar um grande peso nas contas externas, podendo limitar seu processo de desenvolvimento econômico (Oliveira, 2001). Contudo, a configuração da capacidade instalada para 2005 deverá ser alterada, conforme demonstra a Figura 16.



\* A importação considera o percentual da Itaipu Paraguai.

**Figura 16** – Capacidade instalada do Sistema Interligado Nacional

Fonte: Gazeta Mercantil, 20 maio 2002, p. 1.

Entre os fatores positivos da opção brasileira pela hidreletricidade, pode-se apontar:

- i) esta geração é tida como uma das formas mais “limpas” de energia, além de ser uma fonte renovável;
- ii) seu combustível, a água, sendo renovável, apresenta “custo nulo”, contabilizando-se apenas o investimento inicial em capital fixo nas hidrelétricas, pois as centrais hidráulicas são operadas em regime condominial, ou seja, regime em que a água de um mesmo percurso das centrais a montante ou a jusante é acordado pelas empresas para efeito de comercialização, com o objetivo de dividir o risco hidrológico e garantir o funcionamento de cada uma delas, respeitando-se suas respectivas dimensões;
- iii) seu combustível, em sua maior parte nacional, não tem peso nas contas externas;
- iv) o sistema hidráulico brasileiro dispõe de reservatórios plurianuais, o que pode retardar racionamentos por até 4 anos (D’Araújo, 2001);
- v) as hidrelétricas encontram-se dentro do sistema interligado nacional, facilitando o planejamento e o controle pelo ONS, e a energia é considerada “velha”, pois o valor investido nas grandes centrais hidrelétricas nacionais já foi há muito tempo amortizado;

- vi) o custo de geração é sempre inferior ao custo de produção de energia elétrica a partir de quaisquer outras fontes de geração de eletricidade,<sup>83</sup> principalmente em relação aos combustíveis importados e pagos em dólar;
- vii) o vasto potencial hidráulico está ainda a ser explorado,<sup>84</sup> sobretudo em PCHs.

Entre os fatores contrários ao atual padrão tecnológico utilizado no Brasil para a geração de eletricidade, é possível citar:

- i) o tempo necessário à construção e à operação de hidrelétricas, que é de, em média, 8 anos;
- ii) o elevado investimento inicial, levando o país a endividar-se, na maioria das vezes externamente, para a realização de tais obras;
- iii) os impactos sociais e ambientais resultantes do alagamento de grandes áreas e do remanejamento de pessoas e de espécies vegetais e animais locais;
- iv) a necessidade de um regime pluviométrico constante e um rígido controle para um melhor aproveitamento, planejamento e uso da água;
- v) o fato de grandes bacias hidrológicas ainda a serem exploradas encontrarem-se distantes dos grandes centros consumidores e requererem extensas malhas de transmissão, o que eleva seu custo e implica que os investimentos de geração e transmissão sejam feitos conjuntamente;
- vi) o fato de boa parte do potencial hidráulico disponível não poder realmente ser explorado, em virtude dos problemas ambientais e sociais que essa exploração pode gerar, dificultando sua instalação e exploração, que necessitarão de estudos de redimensionamento, ou de novas tecnologias, para potencializar esse aproveitamento;
- vii) a necessidade imposta ao Brasil de atrelar os preços da energia gerada pela água de “custo nulo” ao preço do petróleo e em dólar, embora o país possua uma base hidráulica.

Considerando os pontos indicados como prós e contras à sustentabilidade do atual padrão tecnológico instaurado no país, a crise de insuficiência no suprimento de eletricidade em 2001 colocou duas questões a serem geridas. A primeira refere-se à implantação do atual modelo de mercado no setor de energia elétrica, em que o planejamento *indicativo* pode impor riscos ao nível de garantia do sistema de planejamento anterior, no qual o governo assumia o papel de único investidor. A outra questão é a necessidade colocada por autoridades do setor

---

<sup>83</sup> O custo da geração hidrelétrica brasileira é da ordem de R\$ 40,00 o MWh. Ver Bertelli (2001).

<sup>84</sup> Segundo a ANEEL, estima-se que o país ainda tenha aproximadamente 260 mil MW a serem produzidos em hidreletricidade. Ver Gazeta Mercantil, 20 maio 2002, p. 6.

elétrico brasileiro de se modificar a atual matriz energética nacional em direção à implantação de térmicas a gás natural, diante de outras alternativas de combustíveis renováveis existentes para se diversificar a atual configuração. De acordo com o PPT, 40 usinas termelétricas a gás natural estão previstas para entrar em operação até 2004.<sup>85</sup>

Essas usinas estão sendo construídas, em sua maioria, por empresas privadas e em parcerias entre empresas privadas e a Petrobras. Entretanto, o objetivo é de que elas sirvam apenas como complementaridade ao atual sistema elétrico brasileiro, ou seja, funcionem como reforço à escassez ou insuficiência na produção da energia “velha”.

A energia gerada pelas usinas só é aproveitada quando despachada pelo Operador Nacional do Sistema (ONS). Em função do atual bom nível das chuvas, o ONS tem liberado apenas uma pequena quantidade, abaixo da capacidade das térmicas. O critério é colocar no sistema primeiro a energia mais barata, ou seja, a gerada por usina hidrelétrica (Gazeta Mercantil, 2002, p. 4).

As novas usinas termelétricas a gás natural que já estão em operação não têm conseguido vender sua energia ao Mercado Atacadista de Energia (MAE), em função do alto preço dessa geração<sup>86</sup> e em razão da recuperação de boa parte do combustível das hidrelétricas nacionais com as chuvas que ocorreram após o problema do “apagão” de 2001. Os investidores dessas centrais têm reclamado pela demora do governo em ressarcir-los dos prejuízos que tiveram com o investimento nesse tipo de geração.

Constata-se, assim, que o atual caminho seguido pelo Brasil em direção à mudança na matriz energética pode acarretar alguns problemas. D’Araújo (2001) enumera-os:

1.º) os contratos de gás natural, firmados no consumo contínuo, retiram a flexibilidade que as usinas térmicas deverão ter ao operar num sistema hídrico – em casos de abundância de água, o país ficará obrigado a usar a energia mais cara, paga em dólar, e mais poluente, sem operar com custo mínimo, onerando mais ainda o consumidor, além de impor à sociedade brasileira o “paradigma do custo marginal internacional”;<sup>87</sup>

---

<sup>85</sup> A lista dessas usinas e as metas e datas de entrada em operação encontram-se em Gazeta Mercantil, 20 maio 2002, p. 4.

<sup>86</sup> O custo da geração termelétrica é de aproximadamente R\$ 100,00 o MWh.

<sup>87</sup> O critério do custo marginal é utilizado pelo setor elétrico para se calcular o acréscimo de carga no sistema, que pode ser: de operação no curto prazo, de expansão no longo prazo e de dimensionamento de muito longo prazo, para serem usados em estudos de tarifação e em critérios de suprimento e operação ótima do parque gerador. Os custos marginais oriundos dos exercícios de planejamento da expansão são balizadores fundamentais para a formulação de políticas públicas e para a prática da regulação do governo, bem como a realização de planejamento estratégico por parte dos agentes atuantes no setor. Veja mais em Fortunato et al. (1990), capítulos 3 e 7, e em Bajay & Badanhan (2002).

2.º) o tamanho e a carga das usinas térmicas que estão sendo construídas no país exigirão uma mudança e revisão do padrão de proteção da rede de transmissão contra curtos-circuitos, independentemente de se localizarem longe ou perto dos centros de carga; além disso, ainda não se sabe quem arcará com esse custo, pois não há estudos sobre esse impacto;

3.º) as usinas térmicas necessitam de grande quantidade de água limpa, que funciona como fluido do sistema, um consumo inacessível a cidades ou regiões em que a água já se encontra escassa, uma vez que, por exemplo, uma usina de 600 MW consome em média 600.000 litros de água por hora.

Acrescenta-se a essas questões uma outra, de cunho social, que ficará mais evidente em breve, que é o crescimento contínuo do preço relativo da eletricidade brasileira, que tende a transformar a energia como mais um fator de exclusão social, sobretudo a partir da liberação de preços da “energia velha”, a ser negociada pelo MAE a partir de 2003.

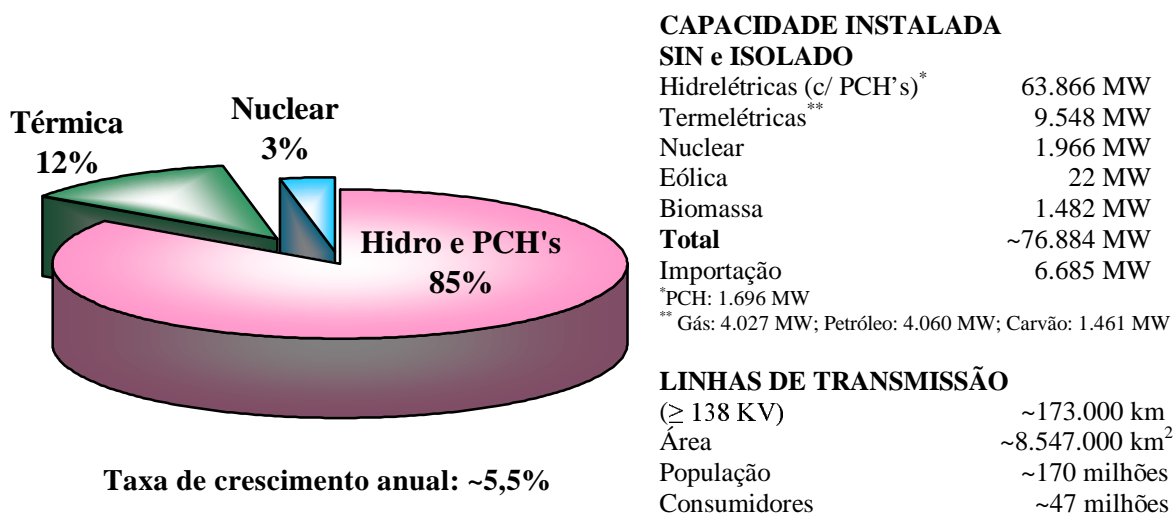
Evidencia-se assim uma fase de difícil transição pela qual tem passado o setor elétrico nacional, justificada por um processo de privatização que busca “novo fôlego” ou suporte à condução da política energética brasileira, encontrando-se ainda incompleto e não totalmente avaliado. O Brasil apresenta outras fontes de energia a serem exploradas, que poderiam sair menos caras e menos poluidoras para a sociedade brasileira, não se justificando a dependência pela importação de combustíveis fósseis – como o gás natural das novas térmicas. “... o país ainda dispõe de um potencial hídrico invejável, mais barato, menos poluidor e menos pernicioso ao equilíbrio da balança de pagamentos do que a propalada vantagem das usinas a gás” (D’Araújo, 2001, p. 158).

... realmente, as usinas a gás em ciclo combinado são a nova moda nos países desenvolvidos sem as opções renováveis brasileiras e avessos à opção nuclear. Essa forma de geração é de fato a menos poluidora, mais eficiente e mais barata das opções que se utilizam de combustíveis fósseis. Entretanto, não há sentido em impor ao Brasil tal patamar de preços, tendo em vista as opções hidráulicas ainda por construir e a obrigatória participação complementar ao sistema hídrico (D’Araújo, 2001, p. 160).

Para crescer, o país não necessita de seguir os padrões ditados pelos países industrializados, numa trajetória de problemas ambientais e de dependência. Para Goldemberg (2000), é possível crescer economicamente e se desenvolver, aumentando a fração de energia produzida a partir de fontes renováveis nacionais, e melhorar a eficiência energética.

No Brasil, em relação às fontes possíveis, a sociedade tem-se mostrado contrária à expansão do parque nuclear. Mesmo sendo “limpa” na emissão de CO<sub>2</sub>, essa energia gera lixo radioativo e pode causar desastres nucleares, representando ainda riscos de falta de segurança.

Essa fonte representa 3% da capacidade instalada no país (Figura 17), seu custo de geração por MWh é superior ao de uma usina hidrelétrica (R\$ 60 a R\$ 70 contra R\$ 40 da hidrelétrica), e o país apresenta a sexta maior reserva de urânio do mundo, com produção atual suficiente para abastecer Angra I e Angra II.



**Figura 17** – Capacidade instalada de eletricidade no Brasil (2002)  
Fonte: Porto (2002).

A crise de energia elétrica fomentou as esperanças de que Angra III saia do papel,<sup>88</sup> entretanto, em função do alto valor a ser investido (mais de R\$ 4 bilhões), recursos precisarão de ser buscados no exterior para levar o projeto adiante, e a sociedade brasileira ainda terá de aceitá-la. O desafio aqui será investir em tecnologias de gestão de resíduos e tornar as usinas mais seguras, ou decretar a moratória nuclear.<sup>89</sup>

O país deveria aproveitar melhor as “novas” renováveis: eólica, cogeração a partir da biomassa, PCH e, no futuro, a solar fotovoltaica, pois é possível explorá-las de acordo com o potencial, a vocação e as características de cada região brasileira.

No Ceará, o estado pioneiro na utilização da energia eólica, a crise de 2001 criou condições para a geração de fontes alternativas (gás natural e eólica), podendo chegar a 15

<sup>88</sup> O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) autorizou recentemente a Eletronuclear a realizar estudos complementares sobre a viabilidade econômica e ambiental de Angra III, e ainda foi solicitado à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) que apresente solução para armazenar os rejeitos radioativos, caso o projeto saia do papel.

<sup>89</sup> Na Comunidade Européia, dos oito estados-membros dotados de energia nuclear, cinco já adotaram ou adotarão, em poucos anos, a moratória nuclear. Ver Comissão das Comunidades Européias (2000).

parques eólicos até 2005.<sup>90</sup> No Rio Grande do Sul, estão sendo realizados estudos para aproveitar a força dos ventos.

Em relação à energia proveniente da biomassa, os projetos ainda não estão sendo realizados na velocidade esperada pelas empresas interessadas, em virtude de os contratos necessitarem de grandes investimentos iniciais, requererem licença ambiental, que é demorada, e pelo fato de as empresas concessionárias demandarem uma garantia de que os contratos de venda de energia a serem assinados entre as partes sejam de longo prazo.

Para a energia solar fotovoltaica, o custo de investimento ainda é muito alto, embora com o tempo possa ser reduzido, caso as empresas fabricantes de células fotovoltaicas se interessem em criar mercados ou subsídios, sobretudo a partir das decisões tomadas no Protocolo de Kyoto (Goldemberg, 2000).

Outra alternativa para o Brasil é o investimento em geração descentralizada – a microgeração, com potencial de até 100 MW. Esse tipo de usina, que pode ser construído a partir de fontes renováveis ou não, tem a vantagem de poder localizar-se próximo aos centros urbanos e em áreas em processo de urbanização. Sua proposta é atender a questões financeiras e a exigências ambientais, oferecendo mais e destruindo menos (Fraga, 2001).

Conclui-se, pois, que a nova forma de planejamento do setor elétrico brasileiro instaurada após o início das privatizações no setor,<sup>91</sup> apenas sinaliza para o mercado a necessidade de investimentos em energia no país. Logo, há o risco de o país viver períodos futuros de escassez de suprimento de eletricidade. Deve-se considerar ainda que a maior parte do território nacional é abastecido por sistemas isolados, impossibilitando a boa parte de brasileiros o suprimento de energia elétrica. Dentre os grandes desafios impostos ao novo modelo do setor energético nacional, além dos investimentos, da tecnologia e das atribuições entre o setor público e o privado, destaca-se a insipiência e a necessidade de avanço do aparato e instrumentos de regulação do setor, hoje atribuídos à ANEEL. Esse assunto por si só constituir-se-ia em um objeto de pesquisa específico, porém não é parte deste estudo.

---

<sup>90</sup> Os dados encontram-se em *Gazeta Mercantil*, 20 maio 2002, p. 5.

<sup>91</sup> Oitenta e cinco por cento das concessionárias de distribuição já se encontram com a iniciativa privada, e 80% da supremacia da geração de eletricidade ainda pertencem ao governo. Ver *Gazeta Mercantil*, 20 maio 2002, p. 3.

### 4.3 CRISE ENERGÉTICA: ESTÍMULO OU OBSTÁCULO A MODELOS ENERGÉTICOS SUSTENTÁVEIS?

A crise de insuficiência energética de 2001 mostrou a defasagem de investimentos na capacidade instalada do país para prover energia elétrica à sociedade, defasagem que precisa ser coberta no curto prazo.<sup>92</sup> Essa crise também evidenciou a fragilidade de um sistema energético que concentra em uma única e maior fonte o suprimento de eletricidade para o país, apontando as vulnerabilidades de uma matriz hídrica, em face das alterações sazonais e das intempéries climáticas, quando não bem administradas.

Tornou-se necessário então uma maior agilidade nas decisões que envolvem o setor, e, para corrigir o problema de forma rápida, há uma tendência de se investir em projetos de curta duração que, além de menos demorados, apresentam um custo de investimento menor.

O Brasil, se comparado a outros países, ainda apresenta baixo consumo de energia *per capita*. Nota-se que a demanda por energia elétrica no país cresceu mais rapidamente que a oferta, dada a insuficiência de investimentos, e que o consumo tende a aumentar ainda mais.<sup>93</sup> Esse aumento previsto de demanda implicará obrigatoriamente expansão da oferta, que na atualidade deverá observar a luta mundial contra as alterações climáticas, pois o Protocolo de Kyoto deve ser apenas a primeira de uma etapa para a redução das emissões dos GEE. Outros objetivos de longo prazo serão necessários para uma futura política energética de desenvolvimento sustentável.

Assim, as escolhas energéticas atuais deverão estar condicionadas ao contexto mundial, condizentes com as preocupações de ordem socioambiental, e, se persistir o contexto macroeconômico, deverão também estar de acordo com a liberalização do setor elétrico. As escolhas nacionais e as estratégias dos agentes do setor elétrico de cada nação tendem a assumir um efeito supranacional.

O setor elétrico das nações deverá incorporar três fatores em seu planejamento futuro: o atendimento à exigência de redução a baixos níveis de emissão de gases tóxicos na atmosfera terrestre, a segurança do suprimento ininterrupto de energia e o desenvolvimento sustentável. Impõe-se a necessidade de ser responsável ao lidar com energia, que deve ser sustentavelmente pensada pelo menos por 30 anos.

---

<sup>92</sup> Do total de investimentos no setor elétrico nacional, 50% referem-se a investimentos na geração e 50% na transmissão e distribuição.

<sup>93</sup> Consumidores brasileiros passaram de 8,1 milhões em 1970 para 47 milhões em 2000, e o consumo de eletricidade cresceu em média 4,7% ao ano, de 1995 a 2001. Ver Bertelli (2001).

A atual evolução de um sistema de suprimento energético requer a preparação de opções energéticas viáveis no futuro, respeitando as características de cada país, preservando o acesso aos recursos naturais, os combustíveis e suas fontes, buscando a preservação da diversidade de energia com o uso de fontes renováveis. Os avanços tecnológicos tenderão a reforçar uma nova estratégia energética.

A grande questão para o Brasil é: o risco de ruptura física de suprimento de eletricidade, ocorrida com a crise, deveria impor medidas mais onerosas de acesso aos recursos energéticos? A privatização levou à situação de expansão da geração elétrica desde a década de 1990 através de termelétricas, passando da hidreletricidade para combustíveis fósseis. Deve-se lembrar que as decisões atuais condicionarão os próximos 20-30 anos de futuro do padrão energético nacional.

O gás natural representa uma alternativa sedutora, porém indica o caminho em direção a uma nova dependência.

O mercado do gás natural em pouco se assemelha ao do petróleo, para além de estar indexado sobre o preço deste último. A sua freqüente proximidade geológica coloca-o imediatamente nas mãos das companhias de exploração petrolífera, o que explica as razões históricas desta indexação, ligadas à concorrência que o gás irá fazer ao petróleo (Comissão das Comunidades Européias, 2000, p. 47).

Não se podem subestimar então os efeitos de uma nova dependência sobre o balanço de pagamentos da nação, mesmo não evidenciando ainda a possibilidade futura de constituição de um cartel do gás, o que poderá vir a forçar o aumento do seu preço taxado em dólar.

O desenvolvimento da utilização de energias sustentáveis dependerá de esforços políticos e econômicos importantes e do interesse em dar prioridade a energias endógenas,<sup>94</sup> o que conferirá ao Brasil certa margem de manobra para aumentar a oferta interna de energia sem a dependência externa, quando do esgotamento dos recursos hídricos tão utilizados. Assim, o objetivo das energias renováveis é garantir o suprimento futuro de energia e o desenvolvimento sustentável, com o aumento de sua participação na matriz energética nacional.

Há necessidade de investimentos em programas ambiciosos a favor de combustíveis de substituição menos poluentes, como a biomassa, o sol, o vento, o hidrogênio e outros mais, que poderão surgir com a preparação de opções energéticas viáveis no futuro. O desenvolvimento tecnológico é necessário para o aprimoramento de algumas energias

---

<sup>94</sup> Energias renováveis e energia produzida a partir de resíduos para a produção de calor e cogeração.

renováveis que precisarão de investimentos ou auxílio para deslancharem. Os investimentos em eletricidade deverão priorizar a produção descentralizada, possibilitada mais uma vez pela “energia verde” proveniente de fontes renováveis. Esse tipo de produção confere, inclusive, maior aplicabilidade em nível local.

Os obstáculos para as renováveis são sobretudo de ordem financeira.

Há que reconhecer que certas energias renováveis exigem grandes investimentos iniciais, à semelhança dos que beneficiaram no passado outras energias, como o carvão, o petróleo e a energia nuclear. Uma das possibilidades de financiamento das energias renováveis a explorar poderia ser a sujeição das fontes de energia mais rentáveis – energia nuclear, petróleo, gás – a uma forma de contribuição para o desenvolvimento das energias renováveis [...] Note-se também que os obstáculos administrativos e ambientais são hoje muito maiores que na fase de desenvolvimento das energias convencionais e se traduzem em custos de investimento suplementares (Comissão das Comunidades Europeias, 2000, p. 52-53).

E ainda,

Estas energias não dispõem, para a sua promoção, das mesmas facilidades de que se puderam beneficiar outros setores na sua fase de lançamento (petróleo, carvão, energia nuclear). Além disso, o auxílio às energias renováveis justifica-se pelo fato de as energias convencionais não contribuírem de forma significativa para os custos externos que representam e que foram objeto de profundas avaliações quantitativas. Não pagam, por exemplo, imposto pelas emissões de CO<sub>2</sub> que produzem. É por esta razão que, atualmente, o auxílio ao financiamento das energias renováveis – não rentáveis – poderia ser constituído por impostos de caráter temporário sobre uma parte dos lucros de outros operadores no setor da energia (petróleo, gás, energia nuclear) (Comissão das Comunidades Europeias, 2000, p. 88).

Uma possibilidade seria um co-financiamento através da contribuição dos setores cujo desenvolvimento se beneficiou anteriormente de auxílios consideráveis e que hoje são muito rentáveis, como o gás natural, o petróleo e a energia nuclear. A imposição de um percentual mínimo de eletricidade a ser produzida a partir de energias renováveis e a ser comprada por produtores e distribuidores de energia coloca-se como um desafio ambiental.

No Brasil, a diversificação do suprimento é necessária. A crise de 2001 demonstrou o perigo da grande concentração numa só fonte de energia, o que compromete a segurança do suprimento. Impõe-se também a necessidade de um modelo sustentável de produção e consumo de energia, sem comprometer o país em relação ao desafio das alterações climáticas, pois as escolhas nacionais de política energética tendem a assumir efeitos globais em breve.

Portanto, a redução da dependência em relação aos combustíveis fósseis é uma necessidade ambiental e um desafio tecnológico. Se não for possível acabar com o fenômeno da poluição ambiental, é necessário ao menos retardá-lo, com fontes de energia renovável e

com o uso de tecnologias mais eficientes e corretivas (*end-of-pipe*) dos impactos causados pelas formas de geração convencionais e poluentes. A futura política energética de qualquer país deverá considerar objetivos de longo prazo de desenvolvimento sustentável, respeitando os limites impostos ao crescimento econômico com o mínimo de poluição possível. As novas tecnologias, com certeza, terão um papel crucial ao contribuir para que grande parte desses objetivos sejam atingidos.

O custo elevado de implantação das “novas” renováveis, quando comparado ao das tecnologias tradicionais, poderá não significar preços baixos de energia à sociedade, o que deverá ser buscado, pois desenvolvimento sustentável implica energia disponível a todos a um preço acessível, através de uma política energética interna que também incorpore a dimensão social.

Em resumo, as falhas da atual insuficiência de oferta de energia elétrica brasileira mostraram os riscos em que o país incorre em decorrência do problema. Esses riscos seriam:

- físicos: a vulnerabilidade de depender de uma única fonte de energia sujeita a alterações sazonais e climáticas, ou de esse setor concentrar-se nas mãos da iniciativa privada, não descartando a possibilidade de rupturas temporárias, causadas por greves e cortes de energia;
- econômicos: a adoção de combustíveis fósseis para diversificar a matriz energética nacional, através de usinas a gás natural, não dissocia o mercado brasileiro dos preços praticados no mercado internacional para esse tipo de combustível, o que poderá ser nocivo para as contas externas nacionais, já tão vulneráveis; a incerteza regulatória do setor tem contribuído para agravar os problemas dos novos contratos a serem firmados com o objetivo de aumentar a capacidade instalada;
- sociais: a privatização do setor e uma maior dependência de combustíveis fósseis tendem a demonstrar que o valor do kWh da energia elétrica vai aumentar no futuro, pois os contratos são firmados em dólar e a energia será negociada em breve pelo MAE; essa situação poderá comprometer o acesso à energia como um bem essencial, podendo também contribuir para a queda de empregos no longo prazo, e excluir de seu acesso uma parcela da população, ou até mesmo impor um retrocesso tecnológico, como, por exemplo, a volta das lamparinas;
- ambientais: a dimensão ambiental já incorporada nos projetos do setor elétrico deverá ser mantida, pois a luta contra as emissões dos GEE deve continuar para além da 1.<sup>a</sup> fase do Protocolo de Kyoto, e exigirá políticas de longo prazo maduramente ponderadas e refletidas, definindo para pelo menos nos próximos 30 anos a estrutura de geração e consumo de energia elétrica; a solução ambiental deve ser, portanto, a opção pelo “mal” menor ao meio ambiente, diante das tecnologias e dos recursos disponíveis.

Conclui-se, assim, que novos elementos são impostos à política energética brasileira, oportunizados pela crise do setor, a saber: a necessidade de investimentos na continuação do programa tecnológico com objetivo de atingir maior eficiência energética; a necessidade de melhorar tecnologias convencionais para reduzir as poluições causadas; a introdução e maior participação das “novas” renováveis na matriz energética nacional; e a criação de instrumentos de orientação da demanda, através da conscientização das indústrias e da sociedade do caráter nocivo do consumo de energia descontrolado e suas implicações sobre o fornecimento futuro. Logo, o desenvolvimento econômico deverá ser respeitador do ambiente e impor um modelo sustentável de produção e consumo de energia.

Os desafios são grandes e diversificados e envolvem ações políticas, econômicas e tecnológicas inovadoras. A manutenção da matriz atual aponta para beneficiar uma perspectiva de sustentabilidade. Sugere-se que a busca de alternativas tecnológicas sejam analisadas e decididas não apenas sob a perspectiva econômica, mas também sob uma perspectiva socioambientalmente sustentável.

## CONCLUSÕES

A presente dissertação buscou analisar a interligação das tecnologias de geração de eletricidade e meio ambiente, numa tentativa de explicitar a natureza multidisciplinar da questão energética e investigar se o paradigma tecnológico subjacente à matriz energética brasileira e às pressões da crise energética em curso facilitam ou obstaculizam o desenvolvimento do setor e da economia nacional numa direção menos impactante ambientalmente.

Essa discussão, no entanto, só foi possível através da utilização da abordagem evolucionista, por permitir interpretar as inovações tecnológicas e/ou organizacionais como instrumentos que podem ser orientados para a mitigação de questões ambientais, visando aliar crescimento econômico a equidade social e preservação do meio ambiente. Para tal, torna-se necessário gerar e difundir inovações “mais limpas”, em busca de soluções numa perspectiva de desenvolvimento sustentável. O formato conferido ao aparato regulatório das atividades inovativas e ambientais, a pressão internacional e o acirramento do processo competitivo podem contribuir na área de geração energética para exercer a correção de externalidades produzidas a partir de fontes fósseis, com o uso de tecnologias corretivas (*end-of-pipe*) na geração de energia. Essa atitude revela uma tendência mundial de se permanecer ainda durante algum tempo dentro do paradigma vigente, ou seja, o “paradigma dos hidrocarbonetos”, evidenciando assim o quanto é difícil concretizar-se uma mudança para um novo paradigma no setor energético (*lock-in* tecnológico) e ainda se generalizar a compreensão acerca de sua necessidade, concepção e implementação.

Através da análise da evolução do setor elétrico no Brasil, pôde-se concluir que é essencial um ambiente institucional propício, que apoie a reestruturação da economia energética global e que permita a continuação do progresso econômico do país. A limitação dos recursos para a produção de eletricidade é certamente preocupante, quando se percebe a vulnerabilidade do suprimento energético futuro em face das evidências do crescimento da demanda continuada. Haverá assim uma pressão crescente sobre o setor para o maior uso de fontes de energia e de fontes diferentes das tradicionais para sua geração.

Com a análise das tecnologias para a geração de energia elétrica, verificou-se que as tecnologias associadas aos combustíveis de origem fóssil são as mais utilizadas no mundo e as mais poluentes e impactantes na emissão de CO<sub>2</sub> sobre o meio ambiente e a sociedade, e que essas fontes são limitadas e não renováveis, diante da velocidade de seu uso e consumo. Como não se consegue trocar rapidamente o “paradigma dos hidrocarbonetos”, as opções

colocadas para a redução das externalidades ambientais causadas para a geração de eletricidade foram o melhoramento na eficiência das tecnologias de geração de combustíveis fósseis, buscando assim reduzir os poluentes na fonte de sua produção, e/ou o aumento da participação dos combustíveis renováveis na geração de eletricidade.

Foi visto também que as tecnologias têm sido melhoradas e que novas estão surgindo, mesmo não sendo aplicadas em larga escala, por enquanto. Embora não se tenham apontado as inovações tecnológicas mais adequadas, admitiu-se que a geração, a partir de fontes renováveis, é ambientalmente e politicamente mais adequada a tal propósito, apesar de as “novas” renováveis até o momento tenderem a apresentar custo de geração elevado. Com certeza, o desenvolvimento de novas tecnologias para o setor terá um importante papel na satisfação das necessidades atuais e futuras para a geração de eletricidade em atendimento ao crescimento econômico, sem maior degradação do meio ambiente, mesmo sendo necessários grandes investimentos em P & D para se buscar o aprimoramento das técnicas poluentes atualmente em uso. As tecnologias energéticas voltadas para geração, distribuição e uso de “energia limpa” figuram, portanto, como elemento crucial a qualquer tentativa de desenvolvimento sustentável fundamentado em bases infra-estruturais.

Constatou-se que a tendência é de que as “novas” fontes renováveis se tornem mais atrativas e competitivas no futuro, principalmente quando os países introduzirem em suas análises de custo/benefício as questões ambientais e sociais provocadas pelo uso de energia produzida a partir de tecnologia e combustíveis poluentes. Isso só será possível quando cada país reconhecer a necessidade de evoluir sustentavelmente e tomar decisões políticas direcionadas à geração de eletricidade a partir das fontes existentes e sem dependência externa.

Em relação ao Brasil, verificou-se que novos elementos são impostos à política energética nacional, oportunizados pela crise do setor: a necessidade de investimentos na continuação do programa tecnológico, com objetivo de atingir maior eficiência energética; a necessidade de melhorar tecnologias convencionais para reduzir a poluição causada; a introdução e maior participação das “novas” renováveis na matriz energética nacional; e a criação de instrumentos de orientação da demanda, através da conscientização das indústrias e da sociedade sobre o caráter nocivo do consumo de energia descontrolado e suas implicações sobre a necessidade de fornecimento futuro. Logo, o desenvolvimento econômico atual deverá ser respeitador do ambiente e impor um modelo sustentável de produção e consumo de energia.

As restrições impostas pelo Protocolo de Kyoto, embora no curto prazo, uma vez mais enfraquecidas com o fracasso da Conferência de Joanesburgo, reforçam a necessidade de crescimento sem maiores agressões ao ambiente externo. A crise energética e a tendência internacional de ênfase ao ambientalismo propiciam o surgimento de oportunidades para que novas possibilidades tecno-energéticas se instaurem. O Brasil, ao ratificar o Protocolo, deverá preocupar-se com os rumos de sua política energética atual e futura e reconhecer que as decisões tomadas hoje poderão suscitar implicações energéticas, no uso de recursos e em sua postura perante os demais países participantes do acordo num longo espectro de tempo.

A crise de insuficiência de geração de energia elétrica de 2001 mostrou que toda crise deve servir de estímulo e oportunidade para a reflexão do rumo seguido até o momento e que pode ser corrigida através da adoção de inovações tecnológicas e fontes de energia alternativas. Serviu também para evidenciar a necessidade de se rever a matriz energética nacional e de buscar maior adequação das estruturas de produção, distribuição e consumo de energia. Mesmo que as novas usinas a serem instaladas apresentem o caráter de complementaridade às já vigentes no setor elétrico, as decisões políticas atuais para essa complementaridade deverão buscar conjugar o equilíbrio de eficiência e as opções tecno-energéticas menos poluentes e dependentes de recursos do exterior, considerando os problemas ambientais, os problemas de balanço de pagamentos e seu custo para a sociedade brasileira. O momento agora é para se refletir sobre o uso mais eficiente e sustentável dos recursos energéticos de que o país dispõe.

A estratégia adotada pelo governo, no primeiro momento da crise, para aumentar a capacidade instalada, através do PPT a gás natural, mostra-se mais nociva em termos ambientais e cambiais no longo prazo, pois, além de envolver tecnologias mais poluentes que a hidreletricidade, poderá fomentar crises internas por meio da dolarização da tarifa de um bem essencial, porque o preço do gás natural flutua em dólar. Essa ação poderá tornar a energia elétrica um fator de exclusão social e levar os segmentos sociais excluídos a um retrocesso tecnológico e econômico. É fundamental considerar que o desenvolvimento sustentável necessariamente apresenta como um de seus basilares a equidade social, o que não tem sido considerado pelos novos agentes envolvidos e comprometidos com o setor elétrico nacional. Assim, os tomadores de decisão do setor parecem não ter refletido quando optaram por uma estratégia dependente e não sustentável no longo prazo, explicada talvez pelo imediatismo na resolução da insuficiência de energia elétrica.

Apesar disso, o tempo para adequação da oferta de eletricidade à dimensão do mercado e a sua taxa de expansão têm-se mostrado insuficientes para livrar o país de novas

crises de suprimento energético nos próximos anos. Tudo indica que as incertezas regulatórias que envolvem o setor privatizado de forma aparentemente precipitada e errônea, em virtude de não se dispor de aparato institucional suficientemente desenvolvido e eficaz simultaneamente à privatização, poderão não garantir que as novas usinas entrem em funcionamento em breve, nem que as concessionárias existentes operem e invistam de acordo com o necessário à satisfação adequada à demanda atual e futura de energia no Brasil. Enquanto não se tiver a garantia do valor normativo mínimo estipulado pelo governo e a ser pago pela nova geração no mercado, as obras podem manter-se paradas e as novas tecnologias continuarem em compasso de espera, configurando-se dessa forma um elemento adicional de incerteza aos investimentos no setor. Crescentemente se difunde a consciência de que não pode ser deixada apenas para o mercado a solução de problemas estruturais, como os presentes no setor energético do país, cabendo ao Estado brasileiro importante papel na orquestração das ações públicas e privadas adotadas nesse sentido.

Este estudo permitiu constatar que as mudanças tecnológicas são induzidas, estimuladas ou limitadas por fatores como: escassez de recursos críticos, gargalos tecnológicos, choques na oferta que implicam aumentos de preço, alteração na composição e na taxa de desenvolvimento da demanda, alterações nos preços relativos dos fatores de produção, entre outros. Sendo assim, o dinamismo das instituições e firmas presentes num ambiente competitivo reforça suas habilidades em utilizar os mecanismos de seleção de inovações para propagar o crescimento econômico. E o Brasil, por possuir recursos naturais diferentes e abundantes, apresenta, via suas instituições e firmas, maior potencialidade e vantagem de poder selecionar e difundir modelos tecnológicos mais limpos do que a grande parte dos países mais industrializados, notadamente os da Europa e da Ásia. Então, para crescer economicamente, o país não precisa adotar a trajetória dos países hoje industrializados, de alto consumo energético e sérios problemas ambientais. Há uma tendência para o aumento da fração das renováveis na matriz energética mundial, e o Brasil não precisa trilhar qualquer rumo na “contramão da história” por não ser hoje considerado um grande poluidor.

Para tal, políticas de eficiência energética devem ser realizadas juntamente com uma maior produção de eletricidade, visando conscientizar a sociedade sobre as implicações de um consumo inconseqüente de energia, o que se reflete sobre os desperdícios presentes nos padrões de consumo atuais. A não-realização de tais políticas poderá pressionar assim um maior uso de fontes energéticas para a geração, o que pode inclusive anular o efeito de

grandes investimentos. Então, as inovações tecnológicas em geração de energia elétrica não excluem a conscientização da sociedade sobre o consumo de energia.

A grande conclusão a que se chega é de que o Brasil, diante das pressões da recente crise de oferta de eletricidade, propiciou o desenvolvimento do setor elétrico rumo a uma direção mais impactante ambientalmente em sua matriz energética, facilitada num primeiro instante pela velocidade da instalação das termelétricas e pela tecnologia conhecida e disponível. Porém, o Proinfa poderá promover um retorno às “novas” fontes renováveis, haja vista que a base renovável e “limpa” da matriz energética nacional sempre se constituiu num fator de promoção e orgulho do país, perante os benefícios sociais, econômicos e ambientais que confere à nação. É preciso prudência nos assuntos energéticos, numa tentativa de impedir que erros cometidos no passado continuem a ser praticados, novamente evidenciando a importância do planejamento consciente nesse setor.

Logo, os desafios são grandes e diversificados e envolvem ações políticas, econômicas e tecnológicas inovadoras. No entanto, o caminho a ser trilhado pela matriz energética atual tende a apontar para a continuação de uma perspectiva de sustentabilidade. Alerta-se mais uma vez para a necessidade de que as alternativas tecnológicas no país sejam analisadas e decididas, não apenas sob a perspectiva econômica, mas também sob uma perspectiva socioambientalmente sustentável. Sugere-se ainda que a busca de soluções para as questões energéticas no Brasil se dê de forma integrada, conjugando e associando as decisões do Ministério de Minas e Energia a outros ministérios e instituições brasileiras afins que possam colaborar nas discussões, principalmente quando a natureza do problema for multi-dimensional ou multi-setorial.

Eis outras indagações para pesquisas futuras, a título também de sugestão: os impactos ambientais ligados ao transporte e aos usos finais de energia elétrica; os instrumentos políticos mundiais usados para a redução da emissão de CO<sub>2</sub>; e os custos de geração de eletricidade em comparação com o custo implícito da eficiência e conservação de energia elétrica.

## REFERÊNCIAS

1. ALMEIDA, L. T. **Política ambiental**: uma análise econômica. Campinas: Papirus, 1998.
2. ANDERSON, D. Energia e meio ambiente: possibilidades técnicas e econômicas. **Finanças & Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 2, p.10-13, jun. 1996. Publicação trimestral do FMI/BM.
3. ANDRÉ, L. de M. Termelétricas no horizonte. **Revista Politécnic**a, São Paulo, n. 218, p. 29-32, ago. 2001.
4. ANEEL. **Guia para utilização de recursos na Conta Consumo de Combustíveis...** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 24 out. 2001.
5. \_\_\_\_\_. **Lei n.º 10.438, de 26 de abril de 2002**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 10 ago. 2002.
6. BAJAY, S. V.; BADANHAN, L. F. **Energia no Brasil**: os próximos dez anos. Brasília: DNPE/SE/MME, 2002.
7. BERTELLI, L. G. **Crise energética**: a perigosa mistura da omissão com a incompetência. 2. ed. São Paulo: LG Consultoria, 2001.
8. BNDES. **Capacitação tecnológica na indústria**. Rio de Janeiro: DEEST, n. 13, mar.1990. Mimeografado.
9. BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano decenal de expansão 2001-2010**. Brasília: MME, 2001. 270p.
10. \_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional 2000**: ano base 1999. Brasília: MME, 2000.
11. \_\_\_\_\_. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional 2001**: ano base 2000. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 2 fev. 2002.
12. BROWN, L.; FLAVIN, C. Uma nova economia para um novo século. In: BROWN, L. et al. **Estado do mundo 1999**. Salvador: UMA, 1999. p. 3-22.
13. CARVALHO, J. F. de. As raízes da crise do sistema elétrico. **Jornal dos Economistas**, Rio de Janeiro, n. 144, p. 3-4, jun. 2001.
14. COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS. **Livro verde**: para uma estratégia europeia de... Disponível em: <<http://www.eletrabras.gov.br>>. Acesso em: 14 abr. 2002.
15. COMISSÃO DE POLÍTICAS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DA AGENDA 21 NACIONAL. **Agenda 21 brasileira: ações prioritárias**. Brasília: [s.n], 2002. 167 p.
16. COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1987.

17. CONJUNTURA ECONÔMICA. O encontro de Quioto. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, v. 51, n. 12, dez. 1997.
18. \_\_\_\_\_. A polêmica ambiental. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, v. 53, n. 2, fev. 1999.
19. \_\_\_\_\_. Gás natural: 56 usinas até 2003. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, v. 55, n. 1, jan. 2001.
20. DALCOMUNI, S. M. **Dynamic capabilities for cleaner production innovation: the case of the market export pulp in Brazil.** 1997. DPhil thesis. SPRU, University of Sussex, Brighton, 1997.
21. \_\_\_\_\_. **Sistemas setoriais de inovação: abordagem tecnológica da firma numa perspectiva evolucionista.** Trabalho apresentado no Seminário Internacional: A situação atual da microeconomia - uma perspectiva metodológica, Curitiba, 16-17 out. 2000.
22. D' ARAÚJO, R. P. Possibilidade, razões e desafios da crise de suprimento de energia elétrica no Brasil. In: LESSA, C. et al. **O Brasil à luz do apagão.** Rio de Janeiro: Palavra & Imagem. 2001.
23. DINIZ, E. M. O protocolo de Kyoto. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 2, p. 311-321, abr./jun. 1998.
24. DOSI, G.; ORSENIGO, L. Coordination and transformation: an overview ... In: DOSI, G. et al. **Technical change and economic theory.** London: Pinter, p. 13-37, 1988.
25. DOSI, G. **Technical change and industrial transformation: the theory...** London: Macmillan, 1984.
26. \_\_\_\_\_. Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation. **Journal of Economic Literature**, London, v. 26, p. 1120-1171, sept. 1988.
27. ELETROBRAS. **Plano Nacional de Energia Elétrica 1993-2015 - Plano 2015, Projeto 11: a política tecnológica e o setor elétrico.** Rio de Janeiro: Eletrobras, 1993.
28. \_\_\_\_\_. **Informe Mercado.** Rio de Janeiro: Eletrobras, set. 2002.
29. FERREIRA, C. K. L. Privatização do setor elétrico no Brasil. In: PINHEIRO, A. C.; FUKASAKU, K. (Ed.). **Privatização no Brasil: o caso dos serviços de utilidade pública.** [S. l.]: DRI, 2000.
30. FLAVIN, C.; DUNN, S. Reinventando o sistema energético. In: BROWN, L. et al. **Estado do mundo 1999.** Salvador: UMA, 1999. p. 23-41.
31. FORTUNATO, L. A. M. et al. **Introdução ao planejamento da expansão e operação de sistemas...** Niterói: Eduff, 1990.
32. FRAGA, O. Geração descentralizada. **Revista Politécnica**, São Paulo, n. 218, p. 34-36, ago. 2001.

33. FREEMAN, C.; PEREZ, C. Structural crises of adjustment business cycles... In: DOSI, G. et al. **Technical change and economic theory**. London: Pinter, 1988. p. 38-66.
34. FREEMAN, C. Formal scientific and technical institutions... In: LUNDVALL, B-A. **National systems of innovation: towards...** London: Pinter, 1992. p. 169-187.
35. \_\_\_\_\_. The greening of technology. **Futures**, v. 26, n. 10, p. 1019-1022, 1994.
36. GAZETA MERCANTIL. Relatório energia elétrica. São Paulo, 20 maio 2002. Suplemento especial.
37. GOLDEMBERG, J. O futuro energético desejável para o Brasil. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, p. 38-49, jul. 2000. Fórum de Líderes.
38. \_\_\_\_\_. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Edusp, 2001.
39. INFORME INFRA-ESTRUTURA. **Energia elétrica no Brasil: retrospecto e perspectivas**. n. 13, ago. 1997. Disponível em: <<http://www.eletrabras.gov.br>>. Acesso em: dez. 2001.
40. KEMP, R.; SOETE, L. The greening of technological progress: an evolutionary perspective. **Futures**, v. 24, n. 5, p. 437-457, 1992.
41. KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 5. ed. São Paulo: Perspectiva, 2000.
42. LAFIS – Pesquisa e investimentos em ações na América Latina. Pós-privatização: investimentos na lanterna. **Carta Capital**, São Paulo, ano 7, n. 124, p. 24-27, 7 jun. 2000.
43. LESSA, C. Antídoto para a crise. **Revista CREA**, Rio de Janeiro, n. 35, p. 11-12, ago./set. 2001a.
44. \_\_\_\_\_. Do medo ao apagão: reconstruir a nação. In: LESSA, C. et al. **O Brasil à luz do apagão**. Rio de Janeiro: Palavra & Imagem, 2001b.
45. LIMPANDO a barra. **VEJA**, São Paulo, ano 33, n. 41, p. 80, 11 out. 2000.
46. LUNDVALL, B-A. **National systems of innovation: towards a...** London: Pinter, 1992.
47. LUSTOSA, M. C. **Meio ambiente, inovação e competitividade na indústria brasileira: a cadeia produtiva do petróleo**. 2002. 238 f. Tese (Doutorado em Economia) - Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
48. MALUFE, A. C. Quem aposta na energia nuclear? **Revista Politécnica**, São Paulo, n. 218, p. 37-39, ago. 2001.
49. MARTIN, J. M. A economia mundial da energia. São Paulo: Unesp, 1992.
50. MENDONÇA, J. C. **Setor elétrico brasileiro**. Relatório apresentado ao Banco Garantia. Rio de Janeiro, 1993.
51. NELSON, R.; WINTER, S. **An evolutionary theory of economic change**. Cambridge: Harvard University Press, 1982.

52. NELSON, R. The co-evolution of technology, industrial... **Industrial and Corporate Change**, Oxford, v. 3, n. 1, p. 47-63, 1994.
53. OLIVEIRA, A. A economia real, existe! In: LESSA, C. et al. **O Brasil à luz do apagão**. Rio de Janeiro: Palavra & Imagem, 2001.
54. PALETTA, C. E. M. **Políticas, financiamentos, incentivos...** Palestra proferida no 2.º Fórum de Energia Limpa, Rio de Janeiro, 29-30 jul. 2002.
55. PAULA, T. H. P. de. **Tecnologia e arcabouço institucional**: as transformações... 1999. 122 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Centro de Ciências Jurídicas e Econômicas, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1999.
56. POLITÉCNICA. Dossiê: o Brasil tem futuro energético? São Paulo: Epusp, n. 218, p. 22-39, ago. 2001.
57. PORTER, M. E.;VAN DER LINDE, C. Ser verde também é ser competitivo. **Revista Exame**, São Paulo, ano 28, n. 24, p. 72-78, 22 nov. 1995.
58. PORTO, L. **O papel da energia alternativa na política energética do Brasil**. Palestra proferida no 2.º Fórum de Energia Limpa, Rio de Janeiro, 29-30 de jul. 2002.
59. RATTNER, H. **Liderança para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Nobel, 1998.
60. REIS, L. B. dos.; SILVEIRA, S. (Org.). **Energia elétrica para o desenvolvimento sustentável**: introdução de uma visão multidisciplinar. São Paulo: Edusp, 2000.
61. REVISTA CREA. Em busca da luz. Rio de Janeiro: CREA, n. 35, ago./set. 2001.
62. ROCHA, M. T. Aquecimento global e o seqüestro de carbono em projetos agroflorestais. **Revista Trevisan**, São Paulo, n. 151, p. 28-34, nov. 2000.
63. ROSA, L. P. A crise de energia: uma reputação empírica do modelo econômico neoliberal. In: LESSA, C. et al. **O Brasil à luz do apagão**. Rio de Janeiro: Palavra & Imagem, 2001.
64. ROSENBERG, N. **Perspectives on technology**. Cambridge: Harvard University Press, 1976.
65. \_\_\_\_\_. **Inside the black box**: technology and economics. Cambridge: Harvard University Press, 1982.
66. SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2000.
67. SAMPAIO, F. **Perspectivas do setor elétrico brasileiro**. Palestra proferida na ELETROBRAS, Rio de Janeiro, 8 fev. 2001.
68. SCHUMPETER, J. A. **Capitalismo, socialismo e democracia**. Rio de Janeiro: Zahar, 1984.

69. \_\_\_\_\_. **Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação...** São Paulo: Nova Cultural, 1997.
70. VALLE, C. E. do. **Como se preparar para as normas ISO 14000: qualidade...** 3. ed. São Paulo: Pioneira, 2000.