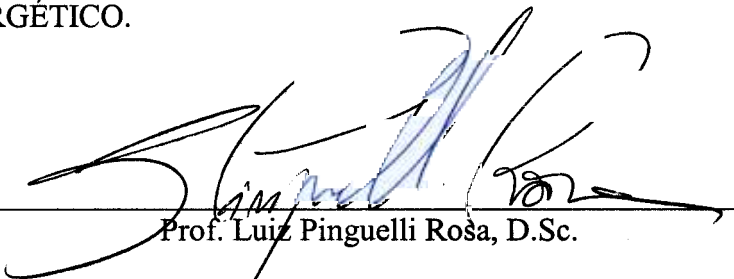


FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS COMPLEMENTARES NA EXPANSÃO DO  
SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO: O CASO DA ENERGIA EÓLICA.

Neilton Fidelis da Silva

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS  
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS  
EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Aprovada por:



---

Prof. Luiz Pinguelli Rosa, D.Sc.



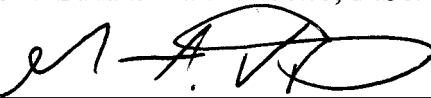
---

Profª. Maria Regina de Oliveira Pereira de Araújo, D.Sc.



---

Profª. Suzana Kahn Ribeiro, D.Sc.



---

Prof. Marcos Aurelio Vasconcelos de Freitas, D.Sc.



---

Profª. Maria Silvia Muylaert, D.Sc.



---

Prof. Ricardo Ferreira Pinheiro, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

ABRIL DE 2006

SILVA, NEILTON FIDELIS

Fontes de Energia Renováveis  
Complementares na Expansão do Setor  
Elétrico Brasileiro: O Caso da Energia  
Eólica [Rio de Janeiro] 2006

VIII, 263 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc.,  
Planejamento Energético, 2006)

Tese - Universidade Federal do Rio de  
Janeiro, COPPE

1. Aproveitamento do Potencial Eólico Brasileiro

I. COPPE/UFRJ II. Título ( série )

## Dedicatória

Este trabalho é dedicado a minha companheira Edna e meus filhos Gabriel e Nara, motivo maior dessa empreitada.

Ao Sr Nazareno Costa como forma de externar meu agradecimento ao crédito depositado lá no início.

Dedico também a meu tio Gilberto, por tantas coisas que nem saberia expressar.

“No Leste espera-se que o teatro político mude a sociedade, mas não é permitido falar sobre nada; no Ocidente, é permitido falar sobre tudo que se queira, mas não é permitido mudar absolutamente nada” – *Conrand Rheinhold*

o mundo é grande e o destino me espera  
não é você quem vai me dar na primavera  
as flores lindas que eu sonhei no meu verão.  
cartas na mesa o jogador conhece o jogo pela regra não sabes tu  
eu já tirei leite de pedra  
só pra te ver sorrir pra mim não chorar  
você foi longe me machucando provocou a minha ira  
só que eu nasci entre o velame e a macambira  
quem é você pra derramar meu mungunzá.

*Petrúcio Amorim.*

## Agradecimentos

Meus sinceros agradecimentos:

a Geralda Nívea Pereira, pela acolhida e carinho sempre disponíveis;

a José Ignácio Pereira, pelo apoio incondicional;

a Niraci Aliete, em nome de toda família, pelo carinho;

a minha tia Salete Araújo pelo apoio lá no começo de tudo;

a Antonia Franscimar, pela cumplicidade;

a Francisco Sobral, também pela cumplicidade;

a Marcelo Marques, pela ajuda com a obra de Marx e Amizade;

a Ednaldo de Paiva Pereira, pelo carinho;

a minha família no Rio de Janeiro, Abigail, Ângelo, Glicério (no mundo), Isadora, Jorge, Manuela e Paulinha, pela forma que cultivamos essa nossa *especial* família;

a todos do IVIG, em especial a Angela (pela trama do gosto, segurança do gesto, afinidades e afins), Aurélio, Bianca, Bianco, Cícero (pela ternura), Christiano, Ednaldo, Fátima, Leonardo, Luciana (pela cumplicidade), Luiz Guilherme, Márcia Real, Maria Sílvia, Professor Marcos Freitas, Professora Suzana Kanh, Rachel (pelo crédito), Rodrigo, Sônia, Sylvia Rola (pela atenção, tempero e, “olha só”, pelos destemperos) e Victor, pela amizade e pelo que aprendemos, ensinamos e tornamos a aprender juntos e nos faz seguir melhor;

a Adriana Fiorotti, pelo exemplo e amizade;

a Fátima Alexandre, pela atenção sempre carinhosa,

a José Luiz, pela amizade;

a Leonardo Ribeiro, pela franqueza e desprendimento,

a Professora Maria Regina, pela compromisso e atenção depositada,

ao Professor Luiz Pinguelli Rosa, pela oportunidade, atenção, confiança e ensinamentos.

Ao corpo funcional e gestor do CEFET-RN, pela oportunidade;

ao povo brasileiro que através da CAPES contribuiu com este trabalho.

Também agradeço de coração a todos que de alguma forma, por mais simples que seja o gesto, me ajudaram nesse trabalho.

## Agradecimento Especial

Agradeço a todos os professores do Instituto de Economía Energética IDEE/Fundación Bariloche, em especial a Carlos E. Suárez (*in memoriam*), Héctor Pistonesi e Victor Bravo pelo compromisso e paixão dedicados aos seus trabalhos que a mim serviram de estímulo e modelo a ser seguido.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS COMPLEMENTARES NA EXPANSÃO DO  
SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO: O CASO DA ENERGIA EÓLICA.

Neilton Fidelis da Silva

Abril/2006

Orientadores: Luiz Pinguelli Rosa.

Maria Regina de Oliveira Pereira de Araújo

Programa: Planejamento Energético

O trabalho orienta-se pelo atual ambiente de interesse no desenvolvimento tecnológico e ampliação do uso das fontes renováveis de energia complementares no Brasil. Objetiva a apreensão dos elementos que norteiam o desenvolvimento das fontes alternativas de energia, em particular a eólica. Faz uma avaliação histórico-crítica do processo de construção da indústria elétrica e as condicionantes que a levaram a firmar-se sobre uma base tecnológica centralizada em sua produção, pautada na tecnologia termoelétrica e hidráulica. Expõe os determinantes que configuraram a substituição das formas renováveis de energia e o contexto motivacional do recente retorno destas à ordem internacional. Discute o processo de estruturação do mercado de energia elétrica brasileiro e analisa as relações entre a crescente necessidade do uso de novas tecnologias de aproveitamento energético e o desenvolvimento pautado na liturgia do desperdício. Expõe os determinantes do esgotamento do modelo de expansão do setor elétrico, mostra que da instabilidade da manutenção deste viabilizam-se as ações de pesquisa e desenvolvimento do uso da tecnologia eólio-elétrica. A pesquisa descreve os arranjos institucionais usados para a sua promoção, contemplando a experiência brasileira e as principais oportunidades e barreiras a uma maior participação desta.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

RENEWABLE SOURCES OF ENERGY IN THE EXPANSION OF THE  
BRAZILIAN ELECTRIC SECTOR: THE WIND POWER CASE.

Neilton Fidelis da Silva

April /2006

Advisors: Luiz Pinguelli Rosa.

Maria Regina de Oliveira Pereira de Araújo

Department: Energy Planning

The work has its core guided by the current atmosphere of interest in the technological development and amplification of the use of the complementary renewable sources of energy in Brazil. The main goal of this work is to contribute for the apprehension of the elements that conducts the development of the alternative sources of energy, particularly the amplification of the use of the wind-electric technology. It makes a historical-critical evaluation of the electric industry's construction process, approaching the technical and economical variables that led it to be established over a centralized in production technological base, ruled by the thermoelectric and hydraulic technology. It shows the determinant factors that configured the substitution of the renewable ways of energy generation and the context that motivated the recent return of these to the international order. It also discusses the process of Brazilian electric power market structuration and analyzes the relationships between the increasing necessity of amplification of the use of new technologies of energy use and the development ruled by the liturgy of the waste. It also exposes the decisive elements of the electric sector's expansion model exhaustion and it shows that it is the instability of its maintenance that made possible the structuring of research actions and development of the use of the wind-electric technology. The research describes the current institutional arrangements used for the promotion of this technology, contemplating the Brazilian experience in its application and the main opportunities and barriers to a larger participation of this source of energy.



## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1 – O SETOR ELÉTRICO: PERCURSOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS ..... 10**

1.1	<i>Introdução</i> .....	10
1.2	<i>Evolução do Uso dos Recursos Energéticos</i> .....	13
1.3	<i>Gênese da Formação do Setor Elétrico</i> .....	19
1.3.1	<i>O Uso Econômico da Energia</i> .....	19
1.3.2	<i>Formação do Mercado de Energia Elétrica</i> .....	23
1.4	<i>A Indústria Elétrica e Suas Dimensões</i> .....	29
1.4.1	<i>A Dimensão Tecnológica</i> .....	29
1.4.2	<i>A Dimensão Econômica</i> .....	32
1.4.3	<i>Dimensão Política e Institucional</i> .....	37
1.4.4	<i>Dimensão Ambiental</i> .....	42
1.5	<i>Configuração do Setor Elétrico Brasileiro</i> .....	43
1.5.1	<i>Percursos Tecnológicos</i> .....	43
1.5.2	<i>Variáveis Político-Sócio-Econômicas</i> .....	48
1.5.2.1	<i>O Estado na Passagem da Industrialização Restringida para a Pesada</i> .....	48
1.5.2.2	<i>A Atuação do Estado Empresário no Setor Brasileiro de Energia – 1930-1989</i> .....	51
1.5.2.3	<i>A Crise do Modelo Estatal suas Repercussões no Setor Elétrico</i> .....	55
1.5.2.4	<i>A Abertura do Setor Elétrico Brasileiro</i> .....	59
1.5.2.5	<i>O Modelo de Setor Elétrico Pós Abertura de Mercado</i> .....	61
1.5.2.6	<i>A Crise na Expansão do Sistema e a Ameaça de Desabastecimento</i> .....	67
1.5.2.7	<i>O (Mais) Novo Modelo do Setor Elétrico</i> .....	71
1.6	<i>Conclusões</i> .....	73

### **CAPÍTULO 2 – DA CRISE DO MODELO DE EXPANSÃO DO SETOR ELÉTRICO AO AMBIENTE FAVORÁVEL À PROMOÇÃO DAS TECNOLOGIAS RENOVÁVEIS – O CASO DA ENERGIA EÓLICA ..... 75**

2.1	<i>Introdução</i> .....	75
2.2	<i>Energia, Desenvolvimento e Crise</i> .....	77
2.2.1	<i>A Vitória da Produção do Desperdício - As Fontes Renováveis “Para Além do Capital”</i> 81	
2.3	<i>O Esgotamento do Modelo de Expansão do Setor Elétrico</i> .....	86
2.3.1	<i>Restrições Tecnológicas</i> .....	86
2.3.2	<i>Repercussões Político-Econômicas</i> .....	88
2.3.3	<i>As Demandas Ambientais</i> .....	93
2.4	<i>Instrumentos Normativos e Institucionais Promotores da Tecnologia Eólio-elétrica</i> .....	95
2.5	<i>Distorções de Mercado: Necessidade de Mecanismos de Suporte a Promoção da Tecnologia de Uso da Energia Eólica</i> .....	96
2.6	<i>Mecanismos de Suporte para Promoção das Energias Renováveis</i> .....	101
2.7	<i>Remuneração por Alimentação da Rede X Sistema de Cotas</i> .....	107
2.8	<i>Suporte Institucional Brasileiro de Promoção da Energia Eólica</i> .....	115

2.8.1	<i>Produtor Independente de Energia, Autoprodutor e Consumidor Livre</i> .....	116
2.8.2	<i>A Política Energética Nacional</i> .....	117
2.8.3	<i>Conta de Consumo de Combustível – CCC</i> .....	119
2.8.4	<i>Programa Emergencial de Energia Eólica - PROEÓLICA</i> .....	120
2.8.5	<i>Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA e Conta de Desenvolvimento Energético - CDE</i> .....	121
2.9	<i>Conclusões</i> .....	128
<b>CAPÍTULO 3 – ESTADO DA ARTE DA TECNOLOGIA EÓLICA</b> .....		<b>131</b>
3.1	<i>Introdução</i> .....	131
3.2	<i>O Estado da Arte</i> .....	132
3.2.1	<i>Panorama Mundial da Geração Eólico-Elétrica em Conexão com a Rede</i> .....	139
3.2.1.1	<i>Europa</i> .....	139
3.2.1.2	<i>América do Norte</i> .....	143
3.2.1.3	<i>América do Sul e Central</i> .....	145
3.2.1.4	<i>Ásia e Pacífico</i> .....	146
3.2.2	<i>Características Tecnológicas</i> .....	148
3.2.2.1	<i>O Vento</i> .....	148
3.2.2.2	<i>A Energia do Vento</i> .....	151
3.2.3	<i>Fatores que Influenciam o Regime dos Ventos</i> .....	155
3.2.3.1	<i>Variação da Velocidade</i> .....	156
3.2.3.2	<i>Rugosidade do Terreno</i> .....	160
3.2.3.3	<i>Influência da Altura</i> .....	161
3.2.3.4	<i>Direção dos Ventos</i> .....	162
3.2.5	<i>Tipos de Turbinas</i> .....	164
3.2.6	<i>Rotas Tecnológicas</i> .....	167
3.2.6.1	<i>Concepções de Projetos</i> .....	167
3.2.6.2	<i>Numero de Pás</i> .....	169
3.2.6.3	<i>Controle Aerodinâmico de Potência</i> .....	170
3.2.6.4	<i>Geradores de Eletricidade</i> .....	174
3.2.7	<i>A Experiência Brasileira</i> .....	175
3.3	<i>Conclusões</i> .....	178
<b>CAPÍTULO 4 - OPORTUNIDADES E BARREIRAS AO DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL</b> .....		<b>180</b>
4.1	<i>Introdução</i> .....	180
4.2	<i>O Potencial Eólico Brasileiro</i> .....	182
4.2.1	<i>Diferencial Eólico Brasileiro – Qualidade dos Ventos</i> .....	193
4.3	<i>Complementaridade com o Regime Hídrico</i> .....	201
4.4	<i>Custos</i> .....	205
4.5	<i>Impactos Sobre o Sistema de Transmissão e Distribuição</i> .....	213
4.6	<i>A Variável Ambiental</i> .....	218
4.6.1	<i>Redução de Gases Intensificadores do Efeito Estufa</i> .....	219

4.6.1.2	<i>Oportunidades dentro do Protocolo de Quioto</i> .....	223
4.6.2	<i>Impacto Sobre o Uso do Solo</i> .....	228
4.6.3	<i>Impactos Sobre a Paisagem</i> .....	229
4.6.4	<i>Impactos Sonoros</i> .....	231
4.6.5	<i>Impactos Sobre a Avifauna</i> .....	233
	<b>CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>236</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 - Potencial Hidrelétrico Brasileiro por Bacia Hidrográfica – Dezembro de 2000. ....	46
Tabela 1.2 – Evolução da Capacidade Instalada do Sistema Elétrico Brasileiro [MW].	48
Tabela 2.1 – Capacidade Instalada em Energia Eólica por Sistema de Suporte .....	111
Tabela 2.2 - Empreendimentos Eólicos Contratados no Âmbito do PROINFA - Setembro/ 2005.....	127
Tabela 3.1 - Evolução Histórica dos Projetos Eólicos.....	136
Tabela 3.2 - Evolução da Capacidade Instalada em Energia Eólica – 1995 – 2004 ....	139
Tabela 3.3 - Potência Média Instalada por Novos Aerogeradores na Alemanha .....	141
Tabela 3.4 - Parques Eólicos Offshore Instalados na Europa.....	142
Tabela 3.5 - Capacidade Instalada na Europa [MW].....	143
Tabela 3.6 - Capacidade Instalada na América do Norte [MW] .....	145
Tabela 3.7 - Capacidade Instalada na América do Sul e Central [MW] .....	146
Tabela 3.8 - Capacidade Instalada na Ásia e Pacífico [MW].....	147
Tabela 3.9 - Capacidade Instalada no Oriente Médio e África [MW] .....	148
Tabela 3.10 - Classes e Comprimento de Rugosidade. ....	161
Tabela 4.1 - Parques eólicos autorizados pela ANEEL.....	182
Tabela 4.2 - Potencial Eólico-elétrico Estimado do Brasil .....	187
Tabela 4.3 - Potencial Eólico-Elétrico Estimado para o Estado do Ceará .....	189
Tabela 4.4 - Potencial Eólico Elétrico Estimado para o Estado da Bahia .....	191
Tabela 4.5 – Composição Percentual dos Valores Típicos de uma Planta Eólica.....	210
Tabela 4.6 - Valores Econômicos por Fonte no Âmbito do Proinfa .....	213
Tabela 4.7 - Custos de Redução de Emissões de CO2 para Diferentes Fontes Renováveis .....	221
Tabela 4.8 - Emissões de CO2 por Tecnologias de Geração Elétrica .....	222
Tabela 4.9 - Número estimado de pássaros mortos em decorrência das Turbinas Eólica no Norte da Califórnia .....	234

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Evolução do Consumo de Energia Elétrica e PIB .....	60
Figura 1.2 - Capacidade e Consumo - 1980 - 2000 .....	68
Figura 2.1 - Instrumentos Normativos e Institucionais .....	107
Figura 2.2- Metodologia de abordagem .....	114
Figura 3.1- Sistema de Circulação Global: Modelo de Duas Células .....	150
Figura 3.2 - Sistema de Circulação Global: Modelo de Duas Células .....	151
Figura 3.3 - Área da Seção Transversal [m <sup>2</sup> ] que Intercepta Perpendicularmente um Fluxo de ar (A) .....	154
Figura 3.4 - Distribuição de Wilbull.....	159
Figura 3.5 - Área do Aeroporto Pinto Martins na Cidade de Fortaleza.....	163
Figura 3.6 - Rosa dos Ventos – Brest (França) .....	164
Figura 3.7 - Turbinas de Eixo vertical.....	166
Figura 3.8 - Turbinas de Eixo Horizontal.....	167
Figura 3.9 - Diâmetros Típicos dos Rotores.....	169
Figura 3.10 - Aerogerador com Controle por Estol.....	172
Figura 3.11 - Aerogerador com Controle de Passo .....	173
Figura 3.12 - Arranjo Padrão de um Aerogerador.....	174
Figura 4.1 - Potencial Eólico estimado para vento médio anual igual ou superior a 7,0 m/s .....	188
Figura 4.2 - Média Anual de velocidade de Vento no Estado do Ceará, para altura de 50 m.....	190
Figura 4.3 - Média Anual de velocidade de Vento no Estado da Bahia para Altura de 50 m.....	192
Figura 4.4 - Características Típicas do Regime de Vento no Litoral Nordestino Brasileiro .....	197
Figura 4.5 – Características Típicas do Regime de Vento no Litoral Nordestino Brasileiro .....	198
Figura 4.6 – Características Típicas do Regime de Vento na Alemanha .....	199
Figura 4.7 – Características Típicas do Regime de Vento na França.....	200
Figura 4.8 - Energia Eólica e Geração Hidroelétrica no Subsistema Hidráulico da Região Sul– 1979-1992 .....	203
Figura 4.9 - Energia Eólica e Geração Hidroelétrica no Subsistema Hidráulico da Região Sul – 1979-1992 .....	203
Figura 4.10 - Energia Eólica e Geração Hidroelétrica no Subsistema Hidráulico da Região Nordeste. ....	204
Figura 4.11 - Custos de Redução de Emissões de CO <sub>2</sub> para Diferentes Fontes Renováveis .....	221

**ÍNDICE DE QUADROS**

Quadro 1.1 - Atos Legais Promovidos no Âmbito da Reforma do Setor Elétrico .....	63
Quadro 1.2 - Comparação Entre o Modelo Anterior a Desregulamentação e o Modelo Inicialmente Proposto .....	66
Quadro 4.1 - Velocidade Média Anual de Ventos por Regiões Geográficas .....	194

## Introdução Geral

Marcadamente presente nas atividades humanas, a energia constitui-se em um fator fundamental para a satisfação de grande parte das necessidades do homem. Dessa forma, muitos conhecimentos e ganhos tecnológicos assimilados pelo homem centraram-se na busca da apropriação e controle da conversibilidade da energia, ou seja, do processo de obtenção da energia na conformação que melhor se ajuste às suas demandas.

Os diversos estágios do conhecimento científico e dos domínios tecnológicos permitiram que diferentes fontes energéticas fossem utilizadas ao longo da evolução das sociedades, através de variadas tecnologias de conversão. Neste contexto, o uso dos recursos energéticos foi, e segue sendo, um fator ímpar no processo de suprimento das demandas postas pelas sociedades nos distintos momentos históricos.

Até o emprego comercial da máquina a vapor, toda a energia produzida advinha de recursos da biomassa. A denominada revolução industrial, vetor chave da consolidação do modo de produção capitalista, marca o corte histórico no funcionamento dos sistemas energéticos anteriormente estruturado. Com ela, encerra-se a fase de superioridade das fontes de energias biológicas e vivencia-se o início da escalada de triunfo e hegemonia dos combustíveis fósseis.

Importa dar relevo ao fato de que a concentração de esforços, visando o desenvolvimento científico e o progresso técnico – materializado a partir dos avanços da ciência – esteve aplicada: *i)* na contínua transformação dos instrumentos do processo produtivo; *ii)* no ajustamento das estruturas organizacionais; *iii)* na atualização dos processos de transformação dos recursos naturais e; *iv)* na diversificação das formas de obtenção de energia, ocorreram sob a égide de uma estrutura de produção industrial capitalista.

Dentre as distintas tecnologias de conversão de uma forma de energia em outra, a eletricidade desempenha um papel chave no processo de desenvolvimento que a humanidade vem passando nesse último século. A indústria elétrica apresenta características técnicas e econômicas que a revestem de uma importância ímpar em toda a cadeia produtiva, quer pelos ganhos de produtividade que ela proporciona, quer por seus impactos sobre a dinâmica de funcionamento da sociedade ou, ainda, por seus efeitos sobre o ambiente natural.

O paradigma tecnológico que tem acento na estruturação do mercado mundial de energia elétrica resultou da adoção de sistemas integrados de geração, transmissão e distribuição, apresentando, como regularidade tecnológica, a exploração econômica de grandes unidades de geração térmica e hidráulica e, mais recentemente, a energia nuclear. E nesse arranjo foi possível melhor auferir as economias de escala e escopo típicas do mercado elétrico que é condição base para sua expansão.

No Brasil, o processo de formação de sua indústria de energia elétrica, não se apresentou demasiado distinto da estrutura consolidada no mundo. O marco divisor de águas entre a consolidação de uma regularidade tecnológica verificado no Brasil e os distintos processos instaurados em outros mercados de energia elétrica, resultou de uma crescente taxa de utilização de seu fabuloso potencial de fontes renováveis. Foi a abundância desses recursos que condicionou o crescimento da oferta de energia elétrica sobre a base de grandes empreendimentos hidroelétricos.

Até a década de 1970 a expansão do mercado brasileiro de energia elétrica esteve balizada nos ganhos provenientes das economias de escala possíveis de serem obtidas pelo desenvolvimento e uso de empreendimentos que garantissem um crescente aumento nas capacidades instaladas de geração e transmissão. Nesse ambiente, o modelo em voga manteve-se sustentado por uma contínua superação das barreiras de ordem tecnológica, bem como esteve, permanentemente, ajustado aos interesses do poder político hegemônico em cada etapa histórica, através das determinações postas no modelo institucional e econômico adotado pelo Estado.

Foi a partir dos anos 1970 que as repercussões das crises energéticas, econômicas e financeiras vivenciadas pelos Estados Nacionais deram eco e força política ao ideário que contestava a legitimidade do caráter estratégico do setor elétrico, fazendo com que o modelo tradicional de expansão do setor perdesse fôlego. A esse ambiente acrescentaram-se barreiras impostas por um novo pensar, que focalizava, a partir de então, as relações das atividades do setor energético e seus impactos sobre o ambiente natural.

Nesse momento registram-se os primeiros sinais de exaustão do padrão vitorioso de expansão do setor elétrico, baseado na expressiva exploração das economias de escala e de escopo através de grandes empreendimentos na geração. Nesse período, observam-se diferentes configurações que vêm por em tela restrições à ampliação do



modelo em vigência, sendo estas características ligadas a: *i*) limitações tecnológicas, *ii*) instabilidades político-econômicas e *iii*) pressões ambientais.

Como resultado da quebra da regularidade tecnológica vigente permite-se a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias que contribuíssem para uma nova ordenação institucional e rompimento do paradigma tecnológico até então em vigor. Neste sentido, o desenvolvimento das denominadas tecnologias alternativas complementares (renováveis) é reflexo direto das novas orientações institucionais e superação do paradigma tecnológico baseado na crescente ampliação da capacidade instalada por plantas geradoras. Portanto, há um estímulo no sentido de promover o debate acerca da geração distribuída, considerando o aproveitamento dos potenciais energéticos de cada região e suas contribuições ao denominado desenvolvimento sustentável<sup>1</sup>.

O Brasil é reconhecidamente um país com um elevado potencial de aproveitamento das fontes renováveis de energia. Dessa forma, estas fontes revelam-se como uma alternativa possível de complementaridade aos aproveitamentos hídricos e futuros projetos termelétricos. As tecnologias renováveis revestem-se também de uma atratividade adicional no que concerne ao planejamento da expansão do setor pautado na preservação do caráter limpo da matriz energética nacional, bem como de sua sustentabilidade.

Do elenco das tecnologias de aproveitamento das fontes renováveis, a energia eólica vem apresentando um significativo crescimento nas três últimas décadas. Registra-se um aumento do interesse das concessionárias em investir nessa tecnologia, tornando o aproveitamento desta fonte de energia um mercado promissor<sup>2</sup>. A cada ano, novos recordes de capacidade instalada são atingidos, inovações tecnológicas e melhorias são alcançadas, turbinas eólicas em que a análise de custo-efetividade é positiva são desenvolvidas, permitindo maiores ganhos técnicos, econômicos e ambientais.

---

<sup>1</sup> Importa ressaltar que a expressão “desenvolvimento sustentável” assume hoje acepções diversas. A mesma é utilizada pelo mercado internacional, através de sua elite gestora, como ferramenta de ajuste à garantia de uma nova ordem mundial de expansão capitalista, o que difere fortemente das aspirações presentes nos movimentos ambientalistas quando do questionamento das rotas postas por essa mesma elite ao “desenvolvimento”. O termo em sua gênese aponta, no mínimo, para a garantia da qualidade de vida da atual sociedade e gerações futuras, tendo como base um modelo de desenvolvimento pautado na manutenção da dinâmica natural do planeta (FIGUEIREDO, 1994) (CMMAD, 1988).

<sup>2</sup> mesmo quando se trata do desenvolvimento de novas experiências energéticas a visão segue presa ao mercado, como finalidade.

Na atualidade, o Norte da Europa responde pelo maior mercado eólico. Os EUA também vêm adicionando significativos volumes de carga através de grandes parques eólicos, que vêm sendo implementadas desde o início dos anos 1980. A indústria de turbinas eólicas acumula crescimento anual em torno de 30% e o mercado movimentou cifras próximas de US\$ 2 bilhões. Existem cerca de 30 mil turbinas de grande porte espalhadas pelo planeta, o que corresponde a uma capacidade instalada em torno de 48.000 MW. Segundo o Painel Intergovernamental das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (IPCC, 1997), até 2030 esta capacidade deve ser aumentada em 30.000 MW. A União Européia, integrada por 15 países, prevê que a força dos ventos vai representar 10% da matriz de energia na Europa daqui a 30 anos.

A instalação de uma turbina de 75kW na ilha de Fernando de Noronha em 1992, marcou o início do aproveitamento dos recursos eólicos para a geração de energia elétrica no Brasil. Hoje, o país tem uma capacidade instalada de cerca de 27 MW com turbinas eólicas de médio e grande portes conectadas diretamente à rede elétrica. Além disso, existem dezenas de turbinas eólicas de pequeno porte funcionando em locais isolados da rede convencional para bombeamento de água, carregamento de baterias, sistemas de telecomunicações e eletrificação rural.

O aproveitamento do recurso eólico como fonte de energia requer uma avaliação apurada do potencial de vento existente na localidade. A recente disponibilidade de dados precisos de vento no Brasil indica a existência de ventos com velocidades médias altas, pouca variação nas direções e baixa turbulência durante todo o ano, comprovando, dessa forma, a existência de um gigantesco potencial comercial de aproveitamento eólico ainda não explorado, especialmente na região litorânea.

Grande atenção tem sido dada ao futuro aproveitamento eólico da região Nordeste, em especial aos estados do Ceará e Rio Grande do Norte, por apresentarem um dos maiores potenciais do país. Entretanto, não foi apenas na costa do Nordeste que áreas de grande potencial eólico foram identificadas. Existe em Minas Gerais uma central eólica em funcionamento desde 1994, no Município de Gouveia, local distante mais de 1000 km do litoral, com boas condições de vento.

O reconhecimento do alto potencial de aproveitamento dos recursos eólicos brasileiros para a geração de eletricidade, em especial na costa litorânea da região nordeste, pode ser medido pelos diversos projetos em fase de estudo e implementação

que já totalizam 6.479 MW, em empreendimentos outorgados pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (ANEEL, 2005).

As maiores velocidades de vento na região Nordeste coincidentemente ocorrem quando o fluxo de água do Rio São Francisco é mínimo, o que vem somar-se às atratividades que a região já oferece em termos de potencial de ventos. As centrais eólicas a serem instaladas no Nordeste poderão produzir grandes quantidades de energia elétrica evitando que um considerável volume de água do rio São Francisco seja turbinado em períodos de baixo regime hídrico nessa bacia. Situação análoga foi verificada entre os regimes de vento e a geração hidroelétrica no Subsistema Hidráulico da Região Sul.

Um outro forte apelo ao incremento do uso da energia eólica na matriz energética brasileira é o ambiental, uma vez que esta alternativa energética não polui, é inesgotável e reduz a exploração dos combustíveis fósseis. Por consequência, esta forma de produção de energia elétrica contribui para a redução dos gases de efeito estufa, estando em consonância com a Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudanças do Clima – CQNUMC e seu protocolo de Quioto.

Nesse ambiente, o Governo Federal recentemente adotou diversas medidas orientadas a aumentar a participação das fontes alternativas renováveis complementares na produção nacional de eletricidade e concentrou no Programa Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia – PROINFA, todos os esforços dirigidos ao alcance dos objetivos planejados. O PROINFA inicialmente determina a instalação de 3,3 GW igualmente divididos entre as Tecnologias de Biomassa, Energia Eólica e Pequenas Centrais Hidroelétricas – PCH's.

A partir do contexto apresentado, esse trabalho tem sua centralidade orientada pelo atual quadro de retorno do interesse no desenvolvimento tecnológico e ampliação de uso das fontes renováveis de energia complementares no Brasil. Destina-se, portanto, a contribuir para apreensão dos elementos que norteiam a pesquisa e o desenvolvimento das fontes alternativas de energia, em particular a ampliação do uso da tecnologia eólio-elétrica no Brasil.

Para tanto, promove uma reflexão acerca das condições técnicas e sócio-econômicas que deram contorno à indústria elétrica, por entender que é do movimento de ajuste dos mercados de energia aos estilos de desenvolvimento adotados pelos

Estados Nacionais, bem como pelas determinações do mercado, que resulta a pauta motivadora de seus percursos e escolhas tecnológicas.

O pressuposto adotado é que o processo de construção da indústria elétrica conformou-se segundo o pensamento condutor do capitalismo industrial do fim do século XIX e que as características técnica-econômicas dessa indústria condicionaram a sua competitividade à garantia de uma crescente ampliação das economias de escala e escopo, possível de ser obtida por melhorias técnicas no módulo conversor, estabelecendo assim uma regularidade tecnológica que se manteve virtuosa até o início dos anos 1970<sup>3</sup>.

O presente trabalho dedica-se a interpretar os elementos que impulsionaram o esgotamento dessa regularidade tecnológica, o que, por conseqüência, permitiu o estabelecimento de um ambiente favorável à adoção de outras tecnologias de geração de energia elétrica. Rompe-se então o ciclo da garantia do aprovisionamento elétrico via ganhos técnico-econômicos advindos da melhoria no rendimento, eficiência e aumento das dimensões dos conversores, e passa-se a aderir ao pensamento que determina a imperativa adoção de práticas que garantam o uso racional dos recursos naturais<sup>4</sup>, o que pôs atenção nas fontes renováveis complementares.

Assim, o trabalho avalia as condicionantes desse novo ideário, compreendendo que este é resultado não somente das limitações e pluralidade tecnológicas dos conversores padrão, mas também de determinações sócio-político-econômicas e das pressões ambientais que ganharam destaque econômico nas duas últimas décadas. Analisam-se, portanto, as correlações existentes entre as variáveis que norteiam o tema, de forma a permitir a construção de uma linha condutora de pensamento, que possibilite a elaboração de um quadro representativo do panorama mundial de adoção da tecnologia eólio-elétrica, sua respectiva crítica e proposições. Utilizou-se para tanto, um amplo levantamento e análise da bibliografia concernente ao tema, bem como leis, decretos e portarias que completam a legislação básica do setor elétrico.

---

<sup>3</sup> Os anos 1970 correspondem à crise de um modo de regulação do capital (fordista) e a emergência de outro modo de regulação (toyotista). O novo padrão tecnológico nasce fruto do desenvolvimento das necessidades de reprodução do capital e não das necessidades humanas. O neoliberalismo põe a nu essa relação. O mesmo se dá com a relação homem - natureza.

<sup>4</sup> O risco de o capital, em sua contínua busca de valorização, ampliar seus danos ao planeta obriga que se pense em novas fontes de energia. Contudo, é necessário que o movimento ambientalista, não se ponha “para além do capital”.

As análises são realizadas a partir de categorias que amoldam as escolhas feitas e opções a serem tomadas, no processo de condução do setor elétrico, abrangendo: *i)* o paradigma da expansão do parque gerador com base em uma regularidade tecnológica centrada no módulo conversor; *ii)* as repercussões sobre a demanda de eletricidade advinda de um desenvolvimento pautado na liturgia do desperdício - a própria lógica do capital pressupõe a criação destrutiva - tendência decrescente de valor de uso; *iii)* o espaço de ampliação da energia eólica na matriz elétrica brasileira, considerando a sua viabilidade técnica, seus custos econômicos e sociais, bem como seus atrativos ambientais.

Desse modo, justifica-se não somente a realização do trabalho, mas também as contribuições que o estudo pode trazer à formação de políticas energéticas do Estado brasileiro, possíveis de realizar-se a partir do seu aprofundamento através de novos estudos a serem conduzidos pelo autor ou outras pesquisas correlatas.

Para a consecução dos objetivos propostos o trabalho está organizado em quatro capítulos assim estruturados:

No **Capítulo I** é feita uma avaliação histórico-crítica do processo de construção da indústria elétrica, abordando as condicionantes técnicas e econômicas que levaram a mesma a se firmar sobre uma base tecnológica centralizadora em sua produção, fundamentalmente pautada na tecnologia termoelétrica e hidráulica, viabilizada por um arranjo institucional monopolístico, verticalizado em toda a cadeia (geração, transmissão e distribuição) e fortemente suportada pelo capital financeiro e político dos Estados Nacionais. São apresentados também os determinantes que configuraram o apartamento das formas renováveis de geração de energia e o contexto motivacional do retorno destas à ordem internacional nos anos 1970.

Também é apresentado o processo de estruturação do mercado de energia elétrica brasileiro, dando relevo ao modelo que se firmou como paradigma que possibilitou a contínua expansão desse mercado, bem como os vetores condicionantes da ruptura desse modelo, postos em pauta nos anos 1980. A doutrina assumida teve como objetivo central a superação de uma regularidade tecnológica que justificava, até então, a adoção de uma base tecnológica centralizadora em sua produção, de forma semelhante ao que ocorreu no resto do mundo, mas predominantemente pautada na tecnologia hidráulica, cabendo ao Estado brasileiro o suporte institucional deste mercado.

O **Capítulo II** inicialmente traz ao debate as reflexões necessárias ao entendimento das relações existentes entre o predominante apelo ao desenvolvimento pautado na liturgia do desperdício e a crescente necessidade de ampliação do uso de novas tecnologias de aproveitamento dos recursos naturais que, por sua vez, pressiona fortemente a incessante busca por maior disponibilidade de energia.

Expõe também os elementos apresentados como determinantes do esgotamento do modelo de expansão do setor elétrico promovido de forma eficaz até os anos 1970, mostrando que é da instabilidade da manutenção do paradigma tecnológico dirigido pelo expansionismo garantido pelas tecnologias em uso até essa década que se tracejam os créditos necessários à estruturação de uma ação, notadamente mais eficiente, de pesquisa e desenvolvimento do uso da tecnologia de aproveitamento eólico para geração de energia elétrica.

Por último, o **Capítulo II** descreve os correntes arranjos institucionais usados para promover o desenvolvimento da energia eólica, colocando uma maior atenção na experiência europeia, uma vez que é neste continente que se concentram os exemplos mais exitosos de esquemas legais de promoção da energia eólica e que têm servido de referência para os mercados de países em desenvolvimento, como é o caso dos esquemas adotados no Brasil.

O **Capítulo III** apresenta o estado da arte da tecnologia eólio-elétrica, contemplando uma descrição do campo de aplicação dos diferentes tipos de sistemas, sua evolução histórica, o panorama mundial da geração eólio-elétrica em conexão com a rede e suas características tecnológicas, além da experiência brasileira na aplicação desta tecnologia.

A partir do reconhecimento da existência de um espaço favorável à ampliação da participação da energia eólica na matriz elétrica brasileira, fruto da intervenção direta do Governo Federal e do interesse do setor privado, face ao elevado potencial eólico nacional e às oportunidades advindas do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo criado no âmbito do protocolo de Quioto, o **Capítulo IV** apresenta as principais oportunidades e barreiras postas a uma maior participação da tecnologia eólio-elétrica, considerando as variáveis técnicas, econômicas e ambientais, destacando-se: *i) O Potencial Eólico Brasileiro; ii) A Complementaridade com o Regime Hídrico; iii) Os Custos da Tecnologia; iv) Os Impactos Sobre o Sistema de Transmissão e Distribuição e v) As Variáveis Ambientais.*

Dessa forma, se espera que o encadeamento dos capítulos possa oferecer uma linha metodológica que leve ao leitor a possibilidade de melhor compreender o trabalho proposto.

## Capítulo 1 – O Setor Elétrico: Percursos Técnicos e Econômicos

“Adquirindo novas forças produtivas, os homens mudam seu modo de produção, e mudando o modo de produção, a maneira de ganhar a vida, eles mudam todas as suas relações sociais. O moinho de mão dar-vos-á a sociedade com suserano; o moinho a vapor, a sociedade com o capitalista industrial” – *Marx*.

“O capitalismo “nos dá”, por sua vez, a energia elétrica, a força do motor de explosão e a energia atômica” – *Braveman*.

“É a indústria elétrica que caracteriza melhor que qualquer outra o capitalismo do fim do século XIX e início do século XX” – *Lênin*.

### 1.1 Introdução

Proceder à diferenciação do homem para com os demais elementos da natureza que o cerca, sejam eles animados ou inanimados resulta em uma interminável classificação. De tudo que se possa identificar como elemento que venha distinguir os homens dos animais MARX (p.11, 2002) aponta ser a capacidade de produzirem seus meios de existência, habilidade esta facultada apenas aos homens, o elemento marco dessa distinção, “... *ao produzirem seus meios de existência, os homens produzem indiretamente a sua vida material*”.

No entanto, a maneira como os homens produzem sua ‘vida material’ depende de forma imperativa da natureza dos meios de existência já encontrados e que eles precisam reproduzir. O processo de desenvolvimento humano (ao longo de sua existência) está estreitamente relacionado com a evolução do domínio sobre a exploração e uso das fontes de energia dispostas na natureza.

Marcadamente presente nas atividades humanas, a energia constitui-se no fator fundamental para a satisfação de quase todas as necessidades do homem. Dessa forma,



importa o domínio do conhecimento da conversibilidade da energia, ou seja, o controle do processo de obtenção da energia na configuração que melhor se ajuste às necessidades de demanda, a partir de sua disponibilidade natural ou pré-elaborada.

Enquanto as necessidades humanas têm se mostrado crescentes, os recursos naturais, fonte primária de suprimento dessas necessidades, são limitados. A dinâmica das atividades econômicas inclui a procura da satisfação das necessidades humanas de forma racional frente às limitantes naturais. Desta forma, a produção, transformação, distribuição e consumo de energia deve ser orientada à satisfação dessas necessidades. Os diversos estágios do conhecimento científico e dos domínios tecnológicos permitiram que diferentes fontes energéticas se estabelecessem ao longo da existência humana, através de variadas tecnologias de conversão, como forma de suprir os requerimentos em energia: a madeira; o vento; a energia hidráulica; o carvão; o petróleo; o gás natural; a energia nuclear e solar; dentre outras<sup>5</sup>.

Neste contexto, a energia é, portanto, um vetor fundamental que contribui para a satisfação das necessidades humanas, manifestadas em suas principais categorias de requerimento, a saber: necessidades térmicas; necessidades de força motriz; necessidades de iluminação e necessidades eletrônicas.

Historicamente o homem através dos tempos buscou se apropriar da energia, enquanto valor de uso. Na sociedade do capital, a energia assume a dimensão de valor de troca, um fator de produção do capital e, portanto, de mercadoria. O mesmo se dá com a tecnologia. Ela não é neutra. Ela economiza trabalho vivo em favor do trabalho morto, poupando trabalho necessário em favor do trabalho excedente.

Dentre as diversas tecnologias de conversão de uma forma de energia em outra, a eletricidade vem desempenhando um papel chave no processo de desenvolvimento no qual a humanidade vem passando nesse último século. No entanto, a indústria elétrica apresenta características técnicas e econômicas que a reveste de uma importância ímpar em toda a cadeia produtiva, quer pelos ganhos de produtividade que ela proporciona, quer por seus impactos sobre a dinâmica de funcionamento da sociedade ou por seus efeitos sobre o ambiente natural.

---

<sup>5</sup> A história do desenvolvimento energético não se processa de maneira linear, de forma natural, ela é permeada por cortes e contradições. A energia como fonte no modo de produção capitalista não é neutra e o seu desenvolvimento não se deu por acaso. O petróleo não se tornou fonte energética por acaso, o modelo de desenvolvimento assim o determinou. A técnica não pode ser tomada como sinônimo de tecnologia. A ciência e a tecnologia foram subsumidas ao capital.

O paradigma tecnológico que tem acento na estruturação do mercado de energia elétrica nos Estados nacionais e/ou regionais resultou da adoção dos sistemas de corrente alternada, tendo como regularidade tecnológica a geração em centrais térmicas e hidroelétricas. A base da consolidação deste paradigma esteve centrada na exploração econômica de grandes unidades de geração, uma vez que tais arranjos viabilizavam uma melhor aferição das economias de escala e escopo fruto da expansão dos mercados.

No Brasil, o processo de formação de sua indústria de energia elétrica, quando considerado na análise as diferenças particulares de seu processo de desenvolvimento, não se mostrou largamente distinto do movimento vivenciado no mundo. O marco divisor de águas entre a calcificação de uma regularidade tecnológica verificado no Brasil e os processos vivenciados nos outros mercados de energia elétrica assentados no mundo, resultou de uma crescente taxa de utilização de seu fabuloso potencial hídrico. O potencial hidroelétrico brasileiro é de tal monta que BENJAMIM (p.57, 2001) afirma que *“o Brasil ocupa no mundo uma posição semelhante à Arábia Saudita em petróleo: tem oferta mais do que farta”*.

Foi o ‘diferencial Brasil’ (abundância de recursos renováveis) que fez com que toda a curva de crescimento da oferta de energia elétrica fosse sempre pressionada pelos empreendimentos de base tecnológica hidráulica. Se as primeiras unidades de geração implantadas do Brasil tiveram a termoeletricidade como alternativa tecnológica: já no início do século XX (1900) a hidroeletricidade respondia por 41,7% (5 MW) da capacidade nacional instalada e ao final desse mesmo século (1999) sua participação atingia 92% de toda a potência instalada.

Neste capítulo é feita uma avaliação histórico-crítica do processo de construção da indústria elétrica, abordando as condicionantes técnicas e econômicas que levaram a mesma a se firmar sobre uma base tecnológica centralizadora em sua produção, fundamentalmente pautada na tecnologia termoelétrica e hidráulica, viabilizada por um arranjo institucional monopolístico, verticalizado em toda a cadeia (geração, transmissão e distribuição) e fortemente suportada pelo capital financeiro e político dos Estados Nacionais. São apresentados também os determinantes que configuraram o apartamento das formas renováveis de geração de energia e o contexto motivacional do retorno destas à ordem internacional nos anos 1990.

Também é apresentado o processo de estruturação do mercado de energia elétrica brasileiro, dando relevo ao modelo que se firmou como paradigma que

possibilitou a contínua expansão desse mercado, bem como os vetores condicionantes da ruptura desse modelo, postos em pauta nos anos 1980. A doutrina assumida teve como objetivo central a superação de uma regularidade tecnológica que justificava, até então, a adoção de uma base tecnológica centralizadora em sua produção, de forma semelhante ao que ocorreu no resto do mundo, mas predominantemente pautada na tecnologia hidráulica, cabendo ao Estado brasileiro o suporte institucional deste mercado.

## **1.2 Evolução do Uso dos Recursos Energéticos**

O processo de desenvolvimento humano (ao longo de sua existência) está estreitamente relacionado com a evolução do domínio sobre a exploração e uso das fontes de energia dispostas na natureza.

Reside no corpo humano o mais complexo sistema conversor de energia do qual o homem faz uso. Através da digestão se processa a conversão da energia química, presente nos alimentos, em calor, energia muscular e cerebral. Ao exteriorizar seu corpo, o homem dispõe de duas formas básicas de conversão de energia: os conversores orgânicos (uso do trabalho animal para produção de energia mecânica, a lenha, entre outros) e os conversores inorgânicos, que utilizam como fonte os recursos energéticos dispostos na natureza (roda d'água, energia do vento, máquinas elétricas, motores de combustão interna, dentre outros).

Já os recursos energéticos, matéria de entrada dos conversores, são dispostos na natureza em duas formas distintas: Recursos Renováveis e Não-renováveis ou Exauríveis. Os recursos renováveis estão associados a um fluxo contínuo enquanto que os recursos não renováveis apenas consideram a sua existência em uma quantidade determinada. De forma geral, os recursos renováveis estão presentes em todo o planeta, o que permite o seu uso de maneira descentralizada (hidráulica, solar, biomassa, eólica). Já os recursos não renováveis apresentam-se em quantidades limitadas (petróleo, gás, carvão, urânio), mas com um elevado grau de incerteza, uma vez que a definição de seu volume depende do estágio do desenvolvimento tecnológico e do ritmo de sua extração.

Dependendo da forma e velocidade de sua extração, um recurso renovável pode tornar-se escasso ou até indisponível. No entanto, mesmo sem ser possível considerar a

sua renovabilidade, os recursos não renováveis podem ser tomados como não exauríveis. Um exemplo típico dessa assertiva verifica-se no setor de petróleo.

Ao longo do processo de formação de um modelo de uso dos recursos energéticos dispostos na natureza, o homem seguiu continuamente substituindo os conversores orgânicos, estes de difícil controle pelos inorgânicos. Como exemplos podemos apresentar uso da tração humana e animal para o transporte e produção de energia mecânica, o aproveitamento da biomassa natural para a cocção e calefação, entre outros, que foram progressivamente substituídos pelos conversores inorgânicos, fruto da criação e avanços técnicos científicos produzidos pelo homem, os quais foram capazes de possibilitar o uso de fontes antes irrealizáveis. O desenvolvimento da indústria do carvão, petróleo, eletricidade e energia nuclear exemplifica sobremaneira a assertiva.

Os primeiros usos energéticos feitos pelo homem deram-se na utilização dos fluxos naturais de energia (o sol, o vento e a água) de uma forma direta, sem uso de equipamentos de conversão ou técnica. Uma outra parte do consumo estava ligada ao conteúdo energético presente nos alimentos.

Os marcos do aproveitamento dos recursos energéticos e usos da energia estão postos sobre o grau de liberdade que estes possibilitaram à exteriorização do corpo humano. Os primeiros processos de exteriorização se deram sobre o aprimoramento do uso da força muscular e do calor existente no próprio corpo humano (BÔA NOVA, 1985).

Para Sigmund Freud o processo de exteriorização, materializado no desenvolvimento de conhecimentos utilizados na formação de uma capacidade de transformação e controle da natureza, revelou-se a principal tendência de civilidade, juntamente com as normas e ações que regulavam a distribuição dos valores criados:

*Se remontarmos suficientemente às origens, descobriremos que os primeiros atos de civilização foram a utilização de instrumentos, a obtenção do controle sobre o fogo e a construção de habitações. Entre estes, o controle sobre o fogo sobressai como uma realização extraordinária e sem precedente, ao passo que outros desbravaram caminhos que o homem desde então passou a seguir. Através de cada instrumento, o homem recria seus próprios órgãos, motores ou sensoriais, ou amplia os limites de seu funcionamento. A potência motora coloca forças gigantes à sua disposição, as quais, como seus músculos, ele pode empregar em qualquer direção: graças ao navio e aos aviões, nem a água nem o ar podem impedir seus movimentos (FREUD, apud GIANNETTI, p.5, 1983).*

Ao exteriorizar seu corpo, “o homem faz de uma coisa da natureza órgão de sua própria atividade, um órgão que acrescenta a seus próprios órgãos corporais, aumentando seu próprio corpo natural apesar da bíblia” (MARX, p.203, 1975).

A segunda fase desta evolução tem início com a descoberta do fogo, que permitiu pela primeira vez, ao homem, o consumo de energia de uma forma acumulada, a exemplo da lenha que pode ser vista como a energia solar armazenada, através do processo de fotossíntese.

Com o domínio do uso do fogo, o homem conta com o controle de uma fonte de calor adicional, passando então a não depender exclusivamente da disponibilidade descontínua do calor fornecido pelo sol e permitindo também o uso energético para iluminação e cocção de alimentos. Neste momento histórico registra-se uma série de desenvolvimentos tecnológicos simples, permitindo pela primeira vez o aproveitamento de forças inorgânicas para a produção de trabalho mecânico: a descoberta da roda, a alavanca, o desenvolvimento de técnicas de aproveitamento dos ventos para navegação e a energia hidráulica em moinhos de água. Estas descobertas permitem ao homem melhorar a capacidade de uso dos fluxos energéticos, aperfeiçoar o aproveitamento da energia animada e inanimada e por conseqüência incrementar o seu consumo de energia.

A terceira fase é demarcada através do salto tecnológico conseguido com a máquina a vapor, cujo uso permitiu modificar simultaneamente as condições de oferta e demanda de energia, pois possibilitou a produção de carvão em escala e, ao solucionar o problema de bombeamento nas minas, criou um mercado propício à produção de energia mecânica.

Esta etapa marca também um novo estágio no processo de exteriorização do corpo humano, permitindo, pela primeira vez que o homem disponha, de forma externa e independente de suas capacidades físicas, de uma força motriz possível de modulação quanto à potência, controle de movimento e disponibilidade temporal e locacional.

Devido à sua capacidade calorífica e à crescente escassez da lenha, o carvão mineral se tornou o principal combustível usado nas máquinas a vapor. O emprego da máquina a vapor na mineração permitiu o bombeamento da água infiltrada nas minas e favoreceu a ampliação das atividades mineiras, logo se tornando o símbolo energético

da revolução industrial. Além disso, ampliou rapidamente sua fronteira de uso para a indústria manufatureira, o transporte ferroviário e na substituição da navegação à vela.

Segundo ALVEAL CONTRERAS (1982), o carvão se constituiu no vetor energético dominante no processo de industrialização vivenciado pela Inglaterra ao longo do século XIX. A conformação do referido processo assumiu contornos estreitamente ligados ao vetor energético dominante na estrutura. As indústrias siderúrgica, ferroviária e carboquímica, representavam os nortes condutores desse perfil industrial, que naquele estágio de desenvolvimento do modo de produção capitalista logrou uma ampla difusão na esfera da circulação mundial de mercadorias.

O uso massivo dos combustíveis fósseis pela humanidade constitui um novo marco no aproveitamento dos processos naturais de acumulação e concentração de energia. Os combustíveis fósseis têm sua origem na energia solar acumulada em plantas e/ou animais submetidos a uma série de processos de concentração e compactação que demanda milhões de anos. A ampliação do uso dos combustíveis fósseis se expandiu também para a utilização do petróleo e gás natural. Em uma etapa inicial, o petróleo foi usado como substância iluminante e geradora de calor, através do uso do querosene. Muitas mudanças ocorreram em função de novos domínios tecnológicos, passando o petróleo a ser utilizado para gerar energia mecânica em sua forma direta, tornando-se muito rapidamente na principal fonte de energia para o transporte. Tais inovações tecnológicas são creditadas ao desenvolvimento do motor Otto à gasolina em 1867, ao aperfeiçoamento do motor de combustão interna por Daimler e ao desenvolvimento do motor Diesel, patenteado em 1892. Em 1913, a indústria do petróleo encampou a invenção do engenheiro alemão Rudolph Diesel, modificando o motor e produzindo para ele um derivado do petróleo que batizou de "diesel fuel".

O gás natural teve seu aproveitamento em grande escala retardado quando comparado ao desenvolvimento do petróleo, sendo visto inicialmente como um entrave à sua produção. As companhias de exploração de petróleo costumavam ignorar ou executar a queima direta do gás natural associado e, em condições técnicas mais adiantadas, o reinjetava no poço como forma de facilitar a exploração do petróleo.

A utilização de grandes dutos possibilitou o estabelecimento de alta pressão na rede de transporte. As descobertas de gigantescas reservas e, principalmente o contínuo crescimento das necessidades e usos energéticos, adicionado à possibilidade de geração de eletricidade em termelétricas de ciclo combinado foi decisivo para o

desenvolvimento da indústria de gás natural, viabilizando, portanto, a superação das barreiras impostas pelos custos de transporte.

Uma quarta fase pode ser apresentada em função do desenvolvimento de uma série de novas tecnologias surgidas no final do século XIX e início do século XX, que servem de facilitadoras na difusão do uso da eletricidade. Dentre as descobertas pode-se citar:

- Teoria da indução eletromagnética [FARADAY, 1831]
- Gerador manual [PISERE, 1832]
- Primeiro motor elétrico [DAVENPORT, 1834]
- Desenvolvimento de turbina hidráulica moderna [FRANCIS, 1849]
- Gerador elétrico [JEDLIC-SIEMES, 1861-1866]
- Primeira central elétrica pública [EDISON, 1881]

O desenvolvimento do gerador elétrico de corrente alternada e dos transformadores elétricos de indução permitiu que novamente o aproveitamento da energia hidráulica fosse considerada no planejamento da expansão do mercado de energia, uma vez que através da produção de eletricidade foi possível superar as limitações impostas pela necessidade do uso local dos potenciais hidráulicos. As redes de transmissão de energia elétrica permitiram o transporte a grandes distâncias da energia hidráulica disponível nas barragens, quando esta era convertida em eletricidade nas usinas geradoras.

Todas estas descobertas permitiram a utilização simultânea de múltiplas fontes de energia (lenha, carvão, petróleo, hidráulica) de uma forma muito flexível, com rendimentos mais elevados e com melhor qualidade. Esta diversidade de fontes energéticas disponíveis combinadas com a acumulação de novas tecnologias viabilizou o desenvolvimento de um sistema energético estável por um período de 100 anos, aproximadamente.

Através do domínio do processo de fissão nuclear controlada, foi possível a transformação tecnológica da matéria em energia. Isto, portanto, sinalizou uma nova fase no aproveitamento energético, já que a perspectiva desta modalidade de obtenção

de energia era de ser ilimitada e apresentava menores custos. Na verdade esta forma de conversão de energia apresenta problemas tecnológicos, de custos econômicos e financeiros e de fortes impactos sobre o meio ambiente, o que a tem colocado sob a mira de inúmeros debates acerca de sua viabilidade.

A consolidação do mercado petrolífero e elétrico se deu de forma semelhante ao processo de conformação de um mercado sustentado, alimentado e dependente de um perfil industrial de base carbonífera conduzido pela Inglaterra. Na segunda metade do século XIX, os Estados Unidos redirecionam o desenvolvimento industrial para a dependência de um vetor energético de base petrolífera e fortemente calcado no uso da eletricidade, energéticos estes que apresentavam como atrativo um maior nível de rendimento, mobilidade e modularidade que o carvão.

Os Estados Unidos, considerados possuidores, à época, das maiores reservas petrolíferas do mundo, configuraram uma estrutura de industrialização pautada no transporte rodoviário, na indústria automotriz, o transporte coletivo é preterido em favor do transporte individual, na indústria petroquímica, de eletrodomésticos e metal mecânica, entre outras. Este novo direcionamento do modelo de industrialização e emolduramento social quanto ao uso energético garante aos Estados Unidos a posição de potência mais desenvolvida já no fim da segunda Guerra Mundial (ALVEAL CONTRERAS, 1982).

Todas as descobertas e desenvolvimentos tecnológicos feitos no campo do uso dos recursos energéticos permitiram a utilização simultânea de múltiplas fontes de energia de uma forma bastante flexível, com rendimentos superiores e melhor qualidade.

O atual cenário mundial, marcado por uma extrema dependência da produção e uso de energia de origem fóssil, e de empreendimentos ligados à cadeia energética que imputam elevados impactos ao ambiente natural, tem levado a sociedade industrial a redescobrir os fluxos energéticos com base nos recursos naturais renováveis e nos processos de produção em escalas harmonizadas com a vida humana e capacidade de suporte dos ecossistemas. Tais fluxos, associados a novos desenvolvimentos tecnológicos, podem viabilizar o incremento da oferta de energia deslocando a dependência mundial de combustíveis fósseis e nuclear.



Dentre as novas tecnologias renováveis, se faz necessário registrar os avanços tecnológicos obtidos em nível internacional da energia solar térmica, solar fotovoltaica, os aproveitamentos eólicos para geração de eletricidade, os aproveitamentos dos resíduos sólidos para geração de eletricidade, os biocombustíveis, entre outros.

O atual estágio de desenvolvimento das técnicas de produção alternativa de energia, baseada em recursos renováveis, viabilizará o estabelecimento de sistemas energéticos múltiplos e flexíveis que aproveitem de forma integral e coordenada às diversas fontes energéticas e tecnologias disponíveis em cada país ou região. Assim, dentro de certos parâmetros, poderá contribuir para minimizar os impactos sobre o meio ambiente advindos da geração e distribuição de energia.

### **1.3 Gênese da Formação do Setor Elétrico**

#### **1.3.1 O Uso Econômico da Energia**

A denominada revolução industrial, tecida da consolidação do modo de produção capitalista, marca o corte histórico no funcionamento dos sistemas energéticos anteriormente estruturado pela humanidade. Com ela, encerra-se fase de superioridade das fontes de energias biológicas e vivencia-se o início da escalada de triunfo e hegemonia dos combustíveis fósseis.

A força propulsora da revolução industrial esteve creditada ao desenvolvimento de engenhos que permitissem a ampliação da escala de produção antes efetuada pelo conjunto trabalhador/ferramentas. A forma de produção em voga orientava-se no acréscimo de geração de força humana, redução de tempo de produção e transformação de recursos sem reconhecido valor em produtos de superior valor comercial (MÉSZÁROS, 2002).

Atuando como conjunto trabalhador/ferramenta, o homem agia de duas formas: era a fonte de força motriz, esta obtida através da conversão de energia realizada em seu próprio organismo e atuava como executor de tarefas a partir de suas habilidades e capacidade mental, aliada às habilidades motoras apreendidas. As primeiras máquinas desenvolvidas na revolução industrial apartam o trabalhador de sua ação como

ferramenta, restando a este as atividades de fornecimento de força motriz e supervisão do funcionamento da máquina.

Operando como fonte de força motriz o homem reduzia à sua capacidade orgânica o tamanho das máquinas e sua potência, com isso, limitava oferta de energia ao conjunto produtor. Para MARX (p.428, 1975),

*Quando o homem passa a atuar apenas como força motriz de uma máquina -ferramenta, em vez de atuar com a ferramenta sobre o objeto de trabalho, podem tomar seu lugar o vento, a água, o vapor, etc., e torna-se accidental o emprego da força muscular humana como força motriz.*

Até a difusão do uso da máquina a vapor, era a força hidráulica a fonte de energia inanimada de maior uso na indústria, esta por sua vez, tinha seus limites de potência vinculados à natureza técnica dos conversores e se verificava um impedimento, de ordem natural, no aumento indefinido nas potências dos moinhos em função do crescimento da demanda. Uma outra vulnerabilidade da força hidráulica recaía na impossibilidade de contornar a insuficiência das vazões nas estações frias, quando ocorria o congelamento dos rios, ou em períodos de seca.

É nesse ambiente de restrições à expansão industrial capitalista do século XVIII, advindas do uso dos recursos energéticos animados e inanimados, que se materializam as condições de contorno favoráveis à consolidação do carvão como combustível comercial. Ressalta-se aqui a importância que teve a crise da lenha no século XVI e, desde então, a crescente elevação dos seus custos de produção e transporte, como sendo um fator fundamental na penetração do carvão mineral na matriz energética mundial. *“Como atestava Adam Smith, a hulha é um combustível bem mais desagradável que a lenha ou o carvão vegetal, e nenhum povo a adotou senão no caso em que a lenha faltava ou tinha preço demasiado alto”* (HÉMERY, 1993).

A busca pela superação da dependência da força motriz humana e animal e da ampliação da potência disponível nas máquinas e conversores resultou no desenvolvimento da máquina a vapor. Inicialmente desenvolvidas por SAVERY e NEWCOMEN nos anos de 1698 e 1712, respectivamente. As primeiras máquinas a vapor destinavam-se ao uso no esgotamento das águas subterrâneas nas minas de carvão inglesas. Por apresentarem rendimentos muito baixos, algo em torno de 1%, estas tiveram uso restrito no setor carvoeiro. Somente com os ajustes conduzidos por JAMES

WATT, na segunda metade do século XVIII, é que a máquina a vapor torna-se um motor de uso universal e promove uma significativa ruptura nos sistemas energéticos de então, permitindo que pela primeira vez seja possível desagregar espacialmente o conversor de sua fonte de energia.

*A máquina a vapor reorganiza as relações entre homem e energia. O relógio, o moinho de vento e o moinho d'água utilizam as forças de um meio que deixam intacto; em oposição, a "máquina de fogo" consome as matérias das quais ela tira sua energia. As novas linhas vão exigir investimentos cada vez mais pesados, bem como a utilização de conhecimentos científicos técnicos cada vez mais vastos. A energia tornar-se-á um setor independente e autônomo que desempenhará um papel decisivo na regulação da economia" (HÉMERY, p.140, 1993).*

A difusão do uso da máquina a vapor permite estabelecer uma nova forma de agir do homem sobre os recursos naturais. Com ela é rompido um paradigma, no qual o desenvolvimento de uma região estava condicionado a existência de abundantes recursos naturais. Na medida em que tais recursos se mostravam escassos ou perdiam valor a importância econômica dessas mesmas regiões entrava em rota de descrédito e decadência. Para COSTA (p.39, 2001):

*A industrialização na Inglaterra, no final do século XVIII e início do século XIX, rompeu o antigo paradigma e alterou significativamente esse padrão. Passou a ser possível que algumas economias não-centrais conhecessem casos notáveis de crescimento que não se baseavam na exploração extensiva de recursos naturais abundantes, mas sim em processos intensivos de industrialização. E intensivos em industrialização porque, na verdade, eram intensivos em energia.*

Não se pode perder de vista o fato de que os investimentos carreados no desenvolvimento de novas tecnologias de conversão de energia se deram em um ambiente de expansão capitalista. Tais investimentos objetivavam não somente o aumento da produtividade, isto é, “o esforço para encontrar modos de incorporar até mesmo quantidades menores de tempo de trabalho em quantidades cada vez maiores de produtos. Isto leva a métodos e maquinarias mais rápidos e eficientes”, (BRAVERMAN, p.149, 1987), mas

também a garantia da independência do sistema produtivo do uso intensivo da energia humana através da substituição do trabalho humano pela energia mecânica<sup>6</sup>.

Segundo BÔA NOVA (p.56, 1985),

*é preciso lembrar, porém, que a maquinaria implantada na Revolução Industrial pertence ao empresário capitalista. Nas condições históricas em que de fato aparece e é aplicada, ela é um instrumento colocado a serviço de uma classe social específica, ela com interesses muitos concretos em jogo. No caso, os ganhos em produtividade se destinam a ampliar os lucros e reproduzir mais depressa o capital. A maquinaria atende a esse propósito. Ao mesmo tempo em que fortalece a posição do empresário frente ao trabalhador. Nesse contexto, a máquina já não constitui um prolongamento do corpo de quem trabalha, mas, pelo contrário, é o trabalhador que é reduzido à condição de mero prolongamento da máquina.*

O uso do carvão ganha abrangência mundial e a produção de energia seguiu firme respondendo à crescente demanda posta pelo processo de industrialização.

*No capitalismo do século XX, a produção de energia adquire uma elasticidade sem precedente, através do uso generalizado do combustível fóssil não renovável e do progresso do transporte: a partir desse momento, a oferta de energia tende a preceder a demanda. As grandes redes energéticas têm, com efeito, a característica comum de estruturarem um novo mercado para a energia e se basearem em sistemas técnicos que incluem importantes atividades motoras e que, portanto, geram novas necessidades energéticas. Assim se erigiu a primazia da produção sobre a demanda, característica do sistema energético capitalista (HÉMERY, p.169, 1993).*

O marco cravado pela revolução industrial tem sua centralidade no espaço de determinação do trabalho. Na manufatura, estágio anterior à revolução industrial e assentado pela produção artesanal “a revolução no modo de produção começa com a força de trabalho; na indústria moderna ela começa com os instrumentos de trabalho” (MARX, apud BRAVERMAN, p.148, 1987). Ou seja:

*No primeiro estágio do capitalismo o trabalho tradicional do artesão é subdividido em suas tarefas constituintes e executado em série por uma cadeia de trabalhadores parcelados, de modo que o processo muda pouco: o que mudou foi a organização do trabalho. Mas no estágio seguinte, a maquinofatura, o instrumento do trabalho é*

---

<sup>6</sup> Essa busca expressa o desenvolvimento da contradição central do capital (trabalho vivo X trabalho morto). Ela também expressa a busca histórica do capital em utilizar o mínimo de trabalho vivo na produção direta.

*retirado das mãos do trabalhador e transferido para um mecanismo acionado por energia da natureza captada para esse fim que, transmitida à ferramenta, atua sobre o material para produzir o resultado desejado; assim, a mudança no modo de produção advém de uma mudança nos instrumentos de trabalho (BRAVERMAN, p.148, 1987)*

A denominada Segunda Revolução Industrial, iniciada na segunda metade do século XIX, orientava-se na imperativa necessidade de superação das novas restrições à expansão industrial, agora posta sobre a máquina a vapor. Na verdade, o modelo orientado à produção criou necessidades que superavam os limites técnicos possíveis de execução com o uso da máquina a vapor. Estas restrições estabeleceram a trama que deu forma à turbina a vapor, o motor a explosão, o desenvolvimento do motor elétrico e a formação do mercado de eletricidade.

### **1.3.2 Formação do Mercado de Energia Elétrica.**

Importa aqui dar relevo ao fato de que a condição guia da concentração de esforços visando o desenvolvimento científico e o progresso técnico (materializado a partir dos avanços da ciência), aplicados na contínua transformação dos instrumentos do processo produtivo, no ajustamento das estruturas organizacionais, na atualização dos processos de transformação dos recursos naturais e na diversificação das formas de obtenção de energia, ocorreram sob a égide de uma estrutura de produção industrial capitalista. Desta forma, o progresso técnico

*abrange no seu conjunto, as transformações técnicas e eco-sócio-culturais que se produzem/reproduzem no curso do desenvolvimento capitalista, como materialização do processo de passagem da subsunção formal para a subsunção real do trabalho ao capital (ALVEAL CONTRERAS, p.142,1982).*

Compreender a formação de uma indústria elétrica, bem como a expansão do uso dos combustíveis derivados de petróleo e a conformação do mercado petrolífero, é ter a clareza de que a estruturação das mesmas não é fruto de um processo natural do desenvolvimento científico e tecnológico, orientado à superação das barreiras técnicas advindas das forças produtivas determinantes da época, as quais o conhecimento científico e as tecnologias em uso não davam conta de removê-las.

Nesse contexto BRAVERMAN (p.138, 1987) assinala que “*a ciência é a última – e depois do trabalho a mais importante - propriedade social a converter-se num auxiliar do capital*, para tanto afirma que:

*A velha época da indústria ensejou a nova durante as últimas décadas do século XIX, sobretudo como conseqüência do avanço em quatro campos: eletricidade, aço, petróleo e motor de explosão. A pesquisa científica teórica influía bastante nesses setores para demonstrar à classe capitalista, e especialmente às entidades empresariais gigantes, então surgindo como resultado da concentração e centralização do capital, sua importância como um meio de estimular ainda mais a acumulação do capital. Isto era verdade sobretudo quanto às indústrias elétricas, que eram totalmente o produto da ciência do século XIX, e na química dos produtos sintéticos do carvão e do petróleo.*

Nas duas décadas finais do século XIX, o desenvolvimento da ciência e do progresso técnico, a partir das descobertas e aplicações no âmbito da eletricidade, petróleo e do motor a explosão, estabelece um período denominado de Revolução ‘Científico-Técnica’. Neste período, afirma ALVEAL CONTRERAS (p.143, 1982):

*Em contraste com a Revolução Industrial, a Revolução Científico-Técnica transforma a ciência em mercadoria adquirível no mercado, como outro meio de produção qualquer. A ciência adquire um caráter consciente, planejado, caráter que se continua no progresso técnico, tornando ambos menos fortuitos e mais funcionais do capital. Em conseqüência, a Revolução Científico-Técnica deve ser compreendida na sua totalidade como a fase de relação ciência-tecnologia na qual a ciência e as pesquisas exaustivas de engenharia foram integradas como elemento funcional da estrutura produtiva.*

Em que pesem as grandes transformações possibilitadas e criadas pelas descobertas científicas e desenvolvimento tecnológico, a denominada ‘*sociedade tecnológica*’, ao contrário do apregoado, não pode ser concebida como uma nova sociedade onde as decisões são próprias da ciência e da tecnologia, e suas repercussões no tecido social ocorrem de maneira apartada dos fundamentos sociais e concepções ideológicas, como afirma MÉSZÁROS (p.265, 1930)

*não pode haver um ‘tipo totalmente novo de sociedade’ criado pelo mecanismo pretensamente incontrolável e autopropulsionado das descobertas científicas e dos desenvolvimentos tecnológicos porque, na verdade, a ciência e a tecnologia estão sempre profundamente inseridas nas estruturas e determinações sociais da época. Conseqüentemente, não são nem mais ‘impessoais e não-*

*ideológicas', nem mais ameaçadoras do que qualquer outra prática produtiva importante da sociedade em questão.*

As novas técnicas de conversão de energia garantiram, de forma incontestada, até aquele momento, a melhoria da produtividade e intensidade da mão-de-obra empregada no processo produtivo. Contudo, a jornada de trabalho ficava limitada aos efeitos do movimento de rotação da terra, com isso, ao cair da noite encerrava-se o movimento de produção. Vale aqui reproduzir o relato do Barão DUPIM na Câmara de Paris em 1847 (HÉMERY, p.175, 1993):

*Há, portanto, uma extrema vantagem em fazer operar infatigavelmente os mecanismos, reduzindo à menor duração possível os intervalos de repouso: a perfeição nesta questão seria trabalhar sempre, com os operários levados pelo motor mecânico a um trabalho prolongado, a um trabalho contínuo, de dia à noite, aproximando-se cada vez mais do moto perpétuo.*

Tal limitante ao prolongamento do tempo de trabalho, e por conseqüência à expansão da acumulação capitalista, passou a compor a cesta de desenvolvimentos científicos e tecnológicos orientados à melhoria da produtividade industrial. Nesse caso, foi dada ênfase ao desenvolvimento de técnicas que permitissem a disponibilização da iluminação artificial.

Já no final do século XVIII foi possível “prolongar a luz do dia” no interior das fábricas e minas de carvão, através do uso do gás de iluminação obtido do processo de destilação do carvão, ou seja, através de uma forma de energia secundária. Com a entrada comercial do petróleo na matriz energética mundial, o desenvolvimento do petróleo iluminante passa a competir diretamente com o gás de iluminação.

Os fenômenos naturais que indicavam a presença de uma ‘força elétrica’ em alguns materiais, quando submetidos a um movimento de forma a gerar atrito nas partes presentes, já eram do conhecimento humano. No entanto, as primeiras experiências visando a aplicação comercial da eletricidade se registram no final do século XVIII e início do século XIX (MARTIN, 1992).

O primeiro registro de utilização comercial da eletricidade se deu através do telégrafo na primeira metade do século XIX, e não é por acaso que tal uso se verifica dentro de uma unidade de produção industrial. O telégrafo tinha por objetivo melhorar e

dar mais velocidade ao processo de transmissão de informação. Demanda esta vital ao projeto de expansão capitalista (HÉMERY, 1993).

O desenvolvimento da lâmpada incandescente de filamento por Thomas Edison em 1878 vem tornar viável economicamente a possibilidade de emprego desta forma de energia. O novo produto, concorrente direto dos sistemas de distribuição de gás, tinha o apelo comercial de apresentar um baixo preço e evidentes vantagens práticas, não exigindo, portanto, complexos programas de manutenção, e mostrava-se de fácil substituição. Em termos gerais, a invenção de Thomas Edison constituía-se em uma nova revolução nos produtos relacionados à iluminação.

Por outro lado, a lâmpada incandescente trazia imbricada à sua existência, uma complexa cadeia composta por distintas tecnologias e equipamentos, uma vez que a eletricidade não se caracteriza como uma fonte energética, mas sim como uma forma de emprego da energia. A mesma precede de uma fonte geradora, de um sistema de transmissão/distribuição e de um equipamento de uso final.

A estruturação de uma cadeia industrial que permitiu viabilizar o uso da eletricidade para iluminação tornou possível ampliar o uso econômico deste novo recurso em diversas atividades, transcendendo os limites do chão de fábrica e atingindo o setor comercial e residencial. A partir deste momento, os possíveis usos a serem dados a eletricidade, face ao desenvolvimento de uma gama diversa de produtos e equipamentos, tornam necessária a estruturação de sistemas centralizados de produção e distribuição da corrente elétrica.

O sistema apresentado por Thomas Edison estava configurado em uma complexa cadeia na qual se relacionavam distintos atores em atividade no centro financeiro, comercial e político, bem como o desenvolvimento de toda uma base tecnológica, intensiva em capital<sup>7</sup> a ser suportado por esses mesmos atores.

---

<sup>7</sup> Desde as primeiras ações de desenvolvimento da indústria elétrica se verifica o seu caráter intensivo em capital, uma vez que a disponibilização comercial de um único produto requer a estruturação de toda uma nova cadeia a ser desenvolvida sob elevados requerimentos de investimentos a serem carreados para o desenvolvimento de pesquisas básicas, a linha de produção, formação e capacitação de mão de obra, entre outros.

Tomado com exemplo os primeiros sistemas de comunicação por telégrafo, os mesmos requeriam um conjunto de baterias, relés magnéticos, chaves comutadoras e fios condutores. Para a materialização desse sistema, se fez necessário o desenvolvimento de todos os equipamentos necessários, o que resultou na captura de pesados investimentos (DORIVAL JUNIOR, 2002).



A nova tecnologia entraria na cena econômica como um potencial concorrente dos sistemas de distribuição de gás, dessa forma, os custos presentes no produto final ao consumidor, tinham como parâmetros os valores realizados para o gás de iluminação.

Face às limitações financeiras e/ou técnicas, a rede elétrica em corrente contínua, apresentada por Thomas Edison, configurava a geração, transporte e utilização da eletricidade limitada ao perímetro urbano, restringia, portanto, a possibilidade de integração de espaços, e por consequência, limitava a integração de processo. Thomas Edison defendia que, pelo caráter de interdependência dos processos de geração, transmissão/distribuição e uso final, a unidade de geração deveria ser localizada o mais próximo possível do ponto de utilização, por essa concepção a rede elétrica permitiria o uso descentralizado da eletricidade.

Tal concepção trazia como marca as limitações técnicas, inerentes ao estágio de desenvolvimento científico e tecnológico dos sistemas de corrente contínua, marcadamente pelo fato de que esta modalidade tecnológica apresentava severas restrições ao transporte de carga, uma vez que este transporte somente era permitido ocorrer em baixas tensões<sup>8</sup>.

George Westinghouse, ao contrário do que planejava Thomas Edison, trabalhava em uma concepção que vislumbrava a integração espacial da cadeia elétrica, superando, portanto, a necessidade de aproximação do módulo gerador da unidade de consumo

---

<sup>8</sup> A teoria dos circuitos elétricos mostra que a resistência elétrica de um condutor é função da resistividade do material usado ( $\rho$ ), do comprimento da linha ( $l$ ), da área da seção reta ( $A$ ).

A resistividade exprime o grau de dificuldade com que os elétrons circulam no interior de um determinado material. Além de variar de material para material, a resistividade depende também da temperatura. Os materiais com elevada resistividade são classificados como isolantes, ao passo que os materiais com baixa resistividade são considerados condutores (como é o caso dos metais em geral).

Tomando como referência uma determinada temperatura o valor da resistência ( $R$ ) de um circuito, em função das grandezas referidas, é dada pela equação:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Considerando também a lei de Ohm que mostra a existência de uma proporcionalidade direta entre a tensão ( $V$ ) e a corrente circulante na linha ( $I$ ) dada por uma constante denominada resistência ( $R$ ).

$$V = R.I$$

Dessa forma a corrente, parâmetro que define o diâmetro do condutor a ser empregado se eleva bastante quando de uma transmissão a baixa tensão, implicando na necessidade de condutores de grande seção transversal. Com efeito, as estruturas de suporte (torres de transmissão) tornar-se-iam irrealizáveis para uso em longa distância. Uma alternativa a esta limitação técnica seria a elevação do nível de tensão logo após a saída do gerador, tal possibilidade se tornou exequível quando, em 1886, foi desenvolvido o transformador de indução. No entanto, este novo dispositivo elétrico procedia do uso da corrente alternada.

final. Credita-se ao desenvolvimento do transformador de indução a real possibilidade de efetivação dos planos de Westinghouse, uma vez que tal dispositivo viabilizava a transmissão em corrente alternada em alta tensão, bem como a sua distribuição aos consumidores finais em baixa tensão.

A entrada no mercado dos geradores polifásicos e dos motores de corrente alternada multiplicou os usos da energia elétrica na indústria, acompanhado de uma crescente redução nos custos da produção da energia elétrica, o que, por consequência, permitiu uma maior expansão da oferta dessa forma de energia.

A expansão das redes de distribuição de eletricidade interferiu diretamente na estrutura de uso das outras tecnologias de produção de energia, já que seu transporte se mostrava mais rápido e eficiente que o transporte e armazenamento de outros combustíveis necessários em outras tecnologias. O uso crescente dos motores elétricos de corrente alternada substituiu os conversores a carvão. Este fato é justificado pelas suas vantagens comparativas de custos, rendimento e facilidade de operação e manutenção.

Nesta base, o modelo institucional estabelecido para o setor elétrico foi definido pelos padrões tecnológicos inerentes aos sistemas elétricos de corrente alternada, que permitiam a expansão da oferta a preços menores, acelerando, conseqüentemente, o crescimento da demanda.

A forma como o mercado elétrico se consolidou, já refletia, à época, a natureza do modo de produção capitalista. Diferente do que foi registrado nos Estados Unidos, a iluminação elétrica encontrou na Europa resistências a sua penetração, fato justificado pela forte presença das redes de distribuição de gás. O velho continente se rendeu ao uso da eletricidade como fonte de energia mecânica, através do uso dos motores elétricos em especial nos sistemas de transportes urbanos, antes que o transporte individual possibilitado pelo automóvel passasse a ser hegemônico.

Segundo DORIVAL JUNIOR (p.55, 2002),

*apesar de grande parte das experiências que marcaram a possibilidade de desenvolvimento da indústria elétrica ter sido realizada por experimentadores da Inglaterra e da França, não foram esses países que constataram o imediato progresso da indústria elétrica. Pois o capital não promove alteração tecnológica nos seus meios de produção, antes que todo o seu capital fixo tenha atingido o tempo de rotação do capital. Daí porque a indústria elétrica desenvolveu-se com maior facilidade nos Estados Unidos e*

*na Alemanha, pois estes países não tinham seu parque industrial marcado pelas tecnologias da primeira revolução industrial.*

No que concerne às experiências socialistas, o que se verifica é que estas não foram capazes de apresentar uma alternativa viável de superação das contradições presentes na gestão da energia configurada pelo modo de produção capitalista.<sup>9</sup> MARQUES (2003) mostra que o princípio usado por Lênin para delinear as bases sobre as quais a sociedade comunista deveria ser erigida, presente na formulação “*o comunismo é os soviéticos mais à eletricidade*”, expressa de forma sintética

*o modo como os revolucionários bolcheviques de então encararam as bases produtivas industriais capitalistas. A “eletricidade” encarnava positivamente o modo de produzir industrial e o “poder soviético”, a sua esfera distributiva estatal. Assim, em seus esforços modernizantes, os soviéticos reproduziram em suas estruturas econômicas ipsis litteris o trabalho abstrato na forma como era desenvolvido nas sociedades capitalistas (MARQUES (p.68, 2003).*

Como resultado, registra-se que as revoluções socialistas em suas opções energéticas não trilharam caminhos díspares daqueles adotados nas economias capitalistas. Na pauta dos planejadores socialistas sempre esteve presente, de forma imperativa, a necessidade proeminente do estabelecimento de um processo de industrialização. Isto é, cristalizou-se um consenso em torno de um possível desenvolvimento estruturado nas mesmas bases estabelecidas na industrialização clássica “*o mundo vai mudar de base, lia-se nas bandeiras das revoluções, mas todas elas permaneceram cativas da antiga lógica energética*” (HÉMERY, p.386, 1993).

## **1.4 A Indústria Elétrica e Suas Dimensões**

### **1.4.1 A Dimensão Tecnológica**

A eletricidade, diferentemente de qualquer outra forma de uso energético, é materializada em um fluxo, sob o qual o atual estágio de desenvolvimento tecnológico

---

<sup>9</sup> No capitalismo a universalização do sistema energético, em suas condicionantes sociais, econômicas e tecnológicas é disseminada como uma tendência natural, mas por outro lado não permite generalizar a forma, conteúdo e nível de consumo dos países industrializados, bem como cessar as repercussões ambientais negativas inerentes ao modelo.

não permite sua estocagem de forma economicamente viável para grandes volumes de produção. Na cadeia elétrica, o consumo ocorre no momento exato da geração, o que exige um complexo sistema de controle centralizado, de forma a permitir um funcionamento integrado dos operadores. Garante-se assim, um funcionamento eficiente do sistema como um todo e o seu equilíbrio técnico. Por consequência, a estruturação dos sistemas elétricos demanda elevados volumes de capital.

As atividades do setor elétrico caracterizam-se por se realizar dentro de um alto grau de complexidade dos conhecimentos envolvidos e por uma diversificação de formas e configuração das fontes primárias. Com isso, torna-se imperativo o constante aperfeiçoamento e desenvolvimento de um amplo leque de rotas tecnológicas, que deslocam-se ou co-existem umas com as outras dependendo do momento histórico considerado.

O módulo tecnológico (conversores de energia) é a fonte técnica que, a partir do aproveitamento de uma fonte energética, torna possível a realização do seu uso, já que não há utilização possível de energia sem que se recorra a um aparato tecnológico, por mais simples que este se configure. Pode-se, portanto, consumir menos energia para suprir uma mesma quantidade de energia útil, fazendo uso de uma tecnologia e fontes energéticas que apresentem maiores rendimentos.

Recorrendo-se à história, é fácil verificar, em termos de rendimento, eficiência e conteúdo energético as disparidades tecnológicas existentes entre os primeiros motores elétricos e os sofisticados sistemas de comando e controle que gerenciam o funcionamento das máquinas elétricas nas modernas linhas de produção.

Ressalta-se aqui a assertiva de que as tecnologias de novos conversores de energia não se desenvolvem, aprimoram-se e ampliam-se em uso e dependência de maneira imparcial. Elas trazem impressas em suas alternativas as escolhas sócio-políticas e econômicas e/ou as limitações de caráter natural, às quais a sociedade está submetida, podendo tanto ser fruto dos tensionamentos sociais internos ao seu arranjo estatal, quanto de pressões advindas do modelo internacional de circulação de mercadorias.

*O capitalismo representa uma ruptura com todos os sistemas energéticos que a humanidade tinha conhecido até então. Com ele, cessa a primazia da energia biológica e instaura-se a das energias fósseis. Esta ruptura não foi somente o produto do espírito Prometeico da Europa, mas também a resposta aos desafios*

*prementes da repetida escassez de energia, de terras e de recursos. Desde o fim da idade média uma saída é procurada, em três dimensões: intensificação das linhas existentes, criação de novas linhas, exploração dos recursos disponíveis. A primeira destas direções situa-se na continuidade das inovações medievais: fazer render mais a terra e as máquinas antigas. Ora, as rupturas decisivas são outras, situam-se em uma fuga para a frente, na inovação tecnológica que levará ao desenvolvimento de novos conversores-máquinas, o primeiro dos quais foi a máquina a vapor (HÉMERY, p.140, 19939).*

A vitória do sistema de corrente alternada é emblemática no que concerne à rota tecnológica sugerida por tal escolha, as relações físicas entre os elementos da cadeia, bem como seus desdobramentos no âmbito sócio-econômico. Se por um lado o sistema de corrente contínua apregoava a evolução desta tecnologia de forma descentralizada, integrado a cadeia no tempo e espaço, o sistema de corrente alternada amplia as fronteiras das inter-relações inerentes à cadeia elétrica. Ela “*ampliava a extensibilidade de tal forma que criava oportunidades para uma integração de espaços descontínuos*” (BICALHO, p.78, 1997). A descentralização da geração é o marco dessa tecnologia, e com isso o apartamento de diversos atores do processo de escolha e gestão da oferta.

A vitória dos sistemas de corrente alternada “*sobrepuxou a utilização de linhas de corrente contínua, viabilizando a padronização necessária para a ampla utilização desta tecnologia e abriu a possibilidade de exploração econômica de plantas geradoras em grande escala e seu transporte através de longas distâncias*” (LEDERER, p.48, 1991).

Dadas as determinantes técnicas, resultantes da opção pela corrente alternada, no início do século XX é que se criam as condições de contorno para a consolidação de uma regularidade tecnológica<sup>10</sup> na indústria em tela. É sobre a base tecnológica da geração hidráulica e térmica (essa composta por unidades a vapor e a gás) e mais recentemente a energia nuclear, que se concentrou o desenvolvimento da indústria elétrica na etapa de geração. Segundo BICALHO (p.23, 1997) “*a trajetória virtuosa observada na indústria de eletricidade até os anos setenta resulta da exploração de um determinado paradigma tecnológico que se configurou no início do século XX*”.

---

<sup>10</sup> Uma regularidade tecnológica é obtida ao se identificar uma lógica interna aos processos que geram Inovações tecnológicas e institucionais, encontrando, dessa maneira, uma certa regularidade na evolução dessas mudanças ao longo do tempo (BICALHO, 1997).

A turbina hidráulica implementou uma ruptura radical nas técnicas de transmissão de energia mecânica. Até então a energia cinética e/ou potencial disponibilizada nos rios tinha seu uso restrito a pequenas distâncias. Através da conversão hidráulica foi possível a obtenção da eletricidade, uma forma de energia mais facilmente transportável a grandes distâncias, regulável e divisível.

Na usina hidroelétrica a captação da energia potencial ou cinética através de uma turbina fornece a energia mecânica a ser convertida em eletricidade no gerador elétrico. Já nas unidades termoeletricas, a energia mecânica a ser disponibilizada no eixo do gerador elétrico é resultado da captação da mesma a partir de um fluxo de vapor ou de gás. As unidades de geração nuclear configuram-se como uma usina térmica.

Nestes termos, creditam-se ao contínuo aprimoramento tecnológico as esperanças da manutenção dos meios de alcance do suprimento adequado dos requerimentos energéticos demandados pela sociedade através de distintas rotas tecnológicas. No estágio atual do desenvolvimento das tecnologias de conversão de energia, impera a incorporação de um crescente volume de conhecimentos que possam materializar-se em tecnologias de maiores ganhos de rendimentos, redução de custos e que contemplem as demandas ambientais hoje pleiteadas pela sociedade.

#### **1.4.2 A Dimensão Econômica**

O mercado de energia e, com acento, o mercado de eletricidade, por depender fortemente de fontes primárias de origem fóssil nas unidades termelétricas, está no centro das atividades econômicas dos Estados Nacionais e interfere diretamente no movimento das relações sociais, sendo vital ao sistema produtor de bens e serviços. Nos ciclos de desenvolvimento vivenciados na configuração da estrutura produtiva estão estreitamente imbricadas as escolhas e rotas, levadas a cabo na conformação da estrutura energética.

*A estrutura produtiva existe e se recria graças à estrutura energética. Por oposição, a estrutura energética existe e se recria graças a esta estrutura produtiva. Isto significa que a tensão-realimentação entre produção e o consumo se processa também por este entrelaçamento entre estrutura produtiva-estrutura energética (ALVEAL CONTRERAS, p.38, 1982).*

Dessa forma, as condições de produção, transporte, abastecimento e o efetivo consumo de energia importam ao conjunto da sociedade - aos cidadãos (demandantes) e operadores de mercado (ofertantes e/ou gestores). As tomadas de decisões verificadas no setor energético podem repercutir de forma marcante na economia regional e também mundial.

O denominado choque do Petróleo, eclodido em 1973, é uma representação emblemática dos efeitos que as decisões tomadas no âmbito do setor energético podem causar à economia mundial. Os dois reajustes sucessivos no preço do Petróleo no mercado internacional baixados pela Organização dos Países Exportadores de Petróleo - OPEP, o primeiro de 70% em 16 de outubro de 1973 e o segundo reajuste de 130% cerca de dois meses depois, afetaram profundamente as economias nacionais que se apresentavam dependentes das importações de petróleo. A ‘crise energética’ - termo cunhado nesse período para assinalar a escassez relativa e o brusco reajuste dos preços do petróleo - atingiu a Europa Ocidental, o Japão e a totalidade dos países subdesenvolvidos não produtores. Os Estados Unidos<sup>11</sup>, em que pesem as avaliações de ganho com a crise, também sentiram o peso da mesma em alguns setores de sua economia. Os países periféricos foram penalizados também pelos incrementos nos preços dos produtos industriais importados dos países desenvolvidos, como efeito do aumento dos custos com energia embutidos na produção e transporte.

As atividades energéticas agrupam-se em ‘cadeias’ (petrolífera, gasífera, carbonífera, elétrica, fontes alternativas, e outras), as quais apresentam estreitas relações em muitos processos tecnológicos. Vejamos o caso da cadeia elétrica, cuja tecnologia de geração, quando térmica, se insere nas cadeias carbonífera, gasífera e petrolífera. Uma vez que os insumos demandados para obtenção de energia mecânica a ser transferida ao eixo do gerador elétrico são provenientes de estoques de energia química presente nos combustíveis de origem fóssil, essa rota tecnológica é dependente das etapas de extração, refino e transporte, que configuram e diferenciam as distintas cadeias, através das rotas tecnológicas assumidas. Além disso, fica vulnerável a todas oscilações de

---

<sup>11</sup> BÔA NOVA (p.89, 1885) afirma que o “*prodigioso aumento da demanda mundial de petróleo fortalecia consideravelmente a posição de seus produtores e ao mesmo tempo, apontava na direção do encarecimento do seu preço. Especificamente, um aumento significativo nos preços do petróleo convinha aos interesses tanto das Sete Irmãs como do governo dos Estados Unidos*”. Assim o aumento de preços também permitia a viabilização de inúmeras reservas de propriedade desses atores que, aos preços praticados até data dos reajustes, eram inviáveis.

caráter geopolítico que têm conformado, ao longo da história dessas cadeias, as escolhas postas em movimento.

PISTONESI (1994) define uma cadeia como um conjunto articulado de atividades técnicas, econômicas e financeiras integradas dentro de um processo de produção dirigido à fabricação de um produto ou a realização de um serviço. Por esta definição, cada cadeia energética constitui um subsistema dentro do sistema sócio-econômico identificado sobre a base de um conjunto de processos de produção que conduzem a um produto ou a um conjunto de produtos ligados, considerando as principais relações de caráter técnico-financeiro e sócio-industrial que resultem essências para o funcionamento do processo.

A gestão das cadeias energéticas deve estar orientada a garantir o abastecimento e provisão dos serviços de energia como forma de afiançar sua qualidade, quantidade e preço. A garantia do abastecimento é necessária como forma de assegurar a satisfação permanente das necessidades básicas de energia, através do acesso aos recursos internos, exploráveis sob condições economicamente aceitáveis, ou pelo uso das reservas estrategicamente armazenadas, ou ainda, pela entrada de fontes externas acessíveis, diversificadas e estáveis. O conceito de garantia de abastecimento contempla a segurança física; a segurança econômica; a continuidade do abastecimento e a qualidade destes serviços ao usuário.

A indústria de energia elétrica nasce no espaço delimitado pelo pensamento condutor do capitalismo industrial do fim do século XIX. O volume financeiro, especificidades técnicas e as demarcações institucionais necessárias ao seu estabelecimento não seriam possíveis sem a intensa movimentação do capital técnico-político e financeiro ativo naquele momento. Para o sucesso comercial dessa nova indústria, a obtenção de uma concessão adicionada à consecução de financiamentos feitos em bases vantajosas se mostrava tão importante quanto o desenvolvimento eficiente do elemento básico de geração. Nestes termos, foi a articulação técnico-financeira liderada pelos banqueiros da época que materializou o capital necessário à realização dos sistemas elétricos.

A vitória da corrente alternada foi a chave necessária à orientação dessa indústria para o estabelecimento de arranjos técnicos que garantissem a crescente ampliação das economias de escala e escopo, como forma de redução dos custos de produção e, por conseqüência, tornar a eletricidade competitiva frente às redes de



distribuição de gás e, posteriormente, ao mercado de máquinas a vapor para produção de energia mecânica.

Nestes termos, a ampliação da exploração de economias de escala e escopo pelo módulo de geração para ser efetiva, rogava por um aumento do fluxo de energia elétrica gerada, preferencialmente em uma mesma unidade de geração. Pelo lado da demanda esta ação requeria a ampliação contínua de demandantes, isto é, o estabelecimento de um número limitado de ofertantes na geração e atomização das unidades de consumo.

Esta lógica implica em uma crescente necessidade de aumento da capacidade instalada da unidade de geração, bem como a extensão da rede elétrica, complexificando sobremaneira o gerenciamento da tríade: geração, transporte e uso. Considerando que o uso final da eletricidade deve ocorrer no momento de sua geração e os demandantes apresentam distintas estruturas de consumo, tanto no que se refere a módulo quanto a variação temporal, essa relação *“entre o gerador e o transportador tendia a se aproximar, no limite, de uma situação de monopólio bilateral, tornando a continuidade dessa relação essencial para a manutenção da rentabilidade dos ativos envolvidos nessas duas atividades”* (BICALHO, p.97, 1997).

Nesse contexto, efetiva-se a integração das atividades de geração com a rede de transporte, possibilitando a redução de custos de transação derivados da existência de ativos inerentes a esses dois ramos da cadeia elétrica. Tal conformação foi determinante para o abandono da pesquisa e desenvolvimento de tecnologias que apontassem para a produção descentralizada de energia e que não se moldasse à estrutura voltada para a crescente ampliação da potência instalada por unidade, como forma de alargamento nas economias de escala e escopo, possível com a tecnologia convencional de geração e transporte. Neste cenário não restaram oportunidades de mercado às tecnologias de uso direto da energia solar ou em sua manifestação eólica.

Dada a necessidade de uma estreita interação entre as atividades de operação do sistema integrado de geração/transporte de eletricidade com as atividades de concepção, desenvolvimento e produção de equipamentos elétricos, não foi difícil que também se estabelecesse uma integração entre os diversos atores do setor.

*“A criação de espaços comuns de coordenação e gestão de informação era importante pra o sucesso dos empreendimentos inovativos envolvendo a introdução de equipamentos maiores e mais eficientes, em um contexto de complexidade sistêmica crescente. Nesse sentido, a integração entre as atividades de produção de*

*equipamentos elétricos e de fornecimento de energia elétrica se constituía em uma fonte de redução de custos de transação e de intensificação do aprendizado” (BICALHO, p.99, 1997).*

Como resultado, as empresas elétricas, já em seu nascedouro, caminharam em direção a uma situação favorável à formação de monopólios, uma vez que o arranjo setorial se confundia com a rede de transporte elétrico. Dessa forma, as empresas estendiam as suas atividades em todas as etapas próprias do setor, indo desde a fabricação dos diversos dispositivos eletromecânicos até a distribuição da eletricidade.

Essa centralização criou as condições de apropriação dos saberes concernentes ao funcionamento do sistema e das tecnologias, garantindo assim o controle por parte dos atores capitalistas, do processo de inovação, gestão dos recursos financeiros, controle dos mercados e poder de atalho junto a organismos representantes do Estado como forma de melhor promover, aos olhos dos investidores, a regulamentação e concessão da exploração dos serviços elétricos em uma determinada região. A indústria elétrica configurou-se, portanto, em uma atividade que melhor representa o capitalismo do fim do século XIX.

Há que ressaltar o caráter transnacional dessa indústria. Desde sua origem a atuação das empresas elétricas tinha como meta de crescimento o avanço sobre os mercados exteriores ao seu país sede.

*“É, com efeito, notável que a rede de relações inter-industriais que induz, e que faz dele um dos setores de maior capacidade de polarização no início do século XX, inclui, em escala mundial, um número restrito de sociedades lideradas por duas sociedades-gigantes, uma americana, a General Electric, a outra alemã, a Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft - AGE (HÉMERY, p.191, 1993).*

O fator preço tem se mostrado a base da tríade de garantia de abastecimento (qualidade, quantidade e preço). A partir deste, determina-se as quantidades e o nível técnico (indicador de qualidade) dos volumes a serem ofertados. Desta forma, o que é factível no plano tecnológico, nem sempre o é no plano econômico. As possíveis aberturas de fronteiras apresentadas pelas inovações tecnológicas se submetem à impiedosa avaliação, do ponto de vista econômico, dos custos das mesmas e de suas repercussões nos preços dos produtos da cadeia energética.

Uma outra marcante característica do setor elétrico é a sua intensividade em capital. Os investimentos relacionados às atividades próprias do setor, em qualquer de suas etapas, são elevados e requerem um largo tempo de maturação. A expansão da capacidade de produção é a etapa que mais pressiona a captação de financiamento e apresenta prazos de maturação da ordem de 5 a 10 anos, dependendo da cadeia e tecnologia usadas. A característica de ser capital intensivo dificulta o planejamento do setor, uma vez que os prazos envolvidos se ressentem das instabilidades econômicas.

Quanto à estrutura de oferta e demanda, o setor elétrico apresenta um acentuado desequilíbrio, ou seja, verifica-se um reduzido número de ofertantes frente a um infinito número de demandantes. Dessa forma, a economia da energia realiza-se em um sistema de alta complexidade de ações e reações onde intervém uma extensa gama de atores, tornando necessária a intervenção do Estado, seja de forma direta, como produtor ou através de sua atividade reguladora.

Em todos os países, mesmo naqueles que enfatizam o mais puro liberalismo econômico, a ação do Estado e sua administração pública sempre recai sobre as escolhas energéticas. Neste contexto, os preços da energia refletem diretamente as ações da política energética e, por conseguinte dos instrumentos da política econômica (MARTIN, 1992).

### **1.4.3 Dimensão Política e Institucional**

O setor elétrico não se efetua de forma dissociada dos vários outros setores da economia, pelo contrário, importa em um subconjunto do sistema sócio-econômico, articulando-se fortemente com os outros setores da economia: industrial, transporte, serviços, habitacional, rural e urbano, dentre outros. Esta estreita relação faz com que as repercussões de sua condução se ampliem, na medida em que o fator energia é vital, ou demasiado impactante, para o funcionamento eficiente dos outros setores da economia. Dessa forma, toda decisão feita no âmbito de setor elétrico tem reflexos imediatos no sistema sócio-econômico e também político.

Uma outra característica marcante no mercado elétrico reside no fato de que o mesmo tem caráter de bem essencial, um serviço público definido pela sociedade. Isto, por sua vez, originou obrigações legais de abastecimento, tornando imperativa uma

permanente expansão e manutenção de grandes reservas como forma de garantir um abastecimento contínuo e confiável.

Muitos Estados Nacionais consideram que a efetiva garantia do abastecimento energético é sua missão. O argumento para essa assertiva reside no fato de que uma provável escassez de energia tem um custo demasiado elevado, já que provoca a paralisação dos setores chaves da economia, estendendo-se de tal forma que pode levar a um colapso econômico.

Inúmeros são os instrumentos que podem ser usados para viabilizar a garantia do abastecimento energético de forma contínua e segura, muitos dos quais incompatíveis entre si e divergentes de outros objetivos atribuídos ao Estado, mais marcadamente a busca da competitividade econômica.

As escolhas técnicas e econômicas que conduziram, e conduzem, o setor energético são, ao final, decisões de caráter político, muitas das quais feitas sem a real garantia de uma avaliação favorável. A história da energia mostra, de forma incontestável, que as escolhas feitas no curso do desenvolvimento do setor elétrico mundial foram, e continuam sendo, marcadas por ocorrências políticas, fruto do embate econômico no qual o mercado mundial de energia está inserido.

São certo que a fonte alimentadora do funcionamento das engrenagens próprias da estrutura energética é predominantemente dependente dos recursos naturais, sendo a apropriação destes recursos submetida a ações de neutralizações e explorações, materializadas na dinâmica de mediação dos conflitos travados pelos diversos atores sociais, estes, pois, representados principalmente pelo Estado, ente depositário da faculdade de decidir sobre as riquezas naturais.

Também é certo que não há possibilidade de que se possa ampliar, na natureza, uma fonte energética (em sua dimensão física) através de uma decisão política, no entanto *“os espaços abertos para as políticas que mantenham, modifiquem ou transformem em cenários futuros, o papel a ser exercido pelos recursos naturais e demográficos, é primordial”* (ALVEAL CONTRERAS, p.67,1982).

*“Todas as cadeias energéticas podem servir para reforçar uma classe social ou um aparelho de Estado, quaisquer que sejam, no fim, suas características técnicas. Quanto aos sistemas energéticos, sua dinâmica obedece a uma racionalidade mais geral, aquela da formação social da qual fazem parte; ela traz, pois, a marca do poder político-religioso do faraó, daquele do senhor feudal ou*

*daquele, mais recente, do Estado burguês(...). Nesta perspectiva, o que está em jogo nos conflitos relativos aos sistemas energéticos é, sem nenhuma dúvida, a apropriação dos excedentes, o livre acesso às fontes de energia” (HÊMERY, p.24, 1993).*

A expansão da eletricidade na Europa e nos Estados Unidos se deu sob uma total ausência de normas e padronizações técnicas para distribuição da corrente elétrica produzida, no que se refere à tensão e frequência. O que se tinha eram diversas redes locais operando com características técnicas distintas. No entanto, a viabilização de grandes redes elétricas de distribuição propiciou o fim de tamanha multiplicidade técnica.

A intervenção nas atividades econômicas, através de normas e leis que cada sociedade elege como sendo vital para uma ordem estabelecida, visa ordenar a atividade econômica de modo a garantir a prosperidade geral ou o bem comum. Na verdade, não existe mercado funcionando sem alguma base de leis, normas e convenções sociais, que lhe dão sua forma específica e até seu conteúdo (LIZARDO, 2002).

O setor elétrico tem como resultado produtos considerados essenciais para o movimento da economia dos Estados Nacionais. Seu funcionamento requer elevados investimentos de longo prazo de maturação e implica na produção de inúmeras externalidades. Estas características tornam necessária a existência de alguma forma de intervenção pública. Assim, as ações de caráter sócio-econômico e político, empreendidas no setor energético, são substancialmente condicionadas pelo arcabouço legal no qual tais atividades devem estar inseridas. Essa estrutura normativa, que expressa os diferentes projetos de sociedade conduzidos pela figura do Estado, deve ser organizada de tal forma que possa assegurar:

- A jurisdição de autoridade para toda ou parte da cadeia energética em relação ao controle, fiscalização e regulação sobre os recursos e serviços energéticos afins. Esta deve ter caráter nacional, estadual ou municipal;
- A configuração do direito de atuação sobre os recursos naturais ou atividades, se de caráter público ou privado;
- O direito de posse sobre os recursos naturais e suas relações com a forma de prestação de serviços;

Estas condicionantes são de importância capital para o funcionamento do mercado elétrico, uma vez que a base de sua estrutura de produção encontra-se totalmente dependente da definição legal do acesso aos recursos naturais. Além disso, toda a cadeia apresenta características de mercado expressivamente monopolistas.

Segundo a teoria neoclássica, os modelos de Concorrência Perfeita e Monopólio são as estruturas fundamentais de mercado. As condições básicas de um mercado de concorrência perfeita podem ser resumidas em: atonicidade; homogeneidade; transparência; mobilidade e fluidez. Em situação de concorrência perfeita, os produtos podem ser ofertados aos menores preços possíveis e em máximas quantidades. Para isso, o mercado deve preencher os seguintes requisitos:

- Possuir grande número de empresas ofertantes;
- Os produtos ofertados devem ser homogêneos;
- Ser possível a livre entrada e saída das empresas;
- A livre circulação de informações deve ser garantida;
- Existir perfeita mobilidade dos fatores de produção.

Em situação de monopólio é estabelecida uma estrutura em que apenas um único produtor atua no mercado. A existência de um monopólio decorre de várias causas, traz a marca das diretrizes políticas tomadas em determinados momentos históricos e também as limitações técnicas e econômicas. A teoria neoclássica aponta as seguintes causas como sendo determinadoras da existência de um monopólio:

- Existência de uma propriedade exclusiva de matérias-primas ou de técnicas de produção;
- Existência de patentes sobre produtos ou processo de produção;
- Existência de licença governamental ou imposição de barreiras comerciais para excluir competidores.

O monopólio natural ocorre quando apenas uma empresa é suficiente para suprir de forma eficiente a demanda de mercado. Esta situação é identificada quando o custo para produzir uma unidade adicional de um bem se reduz na medida em que sua

produção aumenta, de forma continuada, na escala em consideração. Isto corresponde a um custo marginal decrescente. Nesta situação, uma empresa atuando em condição de monopólio natural pode estabelecer preços bem menores que aqueles que seriam praticados, caso muitas empresas estivessem atuando sob forma de concorrência na sua área de monopólio, gerando, portanto, rendimentos crescentes à escala.

O setor elétrico, decerto, enquadra-se fortemente nas características que definem um monopólio, sendo a transmissão e distribuição reconhecidas como um monopólio natural.

O modelo institucional estabelecido para o setor elétrico foi definido pelos padrões tecnológicos inerentes aos sistemas elétricos de corrente alternada, que acolhiam a expansão da oferta a preços menores, acelerando, conseqüentemente, o crescimento da demanda. A expansão das redes e a interconexão dos sistemas

*permitia reduções significativas de custos e melhoria da qualidade do serviço, gerando aumento do consumo, que por sua vez, colocava condições para o aprofundamento de concentrações e centralização dos sistemas elétricos. Estes movimentos impuseram a integração vertical e horizontal como a melhor alternativa para a organização da indústria de eletricidade, já que permitiriam a melhor aferição das economias de escala e escopo oriundas da densificação dos mercados (TOLMASQUIM, p.9,1996).*

A eletricidade, diferentemente das outras fontes, é materializada em um fluxo, sob o qual o atual estágio de desenvolvimento tecnológico não permite sua estocagem de forma economicamente viável para grandes volumes de produção. O consumo ocorre no momento exato da produção, o que exige um complexo sistema de controle centralizado, de forma a permitir um funcionamento integrado dos operadores. Garante-se assim, um funcionamento eficiente do sistema como um todo e o seu equilíbrio técnico. Dessa forma, a estruturação dos sistemas elétricos demanda elevados volumes de capital.

As características próprias do setor elétrico fizeram com que o seu desenvolvimento e estruturação fossem levados a cabo pelos Estados Nacionais. Tal fato se registrou devido a iniciativa privada não ter se mostrado atraída por investimentos que abarcassem seus capitais em projetos de longo prazo de maturação. Por outro lado, o setor privado também não demonstrou capacidade de coordenar, de forma eficiente, a interconexão dos sistemas em constante expansão. Tais características

fizeram com que na maior parte do mundo os sistemas elétricos fossem estabelecidos sob a base de um monopólio, no qual o Estado também atuava como agente regulador.

Em sua gênese, a formação do mercado de energia elétrica contou com uma marcante presença do

*Estado enquanto produtor, os planos de investimento fundavam-se no aproveitamento de economias e deseconomias de escala e na realização das interconexões técnicas. Enquanto isso, o mercado era garantido pela existência de barreiras institucionais que viabilizavam a posição de monopólio natural em três níveis: geração, transmissão e distribuição. (CHEVALIER, apud TOLMASQUIM, p.9, 1996).*

#### **1.4.4 Dimensão Ambiental**

As atividades do setor elétrico em suas etapas de exploração, transformação, distribuição e uso, incorrem em significativos impactos sobre o meio ambiente natural e antrópico. Os danos mais expressivos, originários do funcionamento do mercado de energia, estão relacionados com as emissões de poluentes atmosféricos, contaminação dos meios aquáticos e terrestres e a geração de resíduos. Acrescenta-se também o esgotamento dos recursos naturais, produção de ruídos, impactos visuais e os efeitos negativos à biodiversidade.

O aumento das concentrações das emissões dos poluentes atmosféricos tem repercutido em danos ambientais de âmbito global, regional e local. Dentre estes, podemos citar: intensificação do efeito estufa, depleção da camada de ozônio e a chuva ácida. A geração de eletricidade a partir de recursos fósseis lança na atmosfera uma gama de compostos contaminantes que atuam no meio ambiente contribuindo para a acidificação do solo e dos recursos hídricos. Como principais contaminantes podemos apresentar o SO<sub>2</sub> (principal poluente para a formação da chuva ácida), CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> (responsáveis pela maior intensificação do efeito estufa), metais pesados e hidrocarbonetos (responsáveis pela formação do “smog fotoquímico”).

O setor energético responde por quase todo o volume de emissões de CO<sub>2</sub>. Na atualidade, são lançadas anualmente na atmosfera próximo a 6,3 bilhões de toneladas de carbono, resultantes da queima de combustíveis fósseis. Tais quantidades superam significativamente a capacidade de suporte do ecossistema terrestre.



Os grandes aproveitamentos hidroelétricos geram impactos ambientais significativos. Embora localizados, podem causar fortes transtornos nos sistemas situados à montante e à jusante das barragens. Os impactos ambientais deste tipo de aproveitamento diferem bastante de local para local, indicando ser necessário uma profunda avaliação das especificidades das áreas afetadas.

A produção de eletricidade através da tecnologia nuclear apresenta problemas relacionados ao destino dos resíduos radioativos gerados. Este fato inquieta enormemente a humanidade devido ao alto grau de periculosidade que estes resíduos representam, bem como o elevado risco de acidentes durante a operação das unidades geradoras. A desativação das instalações e o armazenamento dos resíduos radioativos são problemas que ainda não estão completamente resolvidos, o que tem restringido a expansão desta tecnologia.

De uma maneira geral as implicações ambientais da produção e o uso dos recursos energéticos têm gerado um grande desafio para os países desenvolvidos e países emergentes, consistindo da busca e adoção de modelos de crescimento que garantam a sustentação do desenvolvimento destes, bem como da indústria de energia, sem que se ampliem os efeitos negativos ao meio ambiente. Neste contexto, a adoção de novas tecnologias de produção e uso dos recursos renováveis apresenta-se como uma alternativa viável do ponto de vista ambiental. No entanto, estas tecnologias sofrem impedimentos advindos de avaliações sócio-econômicas e políticas desfavoráveis.

## **1.5 Configuração do Setor Elétrico Brasileiro**

### **1.5.1 Percursos Tecnológicos**

As rotas tecnológicas que determinaram o estabelecimento de uma regularidade na consolidação e expansão do mercado de energia elétrica brasileiro são decorrentes, sob o ponto de vista do desenvolvimento técnico, da apropriação dos avanços da ciência e tecnologia no mundo. Sob a ótica interna os percursos seguidos foram, e seguem sendo, frutos das disponibilidades de recursos energéticos em solo nacional impulsionado pelo perfil de consumo, bem como das tendências que deram contorno aos processos de industrialização e urbanização do país, verificados desde o início do século XX e de forma mais acentuada a partir da década de 1950.

O Brasil, sem que tivesse passado pela era do carvão, resultado da primeira revolução industrial, habilitou-se a fazer uso das tecnologias que configuraram a segunda revolução industrial, nominadamente a civilização do petróleo e eletricidade. No entanto, a materialização dos primeiros investimentos no campo da energia elétrica tem registro, de forma tímida, ainda no final do século XIX.

Os primeiros empreendimentos de aproveitamentos da eletricidade com fins comerciais no Brasil datam de 1883. Registra-se nesse ano a entrada em funcionamento de uma usina térmica de 35 kW, destinada ao abastecimento elétrico da iluminação pública da cidade de Campos no estado do Rio de Janeiro, em substituição as redes de gás. Já em 1889 entra em operação, na cidade de Juiz de Fora - MG, a usina hidroelétrica de Marmelos com potência instalada de 375 kW distribuídos em três geradores de 125 kW. Esta usina, a fio d'água, fazia o aproveitamento da cachoeira de Marmelos no rio Paraibuna (MELO 2001 e LEITE, 1997).

No período inicial de formação do setor elétrico brasileiro se verificava a total ausência de uma legislação que orientasse o funcionamento da cadeia elétrica. O marco legal de ordenamento desse mercado estava restrito aos atos de concessão e na assinatura de um contrato de prestação do serviço entre o poder concedente<sup>12</sup> e o concessionário (DELGADO, 2003).

Neste ambiente, chega-se aos anos 1930 com o Brasil registrando uma potência instalada de cerca de 779 MW em usinas, para os padrões construtivos atuais, aceitas como de pequena potência, na grande maioria hidroelétricas operando a 'fio d'água' ou com pequenos reservatórios de regularização diária, cuja maior parte tinham sua propriedade pertencente as indústrias e Prefeituras Municipais.

No Brasil a abundância de seus recursos hídricos fez com que a tendência mundial de adoção da tecnologia termoelétrica não encontrasse eco em seu modelo de expansão do setor elétrico. O atual nível de aproveitamento dos recursos hídricos brasileiros faz com que o mesmo se diferencie marcadamente das demais opções energéticas que aduz viabilidade de uso em escala comercial no mundo, uma vez que o mesmo apresenta uma importante penetração na matriz energética nacional, contando com uma larga experiência de construção, uso e manutenção, o que torna as tecnologias empregadas devidamente consolidadas.

---

<sup>12</sup> O poder concedente poderia estar representado pelos governos Federal ou Estadual, dependendo do arranjo de concessão definido em contrato.

O Brasil é possuidor de um considerável potencial de recursos hidrológicos que totaliza 8% de toda a água fresca do planeta, tal disponibilidade hidráulica viabilizou a estruturação de um complexo parque gerador de energia elétrica a partir de grandes reservatórios que vêm garantindo o desenvolvimento econômico do país e desempenhando um papel ímpar no encontro da integração e do desenvolvimento regional.

No mundo os aproveitamentos hidráulicos são responsáveis por aproximadamente 20% de toda a eletricidade ofertada. Já no Brasil a energia hidrelétrica responde por cerca de 42% da matriz energética nacional, representando 90% de toda a produção de eletricidade do país e equivale a 12% de toda produção de energia hidroelétrica do mundo. Com um potencial estimado em 260 GW e apenas 24% deste potencial aproveitado (62 GW de capacidade instalada em usinas hidroelétricas), esta fonte deverá manter a sua predominância na matriz energética nacional nas próximas décadas.

A distribuição territorial do potencial hidrelétrico brasileiro concentra-se fortemente na Bacia Hidrográfica do Amazonas, respondendo esta por 40,5%. A bacia do Paraná registra 23% desse potencial, a bacia do Tocantins 10,6% e a do São Francisco 10%. As bacias do Uruguai disponibilizam 5%, cujo valor igual é encontrado na bacia do Atlântico Leste. As demais bacias, composta pelo Atlântico Sudeste e Atlântico Norte/Nordeste, somam ao todo 5% do total do potencial hidroelétrico nacional.

É importante frisar, que de acordo com o Atlas de Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2002), apenas 63% do potencial nacional foi inventariado. Assim, as participações percentuais por bacias diferem em termos de potencial conhecido. A tabela 1.1 mostra o potencial hidrelétrico brasileiro por bacia hidrográfica.

**Tabela 1.1 - Potencial Hidrelétrico Brasileiro por Bacia Hidrográfica – Dezembro de 2000.**

BACIA HIDROGRÁFICA	INVENTARIADO		REMANESCENTE		TOTAL	
	[MW]	%	[MW]	%	[MW]	%
Rio Amazonas	32.899	19,4	73.510	77,0	105.410	40,5
Rio Tocantins	24.831	15,1	2.709	2,8	27.540	10,6
Atlântico Norte/Nordeste	2.047	1,2	1.355	1,4	3.402	1,3
Rio São Francisco	23.847	14,5	2.472	2,6	26.319	10,1
Atlântico Leste	12.037	7,3	2.055	2,2	14.092	5,4
Rio Paraná	51.708	31,4	8.670	9,1	60.378	23,2
Rio Uruguai	10.903	6,6	2.434	2,5	13.337	5,1
Atlântico Sudeste	7.327	4,5	2.290	2,4	9.617	3,7
<b>Brasil</b>	<b>164.599</b>	<b>100</b>	<b>95.496</b>	<b>100</b>	<b>260.095</b>	<b>100</b>

Fonte: ANEEL, 2002

Ao final da Segunda Guerra Mundial, o Sistema Elétrico brasileiro se fortaleceu devido a construção da usina hidroelétrica de Paulo Afonso I, com uma potência de 180 MW, seguida pelas usinas de Furnas, Três Marias e outras, com grandes reservatórios de regularização plurianual. Nesse termo afirma BENJAMIM (p.58, 2001):

*o Brasil da década de 50 queria crescer. Precisava de energia. Em 1957, o Estado construiu a barragem de Furnas para garantir o necessário aumento de oferta. Como a memória da grande seca era fresca, o moderno sistema elétrico brasileiro que nasceu ali, foi dimensionado para suportar outra ocorrência como aquela, acumulando combustível ou seja, água - suficiente para cinco anos de operação, mesmo sem chuvas. A expansão do sistema passou a ser planejada de modo que a demanda prevista para os cinco anos seguintes permanecesse sempre igual a 'energia firme', ou seja, a energia que pode ser gerada em regime de seca.*

A grande seca citada por BENJAMIM refere-se ao período de 1951-1956 no qual se registrou uma estiagem que durou cinco anos com volume de água de cerca de 40% do volume anual médio histórico. Tal fato foi preponderante na determinação dos critérios técnicos de dimensionamento e expansão do parque gerador hidráulico, uma vez que se passou a considerar desde então a possibilidade de uma nova ocorrência do fenômeno e, portanto, se fazia necessário a garantia da energia mesmo em situação de restrição de chuvas como a vivenciada no período em destaque (D'ARAÚJO, 2001)

No que concerne ao 'diferencial Brasil' a opção brasileira pela construção de grandes reservatórios é suportada tecnicamente pelo fato de que as aflúncias anuais mostram valores discrepantes entre o menor e maior fluxo anual de sete vezes,

alcançando a diferença de 18 vezes, quando verificadas essas mesmas relações em períodos mensais.

*Essa característica tropical dos rios brasileiros, observados sob o ponto de vista energético, justifica a construção de grandes reservatórios, de modo a poder armazenar toda essa energia potencial das águas. Um outro motivo puramente geográfico dos grandes reservatórios é a grande presença de rios chamados de 'planalto' que, ao serem represados, formam naturalmente grandes lagos, desse modo, é possível regularizar os rios brasileiros, tornando as usinas capazes de gerar energia economicamente.*

*Um dos pontos importantes desse sistema é a natural complementaridade das usinas brasileiras. Avaliadas individualmente, elas seriam capazes de gerar uma certa quantidade total de energia. Uma vez operadas em harmonia e aproveitando na complementaridade das bacias com regimes hidrológicos diferentes, essa energia total pode apresentar ganhos de quase 30% acima da energia original. Trata-se de um dos raros exemplos de exploração com características de um jogo de 'soma positiva', ou seja, com ganhos para o conjunto e não para iniciativas independentes (D'ARAÚJO, p.143, 2001).*

A tecnologia de aproveitamento hidroelétrico deu forma a uma regularidade tecnológica na expansão do setor elétrico nacional, na qual, devido a natureza das aflúências dos rios brasileiros e a variabilidade do volume de água disponível a cada ano, a operação das usinas térmicas têm uma predominância de uso complementar às usinas hidráulicas. “A disponibilidade de água pode ser tão abundante que não será necessária nenhuma geração térmica de eletricidade por meses ou até anos” (D'ARAÚJO, p.143, 2001). A tabela 1.2 mostra a evolução da capacidade instalada de energia elétrica no Brasil na qual se pode comprovar a assertiva.

**Tabela 1.2 – Evolução da Capacidade Instalada do Sistema Elétrico Brasileiro [MW].**

ANO	TERMOELÉTRICA	HIDROELÉTRICA	NUCLEAR	TOTAL*
1900	7	5	-	12
1910	22	138	-	160
1920	78	279	-	357
1930	149	630	-	779
1940	235	1.009	-	1.244
1950	347	1.535	-	1.882
1960	1.158	3.642	-	4.800
1970	1.619	8.480	-	10.099
1975	2.436	15.815	-	18.251
1980	3.484	27.081	657	30.565
1985	3.708	36.453	657	40.818
1990	4.170	44.934	657	49.761
1995	4.197	50.680	657	55.533
2000	7.860	59.853	1976	69.680
2001	8.902	61.219	1976	72.088

Fonte: CARVALHO, 2002. EGLER, 1887, BEN, 2002 \* não está computada a potência instalada correspondente aos autoprodutores

## 1.5.2 Variáveis Político-Sócio-Econômicas

### 1.5.2.1 O Estado na Passagem da Industrialização Restringida para a Pesada.

Historicamente, a evolução do setor elétrico brasileiro representou a mola propulsora para o desenvolvimento do país, assegurando o processo de industrialização e a manutenção de altas taxas de investimento nos setores produtivos. Essa evolução foi impulsionada, na sua maior parte, pela iniciativa do Estado através do financiamento da construção de uma sofisticada e eficiente estrutura de fornecimento de energia elétrica e da centralização do planejamento do setor.

A revolução de 1930 veio redefinir o papel do Estado enquanto agente promotor do crescimento econômico e desenvolvimento social. A imperativa necessidade de modificar as relações do Poder Executivo com o poder político-econômico hegemônico, este consolidado na estrutura de poder das oligarquias cafeeiras, permitiu a denominada modernização do Estado, facilitando, quer pela concentração da produção, quer pela centralização do espaço de tomada de decisão, a conformação das estruturas necessárias ao desenvolvimento nacional.

A década de 1930 foi marcada pela crise do café em nível internacional e pela crise de hegemonia da burguesia mercantil exportadora sendo considerada o marco na

transição para uma etapa de desenvolvimento capitalista. Até então, era o setor cafeeiro o responsável por todo fluxo econômico, ficando por conta do seu próprio capital - o capital cafeeiro - a inversão em outros setores. Neste sentido, até 1930, o Estado era caracterizado como Estado oligárquico, responsável por continuar reproduzindo a dominação de seus interesses para as demais classes sociais.

Para EGLER (p.5, 1987):

*a crise capitalista de 1929, ao evidenciar o grau de dependência das economias primário-exportadoras em relação aos países capitalistas centrais, motivou a gestão de 'modelo de crescimento para dentro', o qual promulgava que a dinâmica da economia devia desatrelar-se da variável demandada externa, substituindo-a pela variável interna do investimento. Nesse contexto é que se desenvolveu a proposta de acelerar a industrialização como único caminho para se promover a independência econômica.*

Sobre o mesmo tema expõe CALABI (p.95, 1983)

*as crises do modelo primário-exportador e a incapacidade dos setores privados nacionais de promover, de forma autônoma, a superação dessa crise e a passagem para uma nova fronteira de expansão - a industrialização - levaram os Estados nacionais a assumirem um papel central no processo de industrialização. O Estado fortalecido pela revolução e agindo de forma centralizada, assume gradativamente as funções de principal articulador do processo de industrialização.*

No Brasil, com a passagem de um período de industrialização restringida para um de industrialização pesada (1931-1961), era imperativa a estruturação de uma pesada infra-estrutura. Diante da incapacidade da burguesia empresarial nacional de prover os recursos necessários a projetos de grande monta, com reduzida divisibilidade técnica e extenso prazo de maturação, coube ao Estado atuar diretamente na produção dos insumos indispensáveis ao desejado avanço industrial.

É nessa senda que o Estado avança no setor siderúrgico através da criação da Companhia Siderúrgica Nacional – CSN em 1943, no setor elétrico com a Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF em 1946 e ELETROBRAS em 1963, bem como no setor de petróleo via criação da PETROBRAS em 1953.

O Estado não somente investiu em infra-estrutura como também foi responsável pela implementação das indústrias de base, assim como foi através de suas instâncias

burocráticas que se relacionou com empresas estrangeiras. *“De uma a outra fase da industrialização com autonomia, força e capacidade de iniciativa, o Estado brasileiro planejou, regulou e interveio nos mercados, tornando-se ele próprio, produtor e empresário”* (DRAIBE, 1985, p.15).

Mas, neste período de transição essas mudanças acontecem devido ao fato da reprodução ampliada do capital ainda não estar assegurada endogenamente, uma vez que as forças produtivas capitalistas não se constituem paralelamente ao nascimento das economias primário-exportadoras, começa a ocorrer também um processo de profundas mudanças no âmbito social, realçando os conflitos entre as classes até então dominantes e as emergentes.

Esta configuração do Estado deu-se em um período onde o capitalismo estava se constituindo de forma plena na economia brasileira e juntamente com esta transformação, em termos de acumulação, observam-se mudanças nas relações sociais. Assim, o Estado de transição fica caracterizado como sendo um Estado que partilha destas transformações sociais e econômicas, e vai adquirindo paulatinamente condições de se responsabilizar pelo equilíbrio destas mudanças estruturais.

Com uma propensão ao atendimento de interesses múltiplos e heterogêneos, o Estado começa a ampliar sua autonomia, principalmente quando se inicia seu processo de intervenção e produção econômica. Porém, *“a autonomia do Estado se exerce num espaço político determinado, que ao mesmo tempo constitui os fundamentos da sua autonomia, os seus limites e a base sobre a qual a ação dirigente do Estado se impregna de sentido”* (DRAIBE, 1985, p.44).

A expansão capitalista na economia brasileira transformou o Estado em um componente essencial e indispensável no processo de valorização do capital. Nestes termos ALVEAL CONTRERAS (p, 392, 1990) afirma que:

*o projeto de sociedade industrial, urbana e moderna, carecia do agente estratégico clássico: uma burguesia ou empresariado forte, oriunda da práxis do mercado. Alimentava-se a expectativa que se tornou ilusória - de o capital privado nacional assumir, de fato, sua função própria: ocupar-se da acumulação. Desse modo, o ‘capitalismo político’ brasileiro, ou seja, a entrada do agente estatal na esfera produtiva, se deu no marco das restrições colocadas pelo ‘timing’ da industrialização tardia. No marco do nacionalismo econômico de então, a opção política pelo agente estatal terminou sendo vitoriosa, porém com importantes diferenças entre a solução dada ao petróleo e a dada ao setor elétrico, cujos desdobramentos viriam a configurar trajetórias de expansão relativamente dissímeis*



*de ambas as estruturas energéticas, sobretudo no encaminhamento político dos desafios originais: financiamento e tecnologia.*

É neste âmbito de “Estado de compromisso” que se configuram as propostas de desenvolvimento das distintas classes sociais - burguesia mercantil exportadora, burguesia industrial e proletariado - tendo cada qual o objetivo de promover, via Estado, um desenvolvimento que levasse em consideração seus particulares interesses econômicos e sociais.

Devido à fragilidade dos diferentes grupos sociais perante este processo de industrialização, as forças políticas acabaram mostrando que dada a heterogeneidade de interesses em jogo, *“as alianças e relações que se estabeleceram no período, à medida que as questões do desenvolvimento atualizaram-se, foram fugazes, respondendo a um campo sempre heterogêneo de interesses fragilmente aliados em torno de objetivos específicos.”* (DRAIBE, 1985, p.42).

Todavia, essa discussão do Estado de compromisso no âmbito social fica extremamente complicada, como salienta DRAIBE (1985), por dois motivos: primeiro, porque o Estado dado seu aparelho burocrático-administrativo, reproduz formas prevalecentes de dominação, segundo, porque ao ditar as diretrizes do desenvolvimento, este Estado impunha um sentido estratégico, conformando, desta forma, um certo grau de industrialização que acaba privilegiando um setor (ou uma determinada classe) em detrimento dos demais. É deste conflito de explicação na resolução dos problemas e conflitos sociais que deve ser entendido o verdadeiro papel do Estado no período de interiorização das formas capitalistas de produção.

### **1.5.2.2 – A Atuação do Estado Empresário no Setor Brasileiro de Energia – 1930-1989**

Desde os anos 1920 o Estado brasileiro já vinha tomando uma posição central na condução da industrialização e na gestão da reprodução social das relações de produção e dominação. A década de 1930<sup>13</sup> trouxeram consigo a construção de todo um arcabouço institucional básico que permitiria, todavia, somente a partir dos anos 1950,

---

<sup>13</sup> Até 1930, vê-se que os poucos recursos financeiros e ousadia tecnológica da industrialização restringida encontram no próprio Estado o seu limite de expansão, pois o pacto de dominação Estado-classes dominantes foi um grande obstáculo à hegemonia do capital industrial e de sua burguesia.

que o Estado brasileiro seguisse os rumos de uma moderna industrialização. Iniciava-se também neste período, um pacto horizontal<sup>14</sup>, totalmente contraditório, entre várias forças econômicas e socialmente heterogêneas, mas com forças políticas equivalentes que, ao mesmo tempo em que dava ao Estado a característica de agente propulsor do crescimento e da industrialização, queria proteger e manter vivas frações e órbitas financeiras e mercantis especulativas, como também setores industriais e agrários de baixa produtividade.

O setor energético brasileiro até os anos 1930 era conduzido pelo setor privado; em sua maioria, empresas estrangeiras, através de contratos de concessão firmados com o governo. A presença do Estado estava limitada, em quase sua totalidade, a uma tímida figura de agente de regulação. No setor elétrico, as empresas que operavam estavam restritas às capitais dos Estados e a um reduzido número de centros urbanos mais desenvolvidos.

Da década de 1930 ao final dos anos 1970, o setor de energia foi estruturado, no Brasil, como um dos instrumentos responsáveis pela transformação do Estado agrário-exportador para um Estado de cunho industrializante. A opção política pelo Estado Desenvolvimentista<sup>15</sup>, no setor energético brasileiro, possibilitou a adequada estruturação setorial. Entretanto, ressaltam-se as distintas estratégias percorridas quando da configuração dos setores elétrico e petrolífero.

No Estado liberal brasileiro, vigente até os anos 1930, as propriedades do solo e do subsolo eram inseparáveis e os Estados possuíam a propriedade das terras devolutas e a regulamentação da mineração. No início da década de 1930, com o novo padrão de desenvolvimento, o Governo Federal anulou a Constituição de 1891 e deu-se o direito de autorizar a pesquisa e a lavra dos recursos minerais em todo o território nacional. A separação da propriedade do solo e do subsolo somente veio a ocorrer em 1934.

O Código de Águas, promulgado em 1934, pode ser considerado como a primeira mudança no ideário de condução do setor elétrico brasileiro. O referido código

---

<sup>14</sup> O pacto entre as classes dominantes mostrava-se ainda mais contraditório com o Governo de Getúlio Vargas, uma vez que havia grandes diferenças nos objetivos da política econômica de curto prazo e os projetos de longo prazo: de um lado, planos de estabilização e, de outro, criação do BNDE (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico) e da Petrobras (estatal brasileira do petróleo), assim como os planos nacionais de Eletricidade, Rodoviário, entre outros.

<sup>15</sup> Nos governos de Getúlio Vargas (1951-54) e de Juscelino Kubitschek (1956-61) consagra-se a grande aliança que será mantida, de uma forma ou de outra, durante toda a manutenção do Estado desenvolvimentista, qual seja, o tripé Estado-Capital Nacional-Capital Estrangeiro.

estabeleceu a separação entre o direito de propriedade do solo de um lado, e dos recursos hídricos em sua superfície, do outro. Todos os recursos hídricos foram incorporados ao patrimônio da União, sendo, portanto, exploráveis mediante concessão e fiscalização do poder público.

A nacionalização da indústria de refino (petróleo importado e produção nacional) e a criação do Conselho Nacional do Petróleo (CNP)<sup>16</sup> em 1938, juntamente com a criação, em 1948, do Centro de Estudos do Petróleo precederam o monopólio estatal, consagrado legalmente com a criação da Petrobras (Petróleo Brasileiro S.A.) em outubro de 1953<sup>17</sup>. Seguindo uma trajetória estatizante, em 1962, foi criada a Centrais Elétricas Brasileiras S.A - Eletrobrás. Juntas as estatais demarcaram a consolidação da participação estatal no setor energético brasileiro. A justificativa da criação da Petrobrás foi a falta de interesse do capital privado nacional e internacional na pesquisa de petróleo no Brasil. Assim, constituída através do repasse de recursos e de dados provenientes do CNP e, principalmente, provida de autoridade e certa autonomia, a trajetória da Petrobrás foi totalmente diferente da outra estatal.

A Eletrobrás foi estabelecida para ser um agente de alcance das metas definidas no antigo Plano Nacional de Eletrificação – PNE de 1954, cujo objetivo primordial era a integração técnica e econômica do sistema elétrico. Com a *holding*, muito rapidamente, a produção e a distribuição foram monopolizadas com intervenção direta do Estado. A Eletrobrás foi constituída sob um quadro institucional e uma estrutura produtiva precedente, cuja presença do capital estrangeiro era alta. A sua justificativa foi a falta de interesse dos grupos estrangeiros Light e Amforp em atuar fora do eixo Rio-São Paulo e das capitais dos Estados brasileiros.

As diferenças nas orientações de estruturação dos setores elétrico e petrolífero fizeram com que as estatais Petrobrás e Eletrobrás respondessem de forma assimétrica à má utilização do Estado na captura de empréstimos externos, ao endividamento do setor público estatal e à falta de recursos para a expansão setorial.

Um grande problema sempre enfrentado pelo Estado Empresário era o financiamento dos seus projetos de industrialização e de melhoria de infra-estrutura e transportes. Nos anos 1950, foi utilizada, com o intuito de se obter recursos para o financiamento dessas obras, uma perspectiva heterodoxa de combinar inflação e

---

<sup>16</sup> Decreto-Lei nº 538/38.

<sup>17</sup> Lei nº 2.004/53. No entanto, o monopólio do petróleo somente seria incluído na Constituição de 1967.

recursos externos, sendo que a opção foi, fundamentalmente, utilizar a inflação. Essa passaria a ser a causa e a solução das sucessivas crises financeiras e institucionais embutidas neste novo padrão capitalista de acumulação.<sup>18</sup> Outra forma de financiamento do Estado desenvolvimentista brasileiro era a captura de empréstimos externos.

O II Plano Nacional de Desenvolvimento<sup>19</sup>, implantado pelo regime de militar imposto em 1964 no governo Ernesto Geisel, é o maior exemplo brasileiro do que foi o Estado desenvolvimentista. Era um projeto ambicioso que tinha no Estado o ‘carro-chefe’ do crescimento econômico e que utilizava em demasia empréstimos externos, este programa era um processo de crescimento com endividamento<sup>20</sup>. Seu discurso era a possibilidade de transformar o Brasil numa nação-potência mantendo os altos níveis de crescimento do PIB prevaletentes no período do ‘milagre econômico’, uma vez que o país era ‘uma ilha de prosperidade num mar de recessão’. Os investimentos promovidos concentraram-se nos setores de bens de capital e intermediários.

Uma importante característica do processo de endividamento externo da economia brasileira na década de 1970 é, principalmente, a crescente ‘estatização’ dos recursos externos diretos obtidos junto ao sistema financeiro internacional<sup>21</sup>. Entretanto, o problema da dívida só assumiu dimensões preocupantes no final da década de 1970, após o segundo choque do petróleo e o primeiro dos juros.

Devido ao declínio das inversões privadas brasileiras decorrentes do primeiro choque do petróleo e do posterior aumento das taxas de juros, utilizou-se vários dispositivos institucionais para tornar atraente, a credores e devedores privados, tomarem empréstimos externos, e com isso possibilitar o financiamento dos déficits em transações correntes e a execução do II PND. O governo, de modo geral, estimulou

---

<sup>18</sup> Todavia, sempre que a inflação ultrapassou os limites admissíveis, desenvolveu-se debates em torno de possíveis políticas de estabilização. No entanto, cabe ressaltar que, uma vez postas em prática, estas políticas foram rapidamente abandonadas porque não possuíam respaldo político. Isto ocorreu, por exemplo, em 1954/55; em 1958/59; em 1961; e 1963.

<sup>19</sup> Para maiores informações das críticas feitas ao II PND ler o texto de CARLOS LESSA intitulado Visão Crítica do II Plano Nacional de Desenvolvimento.

<sup>20</sup> Esse período histórico foi denominado de “milagre econômico” devido ao fato de que se registrou no Brasil um exponencial crescimento econômico que deu fôlego a ditadura militar em curso, permitindo instaurar no país um pensamento de Brasil-potência.

<sup>21</sup> O grau do processo de “estatização” da dívida externa brasileira pode ser identificado pelo aumento do percentual de empréstimos feitos em moedas pela Lei 4.131 pelo setor público em comparação com o setor privado. Em 1972, o referido percentual era 24,9% (setor público) e 75,1% (setor privado). Já em 1980, passou a ser 76,6% (setor público) e 23,4% (setor privado) (DAVIDOFF CRUZ, 1982).

empresas financeiras e não-financeiras a depositarem no Bacen (Banco Central do Brasil) as moedas estrangeiras adquiridas, dando-lhes em troca proteção cambial.

O processo de estatização da dívida externa acentuou-se na década de 1980, devido à particular conjuntura da economia brasileira e do mercado financeiro internacional: a política recessiva do início da década de 1980 (recessão, contenção do salário real, controle dos gastos do governo - em especial, dos investimentos -, elevação das taxas de juros e contenção da liquidez real) e agravou ainda mais o quadro econômico-financeiro das estatais e a imagem do setor público como um todo. Mesmo assim, até o final dos anos 1980, o Brasil não havia abandonado totalmente as idéias ‘Cepalinas’ de industrialização<sup>22</sup>.

### **1.5.2.3 A Crise do Modelo Estatal suas Repercussões no Setor Elétrico**

Nos anos 1980 os fluxos de investimentos mudaram de sentido, em especial no Brasil. As subidas das taxas de juros no mercado externo implicaram em uma larga saída de capital, interrompendo o processo de crescimento bancado a custas de uma elevada dívida externa. As vias de obtenção do capital externo tornaram-se estreitas, apresentando dificuldades no financiamento das importações e pagamento da dívida. A conjunção de efeitos perversos reduz a credibilidade do Estado, o que se atesta pelo aumento dos juros no mercado interno. No nível externo, o déficit público impede a obtenção de divisas estrangeiras e no nível interno pressiona a inflação.

---

<sup>22</sup> Com o término da Segunda Guerra Mundial e o ressurgimento da discussão sobre reestruturação tecnológica e financeira a nível mundial, nasce na América Latina, em 1946, a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), cuja principal preocupação era a de entender o descompasso tecnológico existente entre as economias centrais e as periféricas.

Em sua construção geral, caracterizada como sendo uma relação de forças distintas nas relações econômicas internacionais entre economias centrais e economias periféricas, PREBISCH (1994), o precursor desta corrente de pensamento, elucidava que para deixar o atraso e a estagnação para trás, eram necessárias transformações estruturais nos países periféricos, objetivando superar a insuficiência de acumulação de capital e o problema da distribuição de renda.

Uma das maiores preocupações da CEPAL - cujo receituário deu sustentação para o projeto do Estado nacional desenvolvimentista promovido nas economias periféricas - foi com relação ao aumento populacional e suas implicações para o desenvolvimento econômico, uma vez que o processo produtivo das economias periféricas encontrava-se retardado. Assim, as alternativas para o desenvolvimento deveriam passar, necessariamente, pela incorporação de técnicas de produção mais avançadas.

Esta modernização, por sua vez, seria alcançada pelo processo de industrialização via substituição de importações, programado e planejado pela ação consciente do Estado. Ou seja, objetivando efetuar uma política que possa traduzir-se em medidas concretas de política econômica que permita um desenvolvimento tecnológico, o Estado torna-se o principal responsável por esta execução.

O setor energético teve então relevante importância na condução das políticas executadas quando da crise da dívida. O mesmo serviu de atrativo para os recursos externos e de eixo funcional das políticas antiinflacionárias praticadas, centradas no controle e prática de tarifas abaixo do valor do mercado internacional. Tudo isso, objetivando a contenção do crescimento interno da inflação como forma de possibilitar uma competitividade dos produtos exportados. Neste contexto, observavam-se dois fenômenos correlatos: um endividamento crescente das empresas de energia por causa da diminuição de suas receitas e a utilização de energia nos processos produtivos que se tornam ou intensivos ou ineficientes (VILLELA, 1996).

A forma como foram conduzidas as empresas do setor energético, na tentativa de superação da crise, submeteu as mesmas a um sério endividamento, face as diferenças tarifárias praticadas, imputando-as uma redução de suas receitas. Uma outra implicação ocorreu na expansão, estimulada pelas políticas de Estado favorável ao parque industrial intensivo em energia, resultando um crescimento na demanda de energia sem crescimento econômico. Os insumos intensivos compunham a grande parte no menu de exportação.

Os efeitos das saídas político-econômicas executadas pelos gestores do Estado brasileiro foram sentidos de forma diferenciadas no setor petrolífero e elétrico.

*A PETROBRAS consegue manter uma razoável capacidade de auto-financiamento durante os anos 80. De um lado porque a empresa era pouco endividada no mercado internacional, se diferenciando das demais empresas estatais que vêm aumentar o peso dos encargos da dívida em seus orçamentos” (Villela, 1996).*

*sua relativa autonomia política, de origem e, sobretudo de trajetória, consolidada numa forte estrutura produtiva verticalizada e com certo grau de conglomeração, permitir-lhe-ia auferir capacidade de defesa de sua taxa de lucro, resistindo sensivelmente ao canibalismo das políticas” (Alveal Contreras, 1990).*

A crise sentida nos anos 1980 trouxe sérias dificuldades de financiamento para a ELETROBRAS. As políticas de controle tarifário e as tarifas subsidiadas estimularam um crescimento na demanda de eletricidade, o que levou o setor a investir continuamente em novas unidades de geração. A contenção tarifária submetida a uma fórmula de equalização, orientada ao subsidio de novos aproveitamentos hidroelétricos situados à distância dos centros de consumo, adicionada ao endividamento externo

imposto pelas políticas governamentais, implicaram fortemente na redução da capacidade de crescimento desta empresa (ALVEAL CONTRERAS, 1990).

As políticas públicas implementadas no Estado brasileiro nos anos 1980 viabilizaram o estabelecimento do debate e condução da entrada do ideário neo-liberal como orientação nas alternativas de superação da crise e gestão do Estado, já definida como metas pelos países satélites.

A crescente necessidade de investimentos no setor estatal associada a reduzida capacidade de investimento por parte do Estado favoreceram o desmantelamento da autonomia financeira, capacidade de decisão e de planejamento das empresas públicas. Este quadro adverso imposto ao setor estatal dava-se juntamente em um cenário de desmantelamento dos serviços públicos sociais e administrativos.

Neste contexto o Estado passa então a ser responsável por todos os fracassos das políticas sócio-econômicas. Em termos de opinião pública cria-se um ambiente favorável para a associação da figura do Estado como obeso, inoperante e incompetente.

A minimalização do Estado passa a ser o grande referencial neo-liberal. Para a América latina a conferência promovida pelo *Institute for International Economics*, realizada em 1989 na cidade de Washington - o Consenso de Washington - define uma série de ações que tem como objetivo retirar do Estado diversas funções, até então incontestes. Para isso, apresenta condições a serem cumpridas pelos países da América Latina, incluído:

- fim das barreiras institucionais ao capital estrangeiro;
- privatização de empresas públicas (estratégicas ou não);
- fim dos monopólios públicos;
- entendimento do setor energético como produtor de uma simples *comodities*, retirando do debate seu caráter estratégico;
- a eficiência e a competitividade na produção nacional como forma de incluir-se na denominada globalização.

As orientações do Consenso de Washington resultam da condução do ideário neoliberal que intenta romper as barreiras institucionais presentes nos Estados Nacionais como forma de dar destino

*“a enorme acumulação dos excedentes financeiros por parte das grandes empresas e bancos multinacionais que teria que buscar ou criar novas formas de acumulação de ativos reais. Para isso, teriam que acelerar a introjeção, nos sistemas produtivos dos países avançados, das novas tecnologia disponíveis, muitas das quais, contudo, apresentavam certas “barreiras” institucionais, na forma de monopólios ou simples empresas públicas situadas nos setores estratégicos como os da energia, transporte e telecomunicações. O principal pressuposto dessa doutrina foi o da privatização de ativos públicos, sob a ‘justificativa’ de que a maioria dos Estados estava financeiramente ‘falido’, teriam que vender suas propriedades para ajustar suas contas ” (CANO, s/d).*

O Consenso de Washington esteve estruturado em três formas básicas de atuação. A primeira de ordem macroeconômica, definindo ações que garantisse um real programa de corte de gastos públicos e implementação de reformas administrativas, previdenciária e fiscais, reformas estas vistas como indispensáveis para o sucesso de um programa de estabilização monetária (FIORI, 2001).

O segundo campo de atuação foi de natureza microeconômica tendo como objetivo a desoneração do capital como forma de aumentar sua competitividade em um mercado mundializado, aberto e desregulado. Faz-se imperativo a exposição das empresas à competição internacional aberta e a retirada de quaisquer políticas de proteção, subsídio e redução dos encargos sociais.

A terceira ordenação esteve orientada na promoção do desmonte do modelo de industrialização seguido pela maioria dos países periféricos no pós-guerra. O alcance dos dois primeiros objetivos somente seria possível mediante um novo cenário de estratégias de desenvolvimento dos Estados atrasados, isso exigiria a implementação, sem restrições, das principais reformas estruturais, ou institucionais, inseridas na tríade: Desregular, Privatizar e Flexibilizar.



#### 1.5.2.4 A Abertura do Setor Elétrico Brasileiro

Em seu relatório sobre o Desenvolvimento Mundial, de 1994, o Banco Mundial deixa claro quais as sendas que os países pobres devem seguir. O Banco identifica a necessidade imediata da saída do Estado das atividades de infra-estrutura e aponta a promoção da concorrência nos setores de infra-estrutura como sendo o único caminho capaz de promover a prestação dos serviços de modo eficiente e responsável.

*Os principais instrumentos de reforma para tais países (países de renda média, com boa capacidade) são evidentes: aplicar princípios comerciais, intensificar a concorrência e envolver os usuários. Agindo assim, aumentam-se a participação e o financiamento privado e reduzem-se as atividades que permanecem a cargo do governo” (BANCO MUNDIAL, 1994).*

As diretrizes adotadas pelo Banco Mundial passam, em 1990, a compor o programa do governo do presidente Fernando Collor. O denominado Plano Collor incluía: a reforma tributária, abertura às importações, redução da máquina Estatal e um forte programa de privatizações. O prematuro desmantelamento do Governo Collor, fruto de inúmeras denúncias de corrupção dentro do governo, o que culminou em um legítimo processo de *impeachment*, contribuiu para a não implementação do Plano Nacional de Desestatização, previsto para aquele período de governo.

Com a implementação do Programa de Estabilização monetária [Plano Real, 1994] no governo Itamar Franco e a garantia de sua continuidade no governo Fernando Henrique Cardoso, as teses neo-liberais passam a ser aplicadas com maior velocidade. A privatização do setor energético em nível federal e estadual retorna à ordem do dia. A crescente dívida do setor elétrico e a sua reduzida capacidade de investimento são as barreiras para a atração de capital externo à compra das empresas deste setor. Como alternativa de solução, se implementa uma série de medidas visando a recuperação tarifária e o saneamento das empresas assim como, o estabelecimento de regras que permitissem a participação privada no setor elétrico, privatizações e desmantelamento dos monopólios estatais.

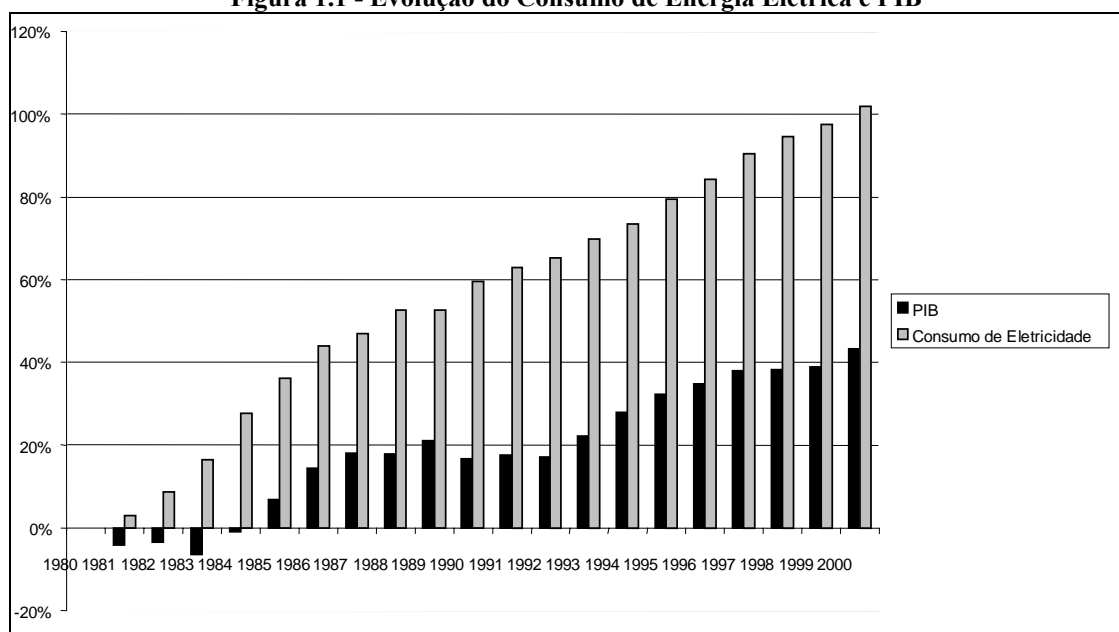
As reformas implementadas no setor elétrico tiveram o auxílio da consultoria internacional Coopers & Lybrand, contratada em 1996, com os seguintes objetivos, quais sejam: estruturar um modelo para o setor elétrico brasileiro adequado ao processo de privatizações; estruturar regras que viabilizassem o livre acesso a rede de transmissão

para qualquer ator com atenção especial aos grandes consumidores; apresentar novas formas de comercialização de eletricidade entre as concessionárias e definir novos requisitos regulatórios para o setor. A reestruturação do setor elétrico visa, portanto, promover a eficiência econômica através da competição e a expansão por intervenção única do setor privado.

O sistema elétrico brasileiro atende 47,2 milhões de unidades de consumidoras através de um parque instalado de 80.714.406 kW de potência, distribuídos em 1.187 unidades de geração, incluindo 50% da usina bi-nacional (Brasil-Paraguai) de Itaipu, sendo 90% desta potência instalada proveniente de aproveitamentos hidroelétricos (este potencial representa apenas 23% do potencial hidráulico total do país) e 19,57% de geração térmica e nuclear. A geração anual em 2000 atingiu 347,732 TWh.

Este complexo sistema apresenta particularidades, especialmente devido ao fato de ter uma reconhecida vocação hídrica, dificultando o estabelecimento, no médio prazo, de um regime concorrencial. Registra-se também uma evidente necessidade de continuo crescimento da demanda, uma vez que o consumo médio per capita nacional é pequeno (cerca de 2000 kWh/habitante ano) estando, portanto, muito abaixo da média mundial. Este reduzido consumo per capita tem forçado um crescimento anual de 5%, mesmo em períodos de paralisação no crescimento econômico como pode ser visto na figura 1.1 onde está apresentada a evolução do consumo de energia elétrica juntamente com crescimento do PIB no período de 1980 a 2000.

**Figura 1.1 - Evolução do Consumo de Energia Elétrica e PIB**



Fonte: BEN 2001, 2002, 2003 e 2004.

### 1.5.2.5 O Modelo de Setor Elétrico Pós Abertura de Mercado

Os pressupostos-chaves das reformas implementadas no setor elétrico estiveram alicerçados na idéia de que a visão, tradicionalmente estabelecida neste setor como um serviço público, em que a existência de um mercado competitivo não contribuiu para o alcance de seus objetivos foi superada.

A primeira ação de reestruturação do setor elétrico ocorreu por força da Lei nº 8631 e Decreto nº 774 de Março de 1993 que estabeleceu a desqualificação tarifária; extinguiu a remuneração garantida - Reserva Nacional de Compensação de Remuneração (RENCOR)<sup>23</sup>; promoveu o acerto de contas dentro da Conta de Recursos a Compensar (CRC)<sup>24</sup>; reativou a Reserva Global de Reversão (RGR)<sup>25</sup>; adequou o rateio da Conta Nacional de Combustíveis (CCC)<sup>26</sup>.

O marco da abertura do setor elétrico brasileiro ao capital privado dentro do processo de reforma está confiado ao Plano Nacional de Desestatização (PND), Lei 8.031 de 1990 e o Decreto 572 de 22 junho de 1992, que incluiu a venda da Ligth e ESCELSA, duas empresas de distribuição de energia elétrica pertencentes ao governo federal.

Dentre as diversas modificações legais por que passou o setor elétrico brasileiro, merece especial atenção a lei nº 8987, de Fevereiro, de 1995, regulamentando o artigo nº 175<sup>27</sup> da Constituição Federal, e complementada pela Lei de nº 9074, de Julho, de 1995, uma vez que as mesmas permitiram configurar o novo modelo: estabelecendo a obrigatoriedade de licitação das concessões de geração, transmissão e distribuição; definindo novos critérios de concessão; criando a figura do produtor independente<sup>28</sup> e

---

<sup>23</sup> O Decreto Legislativo nº35 (13/06/89), cria a Reserva Nacional de Remuneração - RENCOR, na qual os créditos relativos à CRC seriam alocados.

<sup>24</sup> CRC - Conta dos Resultados a Compensar - Nela registra-se a diferença de remuneração - entre aquela resultante da aplicação do valor percentual, aprovado pelo Poder Concedente, e a efetivamente verificada.

<sup>25</sup> RGR - Reserva Global de Reversão - Criada em 1971, através da qual empréstimo e a reserva passaram a constituir a principal fonte de recursos não tarifários.

<sup>26</sup> CCC - Conta de Consumo de Combustíveis - Conta na qual todas as geradoras contribuem, esta conta tem por objetivo viabilizar a competitividade das termelétricas. Fazendão uso desta conta as Unidades Termelétricas se desoneram dos custos de seu combustível.

<sup>27</sup> Art. 175. Incumbe ao poder público, na forma da lei, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, sempre através de licitação, a prestação de serviços públicos.

<sup>28</sup> Considera-se produtor independente de energia a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização do poder concedente, para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco.

consumidores livres<sup>29</sup> e garantindo o livre acesso aos sistemas de transmissão e distribuição.

Com a prevista saída do Estado (no nível Federal e Estadual) do controle da cadeia produtiva do setor elétrico, o mesmo passa então a atuar como agente de regulação. A Lei no 9.427, de 26 de Dezembro de 1996, institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, objetivando disciplinar o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica bem como assumir o papel de regular e fiscalizar o novo mercado estabelecido a partir da introdução da livre competição nos segmentos de geração e comercialização de energia elétrica.

Pelo novo modelo a comercialização da energia produzida passou a ser feita pelo Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE) – Entidade de direito privado, sem fins lucrativos, atuando segundo Regras do Mercado e Procedimentos do Mercado estabelecidos pela ANEEL, com a finalidade de viabilizar as transações de compra e venda de energia elétrica entre os agentes, por meio de contratos bilaterais e de um mercado de curto prazo, restrito aos sistemas interligados Sul/Sudeste/Centro-Oeste e Norte/Nordeste.

A estrutura operacional necessária ao funcionamento do Mercado Atacadista de Energia (MAE) prescinde de uma entidade capaz de efetuar o seu planejamento operacional, programação e despacho. Com este objetivo foi criado em 1998 o Operador Nacional de Sistema (ONS<sup>30</sup>) assumindo a responsabilidade pela operação do Sistema Interligado Nacional (SIN) e administração da rede básica de transmissão de energia, substituindo assim as atividades do Grupo Coordenador de Operação Interligada (GCOI).

O quadro 1.1 apresenta uma síntese dos atos legais promovidos no âmbito da reforma do setor elétrico a partir do final dos anos 1980.

---

<sup>29</sup> Aquele consumidor que ao apresentar (na primeira etapa da aplicação da lei) uma carga instalada superior a 10 kW, atendido por uma tensão nunca inferior a 69 kV fica facultado o direito de opção de compra, total ou parcial, de um Produtor Independente de energia elétrica.

<sup>30</sup> O ONS é o responsável pelo planejamento operacional do Sistema Interligado Nacional (SIN) e pela administração da rede básica de transmissão de energia, atribuições que eram do Grupo Coordenador de Operação Interligada (GCOI).

**Quadro 1.1 - Atos Legais Promovidos no Âmbito da Reforma do Setor Elétrico**

LEI	ANO	CONTEÚDO
Comissão Responsável Pela Revisão Institucional - REVISE	1987	<ul style="list-style-type: none"> <li>criação do Grupo de trabalho responsável pela formulação de um novo modelo de operação do setor compatível com as necessidades de investimento, estrutura de operação do sistema, requisitos econômicos, impedimentos institucionais objetivando a tornar mais eficiente a atuação dos agentes federais, municipais bem como a participação da iniciativa privada</li> </ul>
Constituição Federal	1988	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estabelece a obrigatoriedade da licitação para todas as concessões de prestação de serviços públicos</li> <li>suprime o Imposto Único sobre o Consumo de Energia Elétrica (IUEE), passando então os serviços elétricos a serem taxados pelo Imposto de Circulação de Mercadoria e Serviços (ICMS)</li> </ul>
Lei 8631 e Decreto 774	1993	<ul style="list-style-type: none"> <li>promove a desqualização das tarifas</li> <li>acaba com a remuneração garantida (RENCOR)</li> <li>promove o acerto de contas com a Conta de Recursos a Compensar (CRC)</li> <li>Reativa a Reserva Global de Reversão (RGR)</li> </ul>
Decreto 915	1993	<ul style="list-style-type: none"> <li>autoriza a formação de consórcios por empresas interessadas na geração de energia elétrica a ser utilizada nas respectivas unidades consumidoras (autoprodutores).</li> </ul>
Lei 8.987	1995	<ul style="list-style-type: none"> <li>regulamenta o artigo 175 da constituição Federal que trata do regime de concessão ou permissão, da prestação de serviços públicos</li> </ul>
Decreto 1.503	1995	<ul style="list-style-type: none"> <li>inclui empresas as do setor elétrico no Programa Nacional de Desestatização (PND).</li> </ul>
Lei 9.074	1995	<ul style="list-style-type: none"> <li>vem complementar a Lei 8.987</li> <li>institui o Produtor Independente de Energia Elétrica</li> <li>garante o livre acesso aos sistemas de transmissão e distribuição</li> <li>cria a figura do consumidor livre</li> </ul>
Lei 9.427	1996	<ul style="list-style-type: none"> <li>institui a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)</li> </ul>
Lei 9.648	1998	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reestrutura a ELETROBRAS</li> <li>institui o Mercado Atacadista de Energia (MAE)</li> <li>cria o Operador Nacional do Sistema</li> </ul>
Lei 9.991	2000	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estabelece critérios para a realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica.</li> </ul>

Fonte:Elaboração do Autor

O planejamento da expansão do setor, antes executado pelo Grupo Coordenador de Planejamento Setorial dos Sistemas Elétricos (GCPS)<sup>31</sup>, coordenado pela ELETROBRAS, de caráter determinativo, passou a ser atribuição do Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos Expansão (CCPE)<sup>32</sup> agora com caráter indicativo.

Os critérios de análise da confiabilidade do sistema foram alterados. Até a implantação do modelo de desregulação, o critério adotado para a garantia de energia era de um risco de ocorrência de qualquer déficit de, no máximo 5% (taxa de risco). O critério adotado no novo modelo somente considera como déficit ocorrências de déficits que ultrapassem 5% (custo do déficit) do mercador.

A partir dessa nova conceituação, a taxa de risco seria a resultante de forças de mercado e poderia flutuar, pois resulta de uma resposta da sociedade ao custo do déficit. A valoração dos previsíveis déficits futuros e do custo de combustível em geração térmica no presente permite, portanto, a determinação de um preço de mercado para a energia ou o preço 'spot' (ROSA, 2000).

Esta valoração é feita a partir do despacho das usinas geradoras, que é definido de forma centralizada pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), com base em ferramentas de otimização. Em linhas gerais, o processo é feito a partir de um conjunto de modelos para otimizar o uso de energia, sendo baseado em cálculos feitos ao longo do horizonte de planejamento. Para isso, utiliza-se de informações técnicas fornecidas pelas empresas hidrelétricas (plantas, níveis dos reservatórios, vazões afluentes e disponibilidade de suas turbinas) e pelas empresas termelétricas (disponibilidade técnica, eficiência térmica, custos dos combustíveis e outros custos). A determinação do preço de mercado<sup>33</sup> faz uso dos programas otimizados de despacho elaborados para cada período de tempo e para todas as plantas dos sistemas interligados, bem como do conjunto de intercâmbios internacionais e dos custos marginais de operação de curto prazo. Tal preço reflete o custo da unidade de geração mais cara, ou os cortes de carga necessários para atender à demanda.

---

<sup>31</sup> GCPS - Grupo Coordenador de Planejamento do Sistema Elétrico - órgão colegiado que tinha a ELETROBRÁS como coordenadora e contava com a participação de todas as concessionárias. Seu objetivo era a racionalização e o planejamento integral do Setor.

<sup>32</sup> CCPE - Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricas. Criado para executar as funções do antigo GCPS - O planejamento passou a ser indicativo, excluindo-se a expansão do sistema de transmissão que se mantém determinativo, no que concerne aos empreendimentos que o Comitê considera como inadiáveis.

<sup>33</sup> O programa oficialmente adotado pelo mercado é o NEWAVE.

Os preços no curto prazo – ‘spot’ – ofertado pelo Mercado Atacadista de Energia – MAE são valorados como sendo um reflexo do custo do déficit e a capacidade do sistema em proporção a sua demanda. Como consequência, seus valores apresentaram significativas oscilações entre anos chuvosos, apresentando queda nos preços, e nos anos secos, com elevação dos preços.

As particularidades do sistema elétrico brasileiro tornam este processo bastante complexo. Devido a essas características, há uma limitação de energia hidrelétrica armazenada nos múltiplos reservatórios do sistema, o que torna as decisões dependentes do fator tempo uma vez que são intrinsecamente ligadas às incertezas das afluições futuras. Dessa forma, os preços do MAE, no curto prazo, variam de acordo com as tendências hidrológicas, tornando-se bastante oscilantes visto que as usinas hidrelétricas têm pouca flexibilidade de operação.

Esse fato desestimula a entrada de empresas privadas no setor, pois estas teriam que se expor demais aos riscos hidrológicos. Os idealizadores do modelo, entretanto, apostaram na entrada em grande escala das térmicas a gás natural para reduzir as flutuações do preço. Além disso, foi criado o Mecanismo de Realocação de Energia (MRE) como forma de dividir os riscos hidrológicos entre todas as usinas hidrelétricas. Na verdade, isto acabou sendo um outro impedimento para o investimento em térmicas, pois o MRE tornou-as ainda mais antieconômicas frente às hidrelétricas.

As particularidades inerentes ao sistema elétrico brasileiro levaram alguns especialistas do setor a diagnosticarem falhas no modelo proposto no momento seguinte a sua apresentação pela Coopers & Lybrand advogando que o mesmo coloca em risco a expansão do sistema. Para ROSA (1998) o próprio governo federal tem ciência

*das dificuldades de se introduzir um mercado concorrencial no setor elétrico brasileiro, único no mundo, a fazer tais reformas, com uma base predominantemente hidrelétrica, com otimização energética baseada na regularização plurianual com reservatórios de água planejados e interligação do sistema.*

ROSA (2000), também argumenta que devido ao fato de algumas bacias hidrográficas possuírem regimes pluviométricos diferentes, é possível, através de uma gestão integrada das usinas, obter uma maior disponibilidade de energia. “Essa estratégia evita vertimentos desnecessários gerando o atendimento da demanda com

*grande economia. Assim a gestão das usinas interligadas eletricamente é atualmente responsável por um acréscimo de cerca de 20% de energia disponível”.*

Um outro gargalo apresentado pelo novo modelo reside no fato de que planejamento da expansão, passou a ser indicativo. A não definição de uma obrigatoriedade na realização dos investimentos em expansão apresentados no planejamento indicativo, estabelece um cenário de incerteza. Na nova situação não existe nenhum agente com o papel de equilibrar a relação oferta-demanda do sistema elétrico, pois qualquer empresa geradora só será responsável pelo cumprimento de seu contrato” (ROSA, 1998).

O quadro 1.2 mostra uma síntese comparativa entre o modelo anterior à desregulamentação do setor elétrico e o modelo inicialmente proposto.

**Quadro 1.2 - Comparação Entre o Modelo Anterior a Desregulamentação e o Modelo Inicialmente Proposto**

<b>MODELO ANTERIOR A DESREGULAMENTAÇÃO</b>	<b>MODELO EM PROPOSTO</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Setor estruturado em monopólio predominantemente Estatal com seus atores atuando de forma integrada na geração, transmissão e distribuição</li> <li>• Governo federal atuando fortemente na geração e transmissão e Estados e municípios na Distribuição</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• quebra do monopólio</li> <li>• separação das atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização, por empresas</li> <li>• definição de limites na participação das empresas no mercado</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• preços regulados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mercado dividido em dois segmentos: a geração e comercialização em um mercado livre e a transmissão e distribuição em mercado cativo</li> <li>• toda energia do sistema interligado é comercializada livremente no Mercado Atacadista de Energia no qual ocorre dois tipos de comércio: <ul style="list-style-type: none"> <li>• no mercado “spot” onde se comercializa a energia de curto prazo;</li> <li>• a outra parte do mercado é composta pelos contratos bilaterais, de longo prazo</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• mercados cativos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• estabelecimento da figura do consumidor livre com regras que garantem a gradual ampliação da participação desse novo ator no mercado</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• planejamento da expansão com caráter normativo e executado pelo Grupo Coordenador de Planejamento do Sistema Elétrico (GCPS)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• o planejamento da expansão do setor fica a cargo do Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão (GCPS) e tem caráter apenas indicativo na geração e determinativo na transmissão</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• a operação e aproveitamento racional da estrutura integrada da geração e transmissão do sistema interligado estava sob coordenação do Grupo Coordenador de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cabe ao Operador Nacional do Sistema (ONS) o planejamento operacional, programação e despacho das atividades de geração e transmissão em todo o sistema</li> </ul>



Operação Interligada (GCOI)	interligado dentro de um mercado competitivo
<ul style="list-style-type: none"> <li>definição dos valores tarifários pelo custo do serviço</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>apenas os consumidores cativos tem suas tarifas reguladas</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) atuava como agente regulador: aprovando e fiscalizando as concessões</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a Agência Nacional de Energia Elétrica e o ente regulador sistema,. Licita e fiscaliza as concessões e atua de forma a garantir o equilíbrio econômico financeiro das empresas concessionárias bem como a qualidade do serviço e definição das tarifas</li> </ul>

Fonte: Elaboração do Autor

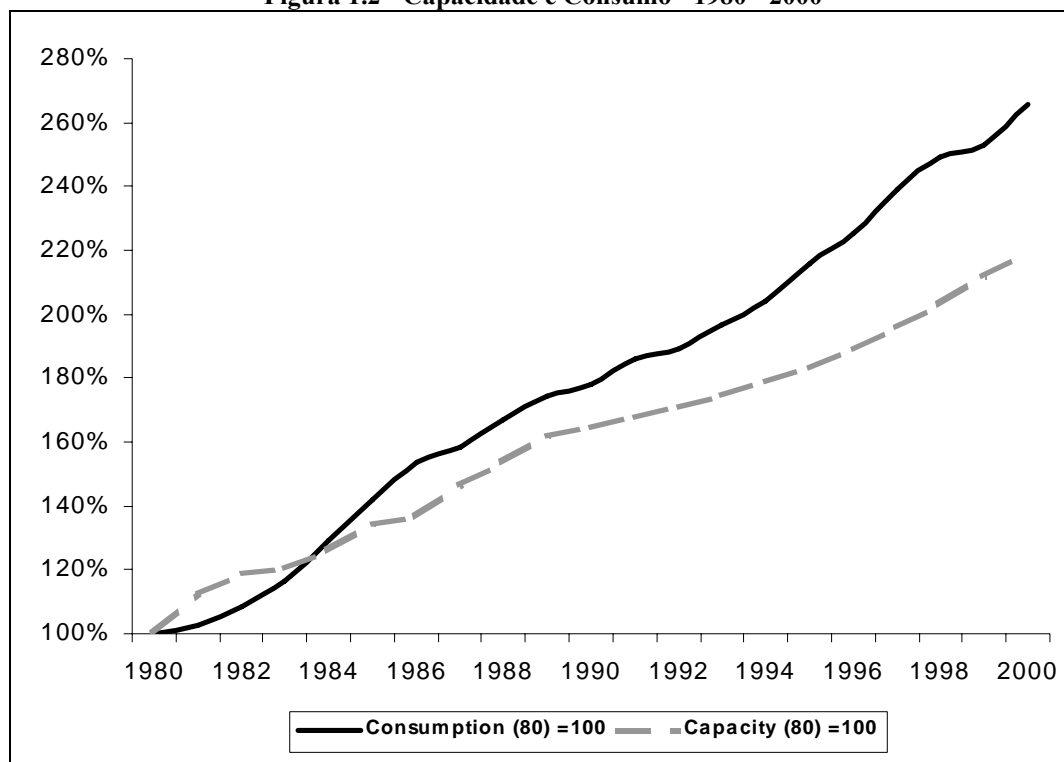
### 1.5.2.6 A Crise na Expansão do Sistema e a Ameaça de Desabastecimento

O modelo de mercado implementado no setor elétrico enfrentou dificuldades em sua consolidação. A prometida eficiência econômica através da competição e a expansão por intervenção única do setor privado, presente nos pressupostos básicos da reforma, não se verificaram. O que se registrou foi um descompasso entre o crescimento da demanda e oferta onde se verificou que a iniciativa privada não investiu na expansão do sistema no mesmo ritmo do exigido pelo crescimento da demanda, manteve-se em posição de espera, alegando para isso, a existência de inúmeras incertezas quanto ao funcionamento do mercado, o que colocaria em risco a garantia do retorno dos investimentos nos níveis esperados.

Atento a esta ausência de sincronismo, já no ano de 2000, um estudo promovido pelo Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais IVIG/COPPE, apontava como real e iminente uma crise no abastecimento, fruto de um alarmante aumento no risco de déficit, que passou de 5% para mais de 15%, devido a falta de investimento em geração, contrariando a expectativa de um fluxo de investimentos estrangeiros para a expansão do setor (ROSA, 2000).

A evolução do consumo e capacidade instalada do parque gerador brasileiro entre os anos de 1980 e 2000, registrou uma taxa de crescimento do consumo superior as taxas de expansão do setor, agravando-se as diferenças no início dos anos 1990 e tornado-se crítica no final desta mesma década. A figura 1.2 mostra como se deu esta evolução.

Figura 1.2 - Capacidade e Consumo - 1980 - 2000



Fonte: BEN 2002, 2003

A crise no abastecimento do setor elétrico veio se materializar já no primeiro semestre de 2001, fazendo com que o governo instituisse, em março de 2001, a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica (GCE), objetivando administrar os programas de ajuste da demanda energética, coordenar os esforços para o aumento da oferta de energia elétrica e propor e implementar medidas de caráter emergencial, necessárias na situação hidrológica vivenciada.

Como medida emergencial a GCS instituiu um Programa de Racionamento de energia elétrica, procurando fazer com que todos os consumidores de energia elétrica cujo consumo mensal fosse situado acima de 100 kWh reduzissem seus consumos em 20%. O racionamento vigorou 1º de junho de 2001 até 28 de fevereiro de 2002.

A crise no fornecimento de energia elétrica é resultante, portanto, do processo de abertura do setor elétrico, motivado pelo fato de que o governo creditou à iniciativa privada a responsabilidade pela expansão do sistema. Neste sentido, o planejamento da expansão tornou-se indicativo, desobrigando os novos atores da garantia de suprimento. Paralelo a isto, o governo proibiu as companhias elétricas estatais de investirem por questões contábeis, uma vez que seus investimentos são contabilizados como despesas nos termos do acordo feito com o Fundo Monetário Internacional.

Os investimentos privados não se concretizaram, os empreendedores mantiveram-se ‘cautelosos’ na promoção de novos investimentos no setor elétrico. Justificam suas ‘prudências’ no entendimento de que as incertezas e riscos presentes na fase de transição desse novo arranjo do mercado são elevados. Por outro lado, a existência de possibilidades de investimentos privados no segmento de geração, adquirindo centrais já em funcionamento, o que minimiza os riscos presentes em novos projetos, contribuiu de forma significativa para que fossem proteladas as decisões de investir em novas centrais. Um outro fato que veio dar volume à crise deveu-se a desvalorização cambial de 1999, o que inviabilizou, num primeiro momento, os projetos termelétricos, já que o combustível (gás natural) e equipamentos têm preços em dólar e as tarifas são cobradas em real.

Um outro agravante deste cenário de crise foi a falta de investimentos em transmissão. Vertia-se água no Sul por impedimento de transmissão para a região Sudeste. Em 2000, o excedente, não aproveitado no sistema Sul, esteve estimado em 5% do consumo total brasileiro. As mesmas restrições ocorrem no sistema interligado Norte-Nordeste.

Com o não comparecimento da iniciativa privada na expansão do parque gerador o governo Federal voltou a atuar na expansão do sistema. Através do Ministério de Minas e Energia, elaborou um plano emergencial para garantir o aumento no volume da geração – Programa Prioritário de Termelétrica (PPT), via construção de 49 termelétricas, a maioria usando como combustível o gás natural.

O Programa Prioritário de Termelétrica contava com inúmeros atrativos destinados ao setor privado, como forma de possibilitar a sua execução pelo mesmo em uma associação com a PETROBRÁS e financiamento do BNDES e ELETROBRAS. As vantagens concedidas pelo governo como forma de atração de investimento para programa não foram capazes de vencer a desconfiança dos investidores. As termelétricas viabilizadas são na verdade fruto de ações diretas da PETROBRAS.

A Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica também tinha como tarefa aperfeiçoar o modelo de reforma adotado. Para isso, criou o Comitê de Revitalização do Modelo do Setor Elétrico, que buscou soluções para um melhor funcionamento do mercado preservando a filosofia inicial da reforma: a implementação da competição no âmbito da geração e da comercialização, e o apoio do capital privado para a expansão do sistema.

O diagnóstico feito pelo comitê (MME, 2002) mostrou, entre outras coisas, que o preço da energia estava abaixo do nível adequado, pois nos cenários utilizados pelo ONS para o modelo de despacho do sistema havia uma sobre-oferta de energia. Além disso, o operador adotava como custo do déficit um valor abaixo do prejuízo que realmente representaria uma interrupção no fornecimento de eletricidade para a sociedade. Desta forma, não havia um despacho preventivo das térmicas, o que comprometeu bastante a manutenção de níveis adequados de água nos reservatórios das hidrelétricas.

O comitê mostrou também que o despacho centralizado das usinas por mérito de ordem do custo de produção não refletia a aversão ao risco dos agentes do mercado, pois estes tendem a responsabilizar o ONS, gerenciador desta operação, pelos problemas que ocorrem no sistema. Este fato, em conjunto com a proteção que as hidrelétricas tinham decorrentes do MRE, desestimulou os investimentos na expansão e em ganhos de eficiência.

Como solução para essas questões o CGE propôs um modelo de formação de preços por ofertas, onde o despacho das usinas passaria a ser feito com base nas ofertas das usinas hidráulicas e nos preços dos outros agentes do mercado. As ofertas das hidrelétricas seriam baseadas em uma repartição da energia gerada em substituição à repartição da produção da eletricidade no âmbito do MRE. Com base nessas ofertas, o ONS se encarregaria de otimizar o sistema, fazendo com que cada agente assumisse o risco da sua estratégia.

O modelo acima, entretanto, não chegou a ser adotado em função da mudança de governo que apresentou uma outra proposta de reforma onde

*um novo modelo para o setor elétrico brasileiro deve contemplar determinadas medidas básicas concernentes à organização dessa área. Que é absolutamente estratégica para a economia e para a própria soberania nacional, devendo ser concebido, portanto, como um serviço público fundamental para o conjunto da sociedade brasileira (INSTITUTO DA CIDADANIA, 2002).*

O programa determinava que era inadiável a condução de novas alterações, pautadas em seis orientações:

*1 – Extinção do Mercado Atacadista de Energia – MAE;*

*2 – Retomada do planejamento integrado e de caráter determinístico;*

- 3 – *Retomada do Sistema de tarifa pelo custo;*
- 4 – *Reestruturação e democratização das agências reguladoras - ANEEL, ANA, ANP;*
- 5 – *Estruturação do Operador Nacional de Energia como um ente de caráter público; e*
- 6 – *Destinação prioritária da energia produzida por usinas hidrelétricas amortizadas (energia velha) ao setor público, instituições cooperativadas ou comunitárias.*

### **1.5.2.7 O (Mais) Novo Modelo do Setor Elétrico**

Foi bastante expressiva a resposta da população brasileira durante a crise de abastecimento de energia elétrica no que concerne ao atendimento da proposta de racionalização do consumo de energia elétrica. Entretanto, após o fim desta restrição compulsória de consumo verificou-se que a demanda por eletricidade permaneceu baixa. Este fato, aliado à contratação da capacidade de geração emergencial, provocou, por mais contraditório que pareça, um excedente de energia, fazendo com que o seu preço no mercado despencasse, comprometendo novamente a liquidez das empresas do setor.

Logo após a posse do governo do presidente Luiz Inácio Lula da Silva, foi criado um grupo de trabalho com a incumbência de formular uma nova modelagem institucional a fim de equacionar os problemas do setor. A proposta foi publicada em julho de 2003 que, após um relativo processo de discussão, deu origem ao novo modelo para o setor, implementado através de medida provisória<sup>34</sup> em dezembro do mesmo ano. Nesse novo arranjo (MME, 2003), a energia deixa de ser tratada como um produto para se tornar novamente um serviço público, onde se deve garantir a qualidade e a continuidade do fornecimento para toda a população a um preço módico, mas de forma a remunerar adequadamente os investidores para assegurar a expansão do sistema.

O modelo é composto de dois ambientes de contratação, sendo um livre e outro regulado. Este último trata-se de um *pool*, denominado Ambiente de Contratação Regulada (ACR), em que participam os produtores e distribuidores, possuidores de concessão de serviço público obtida por meio de licitação, além dos produtores independentes, incluindo os autoprodutores com excedentes de energia. O ACR é um

---

<sup>34</sup> Providência, com força de lei, para casos urgentes e relevantes, tomada pelo Presidente da República e de imediato submetida ao Congresso Nacional, que a aprecia, cassando-lhe a eficácia ou convertendo-a em lei.

ambiente de tarifa regulada, onde toda a contratação de energia é administrada de forma centralizada pela CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica), instituição que absorverá as funções do extinto MAE, em particular a contabilização e liquidação de diferenças contratuais no curto prazo. Já no Ambiente de Contratação Livre (ACL), os contratos para o atendimento aos consumidores livres são negociados entre as partes.

Nesta nova modelagem, mantém-se a desverticalização entre as atividades do setor. Somente a geração, entretanto, continua sendo considerada competitiva na medida em que os geradores podem vender a energia produzida para:

- O conjunto dos distribuidores através de licitação;
- Os consumidores individuais por meio de leilões no âmbito do CCEE;
- A contratação regular de ajuste<sup>35</sup>;
- A constituição de reserva<sup>36</sup>;
- Os consumidores livres;
- Os comercializadores, com objetivo de atender aos consumidores livres.

Na comercialização dessa energia, os geradores poderão contar com dois tipos de contratos: os de quantidade e os de disponibilidade de energia. Nos primeiros, os riscos são assumidos pelos geradores por conta das possíveis diferenças contratuais de curto prazo, o que não ocorre nos contratos de disponibilidade, onde o risco é totalmente transferido para os compradores.

Na verdade, a competição entre os geradores ocorrerá no momento das licitações promovidas pela ANEEL<sup>37</sup>. Os investidores, então, apresentam propostas de preços de energia para as usinas incluídas na lista de projetos divulgados pelo Ministério das Minas e Energia (MME), escolhidas com base nos estudos da Empresa de Pesquisa de Energia (EPE), instituição criada para respaldar tecnicamente o MME na função de executor do planejamento energético. Vence o licitante que propor a menor tarifa pela energia disponível do projeto. Cabe ressaltar que apesar do planejamento da expansão

---

<sup>35</sup> Contrato para atendimento a necessidades superiores aos limites fixados nos contratos de energia, no CCEE.

<sup>36</sup> Energia contratada de forma preventiva para restaurar os níveis adequados de segurança de suprimento.

<sup>37</sup> A ANEEL é responsável pelos leilões e licitações, mas o poder concedente passa a ser exercido pelo MME.

voltar a ser determinativo, qualquer agente pode propor projetos alternativos para a lista de usinas que participarão da licitação.

A operação do sistema continuará sob a responsabilidade do ONS, que coordenará o despacho de forma centralizada, com base em informações técnicas dadas pelos geradores e em estimativas de cargas feitas pelos distribuidores. Estes devem, de acordo com o novo modelo, contratar 100% de sua demanda para garantir a confiabilidade do suprimento de energia. O ONS manterá o MRE com o objetivo de otimizar a operação do sistema, onde a cada gerador é alocada uma quantidade de energia, calculada em função da energia assegurada e do despacho ótimo. No caso das hidrelétricas, a energia assegurada é atribuída pela ANEEL através da emissão de um certificado, enquanto que no caso das térmicas este valor será calculado segundo um procedimento que considera custos variáveis e a inflexibilidade operativa dessas usinas.

A formação de preços no âmbito do CCEE será resultado das licitações e leilões de geração e transmissão, diferente do modelo anterior, onde o custo marginal de operação de curto prazo determinava o preço de curto prazo da energia negociada no MAE. Este agora servirá de base para o cálculo do Preço de Liquidação de Diferenças (PDL), que valoram as diferenças contratuais liquidadas no CCEE.

Os formuladores do modelo acreditam que este novo arranjo irá eliminar os riscos financeiros dos investidores decorrentes das tendências hidrológicas e de problemas conjunturais, uma vez que o despacho de cada usina é definido de forma a maximizar os benefícios do sistema e, por isso, tende a tornar a receita das empresas mais estável. Assim sendo, incentiva-se a entrada dos recursos necessários para a expansão do sistema.

## **1.6 Conclusões**

Neste capítulo, a avaliação do processo de formação da indústria elétrica esteve orientada a permitir a compreensão de como as articulações entre decisões técnicas, econômicas e institucionais levaram esta indústria a se calcificar em uma regularidade tecnológica ditada pelos sistemas de corrente alternada, através de unidades centralizadas de geração térmica e hídrica. Tal regularidade foi viabilizada por uma estrutura institucional que permitiu a consolidação de um monopólio, verticalizado em toda a cadeia de geração, transmissão e distribuição.

A consolidação deste paradigma tecnológico levou ao abandono do desenvolvimento de projetos voltados a descentralização da geração. Com isso, as energias renováveis complementares perderam importância dentro do planejamento da expansão do setor.

Verificou-se que coube aos Estados Nacionais garantir a infra-estrutura necessária ao desenvolvimento de todos os ramos da cadeia elétrica através de apoio financeiro ou pela intervenção direta no setor.

As análises revelam que o desenvolvimento do setor elétrico brasileiro não se diferenciou das ocorrências registradas em outros mercados. As alternativas tecnológicas que conformaram a expansão do setor elétrico nacional decorrem da apropriação dos avanços da ciência e tecnologia verificados no mundo. O diferencial brasileiro resultou das crescentes taxas de utilização de seu gigantesco potencial hidroelétrico.

O capítulo introduz os elementos necessários à compreensão do processo de enfraquecimento dessa regularidade tecnológica, virtuosa até os anos 1970, o qual possibilitou o estabelecimento de um ambiente favorável à retomada do desenvolvimento e uso das fontes renováveis de energia. No próximo capítulo expõem-se os fatores condicionantes dessa ruptura, bem como são analisadas as variáveis de contornos necessárias a retomada do desenvolvimento e uso das tecnologias de conversão elétrica que fazem uso de fontes primárias renováveis de energia, pondo destaque na tecnologia eólio-elétrica.



## **Capítulo 2 – Da Crise do Modelo de Expansão do Setor Elétrico ao Ambiente Favorável à Promoção das Tecnologias Renováveis – O caso da Energia Eólica**

“Em busca de luz, de energia elétrica para mais além do seu braço, do boi e da queima da lenha, o migrante brasileiro moveu-se do campo para a cidade. Atrás de energia - a força em expansão – faz uma revolução pessoal, enfrenta incertezas e terríveis obstáculos. Quase sempre, transita da miséria rural para a pobreza urbana. Considera ter obtido um prêmio na luz da cidade. O confisco da luz e da energia daqueles que jamais precisaram buscá-las é a novidade introduzida pela crise” - CARLOS LESSA.

### **2.1 Introdução**

A expansão do mercado brasileiro de energia elétrica, até os anos 1970 esteve balizada nos ganhos provenientes das economias de escala possíveis de serem obtidas pelo desenvolvimento e uso de tecnologias que garantissem um crescente aumento nas capacidades dos equipamentos de geração e transmissão. Dessa forma, o modelo esteve sustentado por uma contínua superação das dificuldades técnicas, e intrinsecamente relacionado aos ditames do necessário ajuste ao modelo institucional e econômico adotado pelas economias dos Estados Nacionais. Este paradigma garantiu a manutenção de um fazer tecnológico, bem como sua estabilidade institucional.

A partir dos anos 1970, as novas leituras dadas ao caráter estratégico do setor elétrico e as repercussões das crises econômicas e financeiras vivenciadas pelos Estados Nacionais, adicionou-se também as limitações impostas por um novo pensar, que focalizava, a partir de então, as relações das atividades do setor energético e seus impactos sob o ambiente natural. Desta forma, o modelo tradicional de expansão do setor elétrico perdeu fôlego, permitindo, por consequência, a pesquisa e o

desenvolvimento de novas tecnologias que contribuíssem para uma nova ordenação institucional e quebra do paradigma tecnológico vigente (BICALHO, 1997).

Neste sentido, o desenvolvimento das denominadas tecnologias alternativas (renováveis) é reflexo direto das novas orientações institucionais e superação do paradigma tecnológico baseado na crescente ampliação da capacidade instalada por plantas geradoras. Portanto, há um estímulo no sentido de promover o debate acerca da geração distribuída, considerando o aproveitamento dos potenciais energéticos de cada região e suas contribuições ao denominado desenvolvimento sustentável<sup>38</sup>.

Importa ressaltar que a expressão “desenvolvimento sustentável” assume hoje acepções diversas. A mesma é utilizada pelo mercado internacional, através de sua elite gestora, como ferramenta de ajuste a garantia de uma nova ordem mundial de expansão capitalista, o que difere fortemente das aspirações presentes nos movimentos ambientalistas quando do questionamento das rotas postas por essa mesma elite ao “desenvolvimento”. O termo em sua gênese aponta, no mínimo, para a garantia da qualidade de vida da atual sociedade e gerações futuras, tendo como base um modelo de desenvolvimento pautado na manutenção da dinâmica natural do planeta (FIGUEIREDO, 1994) (CMMAD, 1988).

Este capítulo, inicialmente traz ao debate reflexões necessárias ao entendimento das relações existente entre o predominante apelo ao desenvolvimento pautado na liturgia do desperdício e a crescente necessidade de ampliação do uso de novas tecnologias de aproveitamento dos recursos naturais, que por sua vez pressiona fortemente a incessante busca por maior disponibilidade de energia.

Expõe também os elementos apresentados como determinantes do esgotamento do modelo de expansão do setor elétrico promovido de forma eficaz até os anos 1970 mostrando que é da instabilidade da manutenção do paradigma tecnológico dirigido pelo expansionismo garantido pelas tecnologias em uso até essa década, que se traceja os créditos necessários à estruturação de uma ação, notadamente mais eficiente, de

---

<sup>38</sup> Importa ressaltar que a expressão “desenvolvimento sustentável” assume hoje acepções diversas. A mesma é utilizada pelo mercado internacional, através de sua elite gestora, como ferramenta de ajuste a garantia de uma nova ordem mundial de expansão capitalista, o que difere fortemente das aspirações presentes nos movimentos ambientalistas quando do questionamento das rotas postas por essa mesma elite ao “desenvolvimento”. O termo em sua gênese aponta, no mínimo, para a garantia da qualidade de vida da atual sociedade e gerações futuras, tendo como base um modelo de desenvolvimento pautado na manutenção da dinâmica natural do planeta (FIGUEIREDO, 1994) (CMMAD, 1988).

pesquisa e desenvolvimento do uso da tecnologia de aproveitamento eólico para geração de energia elétrica.

Por último, descreve os correntes arranjos institucionais usados para promover o desenvolvimento da energia eólica, colocando uma maior atenção na experiência europeia, uma vez que é neste continente que se concentram os exemplos mais exitosos de esquemas legais de promoção da energia eólica e que tem servido de referência para os mercados de países em desenvolvimento, como é o caso dos esquemas adotados no Brasil.

## 2.2 Energia, Desenvolvimento e Crise

Ao avaliarmos o processo que sobrepujou a natureza aos ditames dos desejos do homem, reconhecemos, de forma incontestada, que os sistemas energéticos se conformaram como base desse desenvolvimento.

Os sistemas energéticos, fundamentais ao desenvolvimento da sociedade, são compreendidos como corpos que articulam a relação, restritiva por natureza, do homem com os recursos naturais disponíveis a este, abrangendo, portanto, toda a cadeia de produção, transformação e distribuição, além de suas repercussões no sistema sócio-econômico.

Ao longo da história humana os câmbios energéticos foram condicionados por privações, escassez de matéria prima, restrições ao acesso às fontes, bem como pelo desmantelamento das estruturas energéticas anteriores. HEMERY (1993) assinala como a primeira grande ruptura energética o que está descrito no livro do Gênesis: o momento que Adão foi expulso do Paraíso e condenado à maldição divina aos pesados trabalhos agrícolas. “*O solo será maldito por tua causa, é com sofrimento que tu te alimentarás todos os dias da tua vida (...) tu comerás o pão produzido com o suor do teu rosto*”. Nesse contexto a energia mecânica possível de ser produzida pelo corpo humano configura o conjunto conversor-máquina-ferramenta que será ampliando através da exteriorização desse mesmo conjunto através do trabalho.

Já MARX, (p.218, 1972) nos *Grundrisse*, utiliza a expulsão de Adão como forma de ampliar o conceito de trabalho posto por Adam Smith, afirmando:

*“Trabalharás com o suor do teu rosto” é a maldição que Jeovah lançou a Adão e é a maneira pela qual Adam Smith concebe o*

*trabalho. O "repouso" seria, em troca, o estado correspondente à "liberdade" e à "felicidade"(...) porém, o que Smith ignorará sempre é que a atividade da liberdade consiste precisamente em superar esses obstáculos [que o trabalho deve superar] e que é preciso, além do mais, despojar os fins exteriores de seu caráter de pura necessidade natural para estabelecê-los como fins que o indivíduo fixa a si mesmo, de modo que cheguem a ser a realização e a objetivação do sujeito; dito de outro modo, a liberdade real, cuja atividade é o trabalho.*

O trabalho referenciado por MARX se amplia para além de uma energia mecânica muscular ofertada pelo corpo humano. O que se escreve no processo histórico é a busca contínua da superação dos obstáculos postos ao trabalho. É desta procura que se estabeleceu à liturgia do progresso – do desenvolvimento – está, por sua vez, conformada na sucessiva inovação da produção material. Como saldo, historia-se o contínuo aumento dos rendimentos dos sistemas naturais, a complexificação das máquinas e sistemas energéticos, o crescimento demográfico e o que é mais determinante: o aumento da produtividade do trabalho humano.

No que tange ao aumento da produtividade do trabalho, todo o ganho mensurado esteve profundamente relacionado aos processos de melhorias impostos aos sistemas energéticos. Os avanços técnicos conduzidos nos sistemas energéticos estiveram orientados a aumentar as demandas energéticas do homem e ao mesmo tempo subtrair a contribuição da energia corpórea disponibilizada por este mesmo homem.

Desde a aplicação das primeiras inovações técnicas, orientadas ao aproveitamento dos recursos energéticos exterior ao corpo humano, se verificou que o aumento na taxa da energia controlada, garantia ao homem uma correlata ampliação da produtividade do trabalho. Nesses termos, conferiu-se avanços no processo de produção agrícola, na navegação, na produção de energia mecânica e térmica, no transporte individual e coletivo, entre outras.

No entanto, ao final do século passado a humanidade se viu diante da constatação de uma ruptura na regularidade tecnológica pautada no aumento de ganho de produtividade a valores decrescentes de utilização de energia. O que se constatou, desde então, foi a crescente necessidade de ampliação da quantidade da energia primária, necessária ao funcionamento do sistema econômico, para a obtenção de uma

energia final, sem se auferir um acréscimo na taxa de disponibilidade desta última. Ou seja:

*O sistema energético mundial não parece mais em condições de colocar à disposição da economia mais que quantidades adicionais decrescentes de energia. A deterioração dos rendimentos energéticos tende a se confirmar como uma regra geral, que se trate da extração de petróleo, da construção de reatores nucleares ou do desenvolvimento das variedades agrícolas de alto rendimento (HÊMERY, p.384, 1993).*

A partir da ruptura do paradigma tecnológico, vitorioso até a década de 1970, a humanidade tem pela frente o desafio de reorientar seus sistemas energéticos, e por conseqüência o processo econômico, de forma a superar a irregularidade observada na curva histórica dos crescentes ganhos de eficiência energética promovidos pelas inovações tecnológicas.

Nesse cenário, questões relacionadas aos efeitos decorrentes do modelo de desenvolvimento até então adotado, passam a compor a agenda internacional, onde se inquire o fato de que este estilo de desenvolvimento sempre esteve impulsionando o progresso à custa de uma voraz devastação dos recursos naturais.

A estrutura de produção vitoriosa esteve fundamentada na permanente exploração e utilização intensiva dos recursos naturais, gerenciada à obtenção de crescentes ganhos de eficiência, aumento de produtividade e, como resultado, redução de custos. Tal modelo sempre ignorou as variáveis sócio-ambientais. Como avaliação, registra-se que este paradigma não foi capaz de:

- Reduzir as desigualdades sociais e regionais;
- Evitar o crescente nível de produção de desperdício;
- Estabelecer uma relação harmônica entre o homem e o ambiente natural

Em termos de funcionamento do setor energético os questionamentos recaíram sobre a sua categórica dependência de recursos não renováveis e dos efeitos de sua produção e uso sobre a saúde humana, meio ambiente e contornos geopolíticos determinados por este setor.

Verificou-se, nesse contexto, que a partir da expansão do uso do carvão, iniciado na Inglaterra no final do século XVIII, o processo de expansão dos sistemas energéticos se realizou sobre a crescente substituição das fontes renováveis por um vertiginoso uso de fontes não renováveis, no princípio o carvão mineral e vegetal, e após a década de 1930 pelo petróleo.

A abissal dependência dos sistemas energéticos/econômicos das fontes não renováveis de energia, nominadamente os combustíveis fósseis, têm acarretado, além de uma permanente apreensão no que concerne ao caráter esgotável desses recursos e a garantia do livre acesso a estes, uma preocupação, em escala planetária, referente às emissões de grandes quantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera. Como consequência do estilo de desenvolvimento adotado. As concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera têm aumentado progressivamente.

O debate conduzido nas últimas décadas em torno do registro de uma elevação na temperatura média do planeta dirigiu o meio científico ao estabelecimento de uma uniformidade de pensamento na qual se afirma existir estreitas relações entre a produção e uso da energia, de forma mais contundente sobre aquelas advindas de fontes fósseis<sup>39</sup>, e suas contribuições para o denominado aquecimento global, fruto de um aumento nas concentrações dos gases intensificadores do efeito estufa<sup>40</sup>

É, portanto, em um cenário de iminente escassez de recursos energéticos não renováveis, restrições ao livre acesso às fontes de energia, bem como a estruturação de um marco legal que aponta para a fixação de impedimentos e/ou barreiras de contenção a expansão e uso dos recursos energéticos não renováveis, que as tecnologias que fazem usos dos recursos renováveis ganham acento.

É sobre esse conjunto de incertezas que se apontam as fontes renováveis como uma alternativa possível de garantir a provisão de energia em um novo modelo de desenvolvimento econômico que seja ambientalmente sustentável. Estabelecendo urgência nas ações, de forma que o processo de substituição das fontes convencionais tenha início imediato, abreviando desde já, as repercussões ambientais de seu uso.

---

<sup>39</sup> Os níveis de emissão de CO<sub>2</sub> registrou aumento de 31% no decorrer dos dois últimos séculos.

<sup>40</sup> O terceiro relatório de IPCC, elaborado por três grupos de trabalho que focalizaram os aspectos científicos e as questões relacionadas à adaptação e mitigação às mudanças climáticas, confirmou que o clima da terra está mudando como resposta direta das atividades humanas, particularmente devido ao uso das fontes de energia de origem fóssil (IPCC, 2001).

Postula-se também a imperativa necessidade de que sejam criadas as condições imprescindíveis à mudança no perfil de consumo de energia, para que dessa forma sejam minimizadas as instabilidades intrínsecas aos processos de rupturas energéticas quando condicionados por mudanças de curto prazo, determinadas pela penúria e/ou aumento violento nos preços.

No entanto, cabe registrar que a expansão do aproveitamento das fontes renováveis seguirá refém do modelo de produção de bens e serviço em curso, uma vez que a energia é vital às atividades produtivas e repercute diretamente nas relações sócio-econômicas. Dessa forma, é de fundamental importância compreender como se dá o processo de produção das mercadorias, para então conferir os reais potenciais de ajuste dessas fontes ao funcionamento dos sistemas econômicos, bem como os efeitos de sua ampliação em uso, no médio e longo prazo.

### **2.2.1 A Vitória da Produção do Desperdício - As Fontes Renováveis “Para Além do Capital”<sup>41</sup>**

O processo de ocupação humana na terra ocorreu sob um crescente aumento populacional, seguido de uma constante ampliação das regiões ocupadas, para tanto a produção de bens e serviços demandaram uma quantidade crescente de energia. No decorrer do século passado, visíveis mudanças de ordem qualitativa e quantitativa foram impostas ao ordenamento e funcionamento das cidades. Estas mudanças arrogaram significativo acréscimo na demanda energética. Entre o século XVIII e XX a população mundial cresceu em seis vezes, saltando de cerca de um bilhão de pessoas, na metade do século XVIII, para um registro próximo de seis bilhões de indivíduos no início deste século.

Os infortúnios advindos de uma maior demanda energética e suas repercussões não são creditados apenas ao crescimento populacional e à sua concentração nos grandes centros urbanos. A grande responsabilidade por todo o caos gerado pela imperativa necessidade de adequação dos efeitos do funcionamento das distintas cadeias energéticas está atribuída à adoção de estilos de vida centrados na liturgia do consumo.

---

<sup>41</sup> O título faz alusão à obra “Para Além do Capital” do filósofo ISTVÁN MÉSZÁROS especificamente aos capítulos 15 e 16 que tratam da discussão da lei da utilidade decrescente dos bens no modo de produção capitalista.

O modelo de desenvolvimento adotado pela moderna sociedade capitalista e o ritmo conferido a este processo se traduziu em um rápido crescimento da oferta de bens e, por conseguinte, no aumento do consumo de energia. A estrutura de consumo é determinada por estilos de vida que definem o arranjo familiar, nível de renda e distribuição, posse e uso de bens de consumo, difusão dos equipamentos de aquecimento/refrigeração, estrutura do transporte e modelo de expansão habitacional, dentre outros.

O estilo de vida atual tem aumentado e concentrado a demanda familiar de bens através da maior difusão do uso de eletrodomésticos, incentivo ao transporte individual, bem como um incessante apelo ao consumo perdulário, onde a cada momento novas demandas são geradas sem que se amplie a utilidade marginal destas. Nesses termos, afirma MÉSZÁROS (p.670, 2002):

*a notória ‘obsolescência planejada’ em relação aos ‘bens de consumo duráveis’ produzidos em massa; a substituição, o abandono ou o aniquilamento deliberado de bens e serviços que oferecem um potencial de utilização intrinsecamente maior (por exemplo, o transporte coletivo) em favor daqueles cujas taxas de utilização tendem a ser muito menores, até mínima (como o automóvel particular) e que absorvem uma parte considerável do poder de compra da sociedade; a imposição artificial da capacidade produtiva quase que completamente inutilizável; o crescente desperdício resultante da introdução de tecnologia nova; o ‘extermínio’ deliberado das habilidades e dos serviços de manutenção. Tudo isso pertence a essa categoria, dominada pelos imperativos e determinações subjacentes para perdulariamente diminuir as taxas de utilização praticáveis.*

Para MÉSZÁROS (p.675, 2002) a lei da taxa de utilização decrescente revestiu-se historicamente de uma importância civilizadora, “o movimento que torna disponível ao trabalhador dois pares de sapato, em vez de um, só pode ser considerado positivo, quaisquer que sejam as motivações e determinações ocultas da parte capitalista”. Com esta mesma abordagem MARX, *apud* MÉSZÁROS (p.675, 2002) afirma:

*“a despeito de todos os discursos ‘piedosos’, ele [o capitalista] busca meios para impulsionar [os trabalhadores] ao consumo, procura dar aos seus produtos novos encantos, inspirar novas necessidades pela propaganda constante etc. É exatamente este aspecto da relação de capital e trabalho que é um momento essencialmente civilizador, e no qual se apóiam tanto as justificativas históricas como o poder contemporâneo do capital”.*



No entanto, as repercussões destrutivas inerentes à lei da taxa de utilização decrescente - tendência esta fortemente impulsionadora da formação do denominado ‘complexo militar-industrial’

*entraram em cena com ênfase dramática no século XX, particularmente nas últimas quatro ou cinco décadas. Por conseqüência, a antiga formulação socialista da superação da escassez por meio da produção de uma antes inimaginável abundância necessita também de um reexame radical à luz dos mesmos desdobramentos* (MÉSZÁROS, p.675, 2002).

Neste contexto, verifica-se que as possibilidades de ampliação da produção, resultado do potencial civilizatório advindos dos avanços da ciência e tecnologia, se distorcem quando da adoção e consolidação de uma prática capitalista de acento destrutivo e perdulário. Assim, as necessidades naturais, sob pressão da necessária ampliação da produção de mercadorias, são constantemente substituídas por ‘necessidades historicamente criadas’.

Para MÉSZÁROS (p.677, 2002)

*o resultado positivo da interação dialética entre produção e consumo está longe de ser assegurado, já que o impulso capitalista para expansão da produção não está de modo algum necessariamente ligado à necessidade humana como tal, mas somente ao imperativo abstrato da ‘realização’ do capital.*

É fato que a conformação dos estilos de consumo variam drasticamente entre países desenvolvidos e os menos desenvolvidos, sendo muito graves também as diferenças verificadas entre os perfis de consumo nos centros urbanos e no meio rural. No entanto, os apelos de mercado têm ampliado as fronteiras de atuação, generalizando assim um ideal crescente de consumo, impedido por restrições econômicas, regionais e estágio tecnológico vivido.

A crescente participação das máquinas nos meios de produção requer sua constante atualização, de forma a mantê-las sempre as mais modernas possíveis. O resultado desta busca pelo ‘novo’ é que, em muitos casos, antes do término de sua vida útil as mesmas já se encontram obsoletas. A tendência geral é de que a produção em larga escala e a competição façam com que o bem se torne menos durável, assim como seja mais barato a aquisição de um novo bem em detrimento ao seu reaproveitamento.

Os artigos passam a ser considerados velhos quando ocorre o desgaste natural do tempo. Além disso, mesmo sem a redução de sua utilidade, os artigos passam a ser considerados ‘obsoletos’ quando ocorre melhoria no seu processo de produção ou, ainda, por já estarem fora dos padrões de consumo vigentes. Sendo assim, os artigos ‘descartados’ passam a ser acessíveis para uma parte da sociedade que inicialmente não teria poder de compra para adquiri-los. Desta forma gera-se uma nova demanda alimentada de forma contínua sem que se aumente a utilidade marginal dos bens.

É importante notar que o aumento de produtividade não é mal visto, dentro de certos padrões ele é bom e desejável. No entanto, o ganho de produtividade provoca alterações nos padrões de consumo. Existe uma dificuldade para encontrar o ponto de equilíbrio da ‘sociedade dos descartáveis’ - ótimo entre produção e consumo. É desejável que a sociedade se mobilize para que a maior parte dos seus recursos seja voltada para a produção de bens reutilizáveis. Entretanto, o que ocorre é um desperdício de recursos sob a pressão da taxa de utilização decrescente.

*A taxa de utilização decrescente assumiu uma posição de domínio na estrutura capitalista do metabolismo socioeconômico, não obstante o fato de que, no presente, quantidades astronômicas de desperdícios precisem ser produzidos para que se possa impor à sociedade algumas das suas manifestações mais desconcertantes (MÉSZÁROS p.655, 2002).*

Considerando que as necessidades do homem são inumeráveis e que, sendo assim, não há limites para o suprimento das suas satisfações, é estabelecido um mercado de consumo muito além das necessidades elementares. Importa aqui uma reflexão sobre o que são tais necessidades, uma vez que o que era ‘luxo’ (tudo que está acima das necessidades elementares) no passado passa a ser considerado como primordial para o homem do presente. Como já exposto, a criação e descarte de um bem criam uma nova demanda na sociedade, sem que se tenha criado uma utilidade para este. Assim, “*não importa quão absurdamente perdulário possa ser o procedimento produtivo dos bens, contanto que o seu resultado possa ser lucrativamente imposto no mercado*” (MÉSZÁROS, p.642, 2002).

A geração de desperdício é, portanto, oriunda de uma sociedade de alto padrão de consumo efetivado a taxas de utilização decrescentes. Desta forma, esta sociedade é responsável pela produção contínua de bens (quase) descartáveis e pelo excesso destes torna-se um estorvo para esta mesma sociedade.

Um dos resultados negativos inerentes ao processo de desenvolvimento pautado na produção de bens a uma taxa decrescente de utilidade é o que a sociedade denomina lixo. Neste cenário, a produção de resíduos é imperativamente advinda da crescente produção do ‘luxo’. Reconhece-se, porém, a existência de um resíduo fruto das necessidades elementares do homem, sendo este compatível com a capacidade de suporte do planeta quando materializado em um modelo equilibrado de crescimento populacional.

Na atualidade, muito se advoga sobre a qualidade do aproveitamento das fontes renováveis como alternativa de geração de energia. No entanto, em uma sociedade pautada no consumo perdulário e no decréscimo da utilidade marginal dos bens, a forma mais eficiente de aproveitamento dos recursos dispostos na natureza reside preferencialmente em elaborados esforços que levem à redução da produção perdulária, o que é compatível com a proposição conceitual do denominado desenvolvimento sustentável.

O retorno da atenção ao aproveitamento dos recursos renováveis como fonte de energia deve estar, segundo seus defensores, presente nos esforços de desenvolvimento de fontes limpas e abundantes. Em uma sociedade pautada na geração de descartáveis, na qual os esforços das últimas décadas estiveram orientados a expansão da produção de energia em bases mais eficiente e, portanto, sobre maiores custos *“a promoção da técnica limpa constitui quase sempre a promoção de um meio de luxo para produzir bens de primeira necessidade”* (ILLICH p.16, 1975) e, mantendo-se os atuais perfis de consumo, o incremento nos volumes de energia produzida a partir de fontes renováveis estará intrinsecamente ligado à ampliação das diferenças sociais. *“Acreditar na possibilidade de altos níveis de energia limpa como solução para todos os males constitui um erro de juízo. É imaginar que a equidade na participação do poder e o consumo de energia podem crescer juntos”* (ILLICH, p.19, 1975):

Dessa forma, há que se estar atento a aceção de que a adoção de tecnologias limpas de produção de energia não venha simplesmente servir de um amortecedor da crise energética-ambiental em pauta no mundo, evitando que o incentivo a uma maior participação dessas fontes possam implicar em uma corrida pela maior produção de energia limpa de forma a justificar o ‘*status quo*’ dos padrões de produção e consumo. Nesse sentido alerta ILLICH (p.22, 1975).

*os ecólogos tem razão ao afirmar que toda a energia não metabólica é poluente: é necessário agora que os políticos reconheçam que a energia física, ultrapassados certos limites, se torna inevitavelmente corruptora do ambiente social. Mesmo que se conseguisse produzir uma energia não contaminante e produzi-la em quantidade, o uso massivo de energia terá sobre o corpo social o mesmo efeito que a intoxicação produzida por uma droga fisicamente inofensiva, mas psiquicamente escravizante.*

## **2.3 O Esgotamento do Modelo de Expansão do Setor Elétrico**

Nos anos 1970 verificam-se os primeiros sinais de que o padrão vitorioso de expansão do setor elétrico, baseado na expressiva exploração das economias de escala e de escopo através de grandes empreendimentos na geração, apresenta-se engessado. Nesse período, observam-se diferentes configurações que vêm pôr em tela restrições à ampliação do modelo em vigência, tendo estas características ligadas: i) a limitações tecnológicas, ii) instabilidades político-econômicas e iii) pressões ambientais.

### **2.3.1 Restrições Tecnológicas**

Importa aqui ressaltar que foi a termoeletricidade que se consolidou no mundo como a tecnologia dominante na geração de eletricidade, este registro é fruto, evidentemente, da ausência de um potencial hídrico uniformemente distribuído e intransferível no mundo. A assertiva difere fortemente dos processos que utilizam os combustíveis fósseis, uma vez que estes podem ser transportados sob forma bruta ou processada para qualquer mercado. Tal condicionante viabilizou a difusão da termoeletricidade em todos os continentes, em especial em regiões onde a disponibilidade dos recursos hidráulicos é pouco significativa ou inexistente.

A tecnologia termoelétrica apresentou uma constante ampliação de suas dimensões, e por conseqüência, de sua potência instalada, graças ao desenvolvimento de tecnologias e uso de materiais que permitiram maiores ganhos de rendimento e eficiência. No entanto, as taxas de ganhos de rendimentos térmicos nas unidades de geração a turbina a vapor passaram a dar sinais de esgotamento já no início da década de 1970.

BICALHO (1997) mostra que este esgotamento esteve relacionado à *performance* insatisfatória dos novos materiais desenvolvidos com o objetivo de permitir o funcionamento unidades de geração em maiores níveis de temperatura e pressão. Como resultado do uso desses novos materiais verificou-se que e as unidades de geração passaram a registrar problemas de deformação e corrosão, fazendo com que os índices de disponibilidades destas usinas (usinas operando entre 560 e 570 °C registravam coeficiente de disponibilidade igual a 0,88) apresentassem valores inferiores aos registrados nas usinas que faziam usos de tecnologias utilizadas na década de 1950 (usinas operando entre 480 e 510 °C registravam coeficiente de disponibilidade igual a 0,91).

Registrou-se também que os custos adicionados pelos ganhos de rendimento advindos do uso dos novos materiais (superligas com elevado conteúdo de níquel, cobalto e magnésio) superavam os ganhos operacionais auferidos pelo aumento registrado no rendimento. Dessa forma se estabeleceu um paradoxo no qual as limitações próprias da indústria metalúrgica condicionavam os avanços tecnológicos na indústria termoeleétrica<sup>42</sup>.

A superação das barreiras necessárias à redução dos custos via melhoria do rendimento obtido pelo uso das superligas, foi perseguida, segundo BICALHO (p.134, 1997),

*pela exploração de fatores geométricos e, simplesmente, aumentar o tamanho dos equipamentos; ou seja, explorar as velhas e conhecidas economias de escala latentes. No entanto, dado o estágio avançado da exploração dessa trajetória tecnológica, as possibilidades de avanço estavam próximas de serem esgotadas.*

A ampliação da capacidade instalada das unidades geradoras de maiores rendimentos implicava também em aumento na complexidade de operação do sistema, imputando assim uma maior vulnerabilidade da usina a situações de falhas, o que condiciona a existência de um programa de manutenção mais abrangente, o que por sua vez contribui para a elevação dos custos com esta atividade e reduz, no geral, o coeficiente de disponibilidade da usina.

---

<sup>42</sup> O aumento do rendimento térmico de 38 para 39% acrescentava custos de US\$ 3/kWh no ano de 1957, já o aumento deste mesmo rendimento de 39 para 40% saltava para US\$ 5/kWh. A projeção dos custos pelo aumento de mais uma unidade em rendimento térmico esteve orçada em US\$12 kWh (ISLÃ SAMPÉRIO, apud BICALHO 1997).

*A busca da redução dos custos de geração, através da intensificação dos fluxos gerados por plantas térmicas cada vez maiores, encontra obstáculos crescentes, demonstrando a perda significativa da vitalidade dessa trajetória. Assim aquela fonte de inovação, que permitiu a redução continuada de custos, tão promissoras durante várias décadas, começava a apresentar claros sinais de esgotamento, apontando para obstáculos tecnológicos cada vez mais difíceis de serem superados. BICALHO (p.135, 1997)*

No que concerne à expansão dos aproveitamentos hidroelétricos, estes não apresentavam restrições de ordem tecnológica tão severas à sua ampliação, dado que os fatores que determinam o dimensionamento das capacidades instaladas dessa tecnologia têm suas barreiras delineadas pelo potencial do sítio a ser explorado e limitações de ordem econômico-financeira e ambiental, determinadas pelo ente promotor de sua difusão. No entanto, essa tecnologia não ficou impune a crise do paradigma expansionista do mercado de geração de energia elétrica, ressentiu-se, pois, das diversas restrições impostas à expansão do mercado registrado a partir dos anos 1970.

### **2.3.2 Repercussões Político-Econômicas**

Nos anos 1970 os reajustes nos preços do petróleo demarcam o final de um período de constante ampliação da oferta vivenciado pela história da economia da energia. A nova era vem preconizar o final da pletora do petróleo.

O choque do petróleo é resultado direto de um processo de oferta de energia a um baixo preço registrado nas três décadas anteriores a crise, e revela-se também como um saldo da conjuntura político-econômica e financeira a qual estava exposto o mundo capitalista naquele momento histórico. A crise foi, portanto, um sinal indicador da possível ruptura de um modelo de expansão do mercado de hidrocarbonetos sobre o qual toda a base de reprodução capitalista estava conformada, ou seja, na garantia de uma estabilidade na estocagem desse combustível.

A análise do desenvolvimento da indústria do petróleo mostra que já no final da Segunda Guerra Mundial as companhias petrolíferas internacionais dominavam a quase totalidade da comercialização de óleo cru no mundo capitalista, uma vez que controlavam 92% das reservas mundiais e 88% da produção. Os monopólios do petrolífero lograram a contínua redução dos preços de referência do petróleo por mais de 20 anos, atrelada a uma também contínua, redução das taxas de pagamentos devidos

aos países exportadores. No que concerne à manutenção dessa estrutura de exploração afirma HÉMERY (p.210, 1993): “*a ameaça permanente de represálias econômicas, de intervenções militares ou de golpes de Estado era suficiente pra manter em níveis muito baixos as taxas e os encargos cobrados pelos países produtores. A organização oligopolística do mercado impunha suas leis*”.

No início dos anos 1970 as grandes companhias de petróleo ao decidirem reduzir seus investimentos em exploração, como forma de manter o preço e restringir a concorrência, abriram o caminho que levou a materialização das condições que culminaram com a desestabilização do mercado mundial do petróleo. Os Estados Unidos ao tornar-se importador de petróleo provocou o estabelecimento do debate em torno dos riscos advindos da sua crescente necessidade de importação de óleo cru, fazendo com que o governo de Richard Nixon, em 1973, elevasse os preços de petróleo como forma de atrair investimentos, de maneira a restabelecer a auto-suficiência daquele Estado.

Para HEMERY (1993), no segundo semestre de 1973 estavam dadas as condições necessárias a quebra da crescente oferta de petróleo a preços baixos, a saber: i) um crescente aumento da demanda nos países industrializados; ii) redução da margem de segurança da produção o que se torna uma barreira a um aumento brusco da demanda; iii) as instabilidades políticas verificadas no Oriente Médio, Região esta detentora das maiores reservas comprovadas do mundo. Este cenário cria o corpo que permite a OPEP elevar o preço do barril de petróleo de US\$ 3,01 para US\$ 11,65 no final de 1973.

Os cinco anos subseqüentes à alta súbita dos preços de praticados em 1973 foram de relativa estabilidade no mercado internacional do petróleo. Esta constância,

*bastante precária, dadas as clivagens políticas entre os membros da OPEP (especialmente as nações árabes). A Arábia Saudita, o Irã e o Iraque, por exemplo, disputavam o controle do mercado de petróleo, discordando quanto ao montante do aumento dos preços e do volume da produção do petróleo oferecido a exportação (SANTOS, p.102, 1993)*

A introdução de novos reajustes encontrava, portanto, duas barreiras relevantes: A discórdia entre os países da OPEP, em especial por parte da Arábia Saudita (maior produtor da OPEP) e registro de grandes excedentes do produto no mercado

internacional. Em abril de 1978 o preço do barril tinha sofrido um reajuste de 9%, considerado baixo, em relação aos preços praticados no momento seguinte ao reajuste do final de 1973.

Na segunda metade de 1978, este cenário de aparente estabilidade nos preços e regularidade na exploração sofre uma brusca transformação de comportamento. Com a vitória da revolução Iraniana, cujo primeiro ato foi de cortar a produção em 2,7 milhões de barris/dia, os países importadores de petróleo atemorizados por uma possibilidade de que os conflitos se alargassem para todo Oriente Médio, trataram de configurar políticas que viesse a garantir a formação de estoque.

Em oito meses o mercado mundial de petróleo salta de uma situação de excesso para de escassez de oferta. Os valores comercializados do barril elevaram-se cerca de duas vezes e meia no mercado paralelo, verificando-se, ao logo do ano de 1979 diversos aumentos do preço de referência. *“Ao final do ano os preços atingiram valores de U\$ 40,00 no mercado de spot de Rotterdam. Ao mesmo tempo em que seu preço oficial fora fixado pela OPEP em U\$ 24,00/barril, comparados com U\$ 12,58/barril e U\$ 12,70/barril, respectivamente, em outubro de 1978”* (SANTOS, p.102, 1993).

No que concerne ao desenvolvimento de novas tecnologias de geração, a elevação da cotação do petróleo foi um marco na tomada de consciência de que a dependência dos Estados Nacionais do humor do mercado de petróleo e a perspectiva de esgotabilidade dessa fonte colocavam em risco a estabilidade no funcionamento desses Estados, uma vez que o aumento dos preços do petróleo se via refletido em suas balanças de pagamento. Nos países em desenvolvimento, o aumento dos preços do petróleo se mostrou agregado à elevação dos preços dos bens e serviços acordados com os países capitalistas industrializados.

Uma vez que a máquina produtiva capitalista tinha que ser mantida em funcionamento, se fazia imperativo reduzir a dependência mundial de petróleo, para tanto, se fez necessário à abertura de novos mercados, bem como a difusão de novos hábitos de consumo e a procura pelo desenvolvimento de novas tecnologias que pudessem viabilizar a manutenção do cumprimento das necessidades existentes de uma outra forma, dentre elas a pesquisa por biocombustíveis, energia solar e eólica.



O que se verificou no ‘pós-crise’ foi à busca pela racionalização do uso da energia via mudança nos hábitos de consumo e adoção de equipamentos mais eficientes, além da substituição do petróleo por outras fontes.

A geração termoelétrica no mundo, que até o momento da crise tinha se beneficiado do longo período dos baixos preços do petróleo, viu-se em uma situação em que seus custos passaram a ser crescente, conduzindo esta indústria a migrar sua expansão para a tecnologia de uso do carvão mineral e ceder terreno para a hidroeletricidade e a indústria nuclear. Paralelo a esse movimento de reordenamento do setor energético mundial, as denominadas fontes renováveis de energia passaram a entrar na pauta do debate sobre as rotas de expansão da oferta de energia e garantia de seu provisãoamento no mundo.

No Brasil, as repercussões da crise do petróleo fizeram com que o governo passasse a entender a questão energética como uma prioridade máxima de Estado, criando em 1979 a Comissão Nacional de Energia com o objetivo de definir ações que viesse garantir a racionalização do uso da energia, o aumento da oferta interna de petróleo com a redução do volume importado dessa fonte via substituição do uso dos seus derivados por outras fontes de energia e/ou adoção de novas tecnologias.

As principais orientações apresentadas pela Comissão Nacional de Energia podem ser assim sintetizadas (SANTOS, p.104, 1993):

- No Brasil a geração de energia elétrica não será dependente do petróleo, uma vez que o potencial hídrico nacional será explorado ao seu nível máximo possível, e quando de sua esgotabilidade se fará uso da energia nuclear;
- A vulnerabilidade energética nacional se encontra nos combustíveis líquidos e a sua redução deve ser alcançada com a substituição do petróleo importado pelo nacional;
- Deve-se, imperativamente, buscar fontes substitutas aos derivados do petróleo;
- A conservação de energia deve ser uma meta, especialmente no que se refere aos combustíveis importados.

Como era de se esperar, o gigantesco potencial brasileiro de recursos hídricos passou a ser a referência na expansão do setor elétrico, que agora agregava também a

incumbência de servir de fonte substituta dos derivados do petróleo. Por consequência, se expande o uso da eletricidade no país, bem como a malha de transporte metroviário nos grandes centros, e se delineia um programa nacional de aproveitamento da energia nuclear.

No que tange as energias renováveis o desenvolvimento destas tecnologias foi tímido, se concentrando em estágio acadêmico e demonstrativo, não chegando a alcançar escala comercial, exceto pelo Programa Nacional do Álcool – Proálcool, criado em 1975, que credenciou o Brasil no desenvolvimento de fontes renováveis para substituir os derivados de petróleo mediante o uso de álcool adicionado à gasolina e uso direto. No período de 1983 a 1986 a participação percentual dos automóveis movidos a álcool na produção brasileira total de automóveis atingiu seu pico e variou entre 73% e 76%.

Registra-se que, de 1975 a 2000, o Proálcool impulsionou a produção de cerca de 6 milhões de veículos movidos exclusivamente a álcool hidratado. O Programa também viabilizou a substituição da gasolina consumida por álcool anidro, em até 25%, evitando, assim, que fossem emitidas para a atmosfera cerca de 400 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, aliviando o país da necessidade de importação de cerca de 550 milhões de barris de petróleo, o que se traduziu em uma economia de divisas da ordem de 11,5 bilhões de dólares.

Os anos 1980/90 foram marcados por significativas mudanças no contexto macroeconômico mundial. Nas duas décadas precedentes foi assinalado um avanço inflacionário nos países desenvolvidos, enquanto que anos 1980 verificou-se uma pesada elevações nas taxas de juros no mercado externo implicando em uma sangria de capital, o que dificultava a atração de recursos internacionais e, por consequência pressionava ainda mais a inflação.

A ascensão dos processos inflacionários faz com que os custos de ampliação do parque gerador nos moldes até então estabelecidos fossem materializado a custos crescentes, e uma vez que o setor energético passou a ser usado como instrumentos de auxílio ao controle inflacionário, muito pouco do crescimento dos custos podiam ser repassado às tarifas o que, por consequência, fez com que a tarifa praticada se distanciasse dos valores reais devidos. Esse impedimento de repasse de custos passou a inviabilizar a expansão do parque gerador através de grandes empreendimentos,

rompendo sobremaneira a trajetória expansionista do setor elétrico verificada até aquela data.

Um outro fato que corroborou para a crise no paradigma expansionista das tecnologias térmicas e hidroelétricas no mundo é creditado a uma forte retração na demanda nos países desenvolvidos, uma vez que este bloco de países dava mostra de já terem alcançado o ápice de suas crescentes taxas de expansão econômica desencadeada no pós-guerra, bem como pela suas intensidades energéticas apresentarem-se em queda, seja pela adoção de programas de conservação de energia, seja por modificações na sua base produtiva, a exemplo da expansão do setor de serviço e tecnologias da informação.

### **2.3.3 As Demandas Ambientais**

Ao longo da história, a humanidade tem selecionado seus sistemas energéticos em função de dois parâmetros fundamentais: Disponibilidade Técnica e Viabilidade Econômica. A partir dos anos 1970, uma outra variável, que condiciona o apoio ou descrédito de qualquer sistema energético, tem sido incorporada: Os Impactos Ambientais que seu uso possa acarretar.

A capacidade de influência das variáveis ambientais no processo de tomada de decisão varia de importância com o grau de desenvolvimento político-sócio-econômico de cada país. No entanto, as pressões internacionais orientadas à adoção de parâmetros ambientais no processo de desenvolvimentos de regiões sócio-economicamente menos favorecidas, tem condicionado a uniformização do debate em torno das questões relacionadas aos impactos ambientais do desenvolvimento econômico, como uma espécie de pensamento único onde nenhum Estado Nacional possa se ausentar.

A recente cautela internacional posta sobre as pressões que o desenvolvimento econômico exerce sobre o meio ambiente, bem como a manifesta necessidades de preocupar-se em controlar estes efeitos, no sentido de resguardar no médio e longo prazo, a sustentabilidade do entorno, tem no âmbito da produção de energia seu foco de maior atenção.

A redobrada evidência dada ao setor energético no que se relaciona às repercussões de sua expansão através das tecnologias convencionais é, na atualidade, perfeitamente justificável, uma vez que o uso final dos diferentes produtos energéticos

ofertados no mercado está fortemente relacionado aos setores condutores da economia, indústria, transporte, serviços e setor residencial.

À expansão econômica importa, portanto, o desenvolvimento destes setores da economia, que por sua vez urge de um sistema de abastecimento energético de fácil acesso e de elevado nível de segurança em seu aprovisionamento. Recai então sobre o funcionamento deste sistema, fortemente dependente do aproveitamento dos recursos energéticos primários não renováveis, e como tal passível de um progressivo esgotamento, o peso maior na lista de impactos ambientais de indubitável importância socioeconômica (IDAE, 2000).

Neste cenário, vêm sendo estruturadas sobre o modelo de regulamentação da expansão do setor elétrico inúmeras restrições de caráter ambiental, já que este setor participa significativamente da estrutura de produção e consumo mundial de energia, bem como por tratar-se de um setor em expansão que tem sido o alvo maior do processo de abertura de mercado estabelecido nos anos 1980.

Ao considerarmos o processo de liberalização dos mercados, o debate em torno dos impactos ambientais promovidos pelo setor elétrico se amplia em relevância. Este ganho de importância resulta do fato de que o processo de abertura de mercado em curso é guiado pela lógica estrita do mercado, que por sua vez orienta o estabelecimento de uma maior competição entre seus atores, incluindo, portanto, como atrativo, a promessa de redução dos custos de aquisição por parte do consumidor. Por outro lado à adoção de regulamentações mais severas nesse ambiente competitivo, no que tange a segurança do aprovisionamento elétrico e suas repercussões sobre o meio ambiente, tem conferido um significativo aumento nos custos de toda a cadeia elétrica.

Na atualidade, as restrições ambientais postas ao modelo convencional de expansão do setor elétrico estão adquirindo peso crescente, e em diversas situações configuram-se em um parâmetro determinante ao se avaliar e comparar as opções entre distintas fontes e tecnologias que devem conformar o modelo de expansão do setor elétrico em diversas regiões econômicas do mundo.

## 2.4 Instrumentos Normativos e Institucionais Promotores da Tecnologia Eólio-elétrica

Uma condição indispensável para o desenvolvimento de qualquer sociedade moderna é a existência de um sistema energético que possa garantir o abastecimento regular de energia requerida, bem como a expansão de sua oferta, baseado em recursos abundantes, que possam ser obtidos a custos racionais, que sejam de fácil transporte e que possuam suficiente qualidade, uma vez que os consumos dos diferentes produtos energéticos encontram-se estreitamente vinculados aos setores chaves da economia, a exemplo do setor industrial, de serviços, transporte e residencial.

As fontes renováveis de energia têm como campo de materialização um mercado energético ditado através das condicionantes impostas pelo mercado mundial dos combustíveis fósseis. Tal mercado estruturou-se de forma distorcida, uma vez que a formação de preços para tais combustíveis não reflete todos os custos presentes. Estas distorções advêm do fato de que os custos externos associados ao uso dos combustíveis fósseis não são internalizados no preço final dos combustíveis. Estes custos incluem os impactos ambientais, impactos sobre a saúde da população, impactos sobre as culturas, bem como as interferências nos arranjos sociais atribuídos à cadeia energética dos combustíveis fósseis.

Portanto, para a viabilização do fomento da expansão do aproveitamento do potencial nacional de recursos renováveis é imperativo uma flexibilização da lógica estrita própria do termo “mercado”, devendo as questões dos custos serem discutidas de forma mais ampla e detalhada para permitir que se aprofunde o estudo *visando a avaliar quais reflexos - a montante e a jusante - da expansão das fontes renováveis* (GUERRA, 2002). Com essa preocupação, a Comissão Europeia em seu livro verde orienta: “*É preciso evitar que a procura de rentabilidade imediata do investimento em um mercado aberto se faça em detrimento do investimento em setores de utilização intensiva em capital ou cuja rentabilidade não é necessariamente assegurada a curto prazo, como é o caso das energias renováveis*” (CE, 2001).

Nestes termos, as fontes renováveis de energia apresentam-se com uma alternativa factível na busca pela estabilidade da provisão de energia elétrica para Estados Nacionais. O racional desenvolvimento da utilização das reservas nacionais de energia renovável depende de pesados esforços políticos e econômicos, seja sob a

participação direta do Estado, através de instrumentos normativos e institucionais, bem como pela adoção, por parte do setor produtivo, de ações que saltem a lógica, historicamente determinada, que conduz o planejamento da expansão do setor elétrico via combustíveis não renováveis em detrimento do aproveitamento das reservas nacionais de recursos renováveis, garantindo, dessa forma a sustentabilidade do mercado de Energias Renováveis.

Múltiplos instrumentos normativos e arranjos institucionais têm sido estruturados em diversas regiões do mundo, objetivando o desenvolvimento e a afirmação de um estável mercado de energia eólica, uma vez que há um consenso internacional de que tal tecnologia encontra-se em um estágio de pouca competitividade com as tecnologias convencionais de geração de eletricidade, face aos seus custos de produção relativamente elevados, quando comparados os mesmos custos apresentados pelas tecnologias convencionais.

## **2.5 Distorções de Mercado: Necessidade de Mecanismos de Suporte a Promoção da Tecnologia de Uso da Energia Eólica**

Como já referido anteriormente, ao longo da história a humanidade tem apontado suas escolhas energéticas em função de dois parâmetros fundamentais: Disponibilidade Técnica e Viabilidade Econômica. Muito recentemente uma outra variável que condiciona o aval ou o oferecimento explícito de uma forte resistência a qualquer alternativa energética, tem sido incorporada: os Impactos Ambientais que seu uso possa ocasionar. Tais parâmetros estabelecem os contornos a serem assumidos por uma determinada tecnologia de produção e uso em suas dimensões: física; tecnológica; econômica; política; institucional e ambiental.

No que concerne à tecnologia eólio-elétrica, as condicionantes tecnológicas, resultado dos pesados investimentos em pesquisa e desenvolvimento levados a cabo pelos Estados Nacionais na adoção desta tecnologia, e as implicações sobre o meio ambiental, mostram-se bastante atrativas, permitindo-se afirmar que a ampliação dos aproveitamentos dos recursos eólicos não apresenta limitantes de cunho tecnológico, bem como sobre seus impactos sobre o meio ambiente, estes resultam sempre em um balanço positivo.

No entanto, as condicionantes históricas que vêm pautando o planejamento da expansão do setor elétrico trazem no cerne o distanciamento deste com a forma de encontrar soluções para os problemas da sociedade, direcionada à superação das satisfações quantitativas e qualitativas presentes nos reclames sociais bem como o estabelecimento de uma equidade quanto aos benefícios promovidos pelo uso da energia, uma vez que o mesmo pauta-se estritamente pelas regras de mercado.

Segundo GUERRA (p.92, 2002), para se ter uma compreensão clara e definida desta contradição “*valeria a pena somente a antogênese do problema, que a falha maior prende-se a assunção total e incontida do chavão mercado*”. Uma vez que os custos de produção da tecnologia eólio-elétrica são relativamente altos, a visão rigorosa de mercado não permite que esta possa competir comercialmente, em iguais condições, em um ambiente onde predomina a participação de tecnologias maduras tais como hidroelétricas, plantas termométricas de ciclo combinado a gás natural, unidades eletro-nuclear, entre outras.

Dessa forma, a ampliação da participação da energia eólica, bem como de qualquer fonte renovável, mantém-se atada às avaliações intrínsecas ao termo “mercado”. Nesse sentido, GUERRA (p.93, 2002) ressalta:

*tal palavra (mercado) tomou um caráter revolucionário ao se transformar em algo corpóreo, vivo, ao fazer parte do cotidiano da sociedade, deixando de ser meramente explicativo, conceituador. Isso passou a ocorrer ao se referir a elaborados esquemas de Project Finance, cujo objetivo máximo é rentabilizar os recursos disponibilizados para uma atividade concorrencial e competitiva, ao precificar bens de consumo imediato por intermédio de tarifas e preços que remunerem rápida e eficazmente os agentes investidores, disponibilizando retornos confiáveis.*

*Ao encontro de tais tarifas e preços somente podem ir aqueles mecanismos que superem toda e qualquer lógica de formação que não os incorridos para o alcance de lucros previamente acordados em sofisticadas elaborações daquilo que já foi chamado de Taxa Interna de Retorno – TIR.*

Importa considerar que os obstáculos à uma maior penetração das tecnologias renováveis têm sua origem na formação estrutural do sistema socioeconômico resultante da centralização da produção de energia com base nas tecnologias convencionais (carvão, petróleo, gás natural e energia nuclear) de forma mais evidente na estrutura mundial de geração de eletricidade (CE, 2001).

Historicamente os Estados Nacionais serviram de esteio ao desenvolvimento dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de eletricidade. Estes eram os únicos entes capazes de estabelecer as necessárias intervenções nas atividades econômicas, através de normas e leis, bem como viabilizar os aportes financeiros, através de pesados investimentos, para a produção e atuar na operação e distribuição através de empréstimos e subsídios de forma direta e indireta objetivando garantir a universal disponibilidade deste energético a preços factíveis.

O resultado foi a formação de um mercado elétrico predominantemente dependente dos combustíveis fósseis, sob o qual a tecnologia eólico-elétrica não pode ainda competir sem que se garanta, mais uma vez, a participação do Estado como agente capaz de equacionar os diversos interesses da sociedade no que se refere a garantia de um abastecimento elétrico sobre uma base sustentável de recursos, na qual a dependência dos combustíveis fósseis se reduz, aliviando-se assim a diversas implicações socioeconômica e ambientais às quais os Estados dependentes das tecnologias convencionais de produção de eletricidade se acham submetidos.

O mercado de eletricidade no qual a tecnologia eólico-elétrica deve estar estruturada a competir apresenta distorções uma vez que os preços determinados para os combustíveis, quando de origem fóssil, e para a eletricidade gerada não refletem todos os custos presentes na cadeia. Esta distorção em muito se amplia quando se considera o fato de que os custos externos associados com a exploração, transporte e uso dos combustíveis fósseis não são internalizados quando da formação do preço do combustível. Estes custos incluem os impactos ambientais, impactos sobre a saúde coletiva e individual e as interferências nos arranjos sociais atribuídos à cadeia energética dos combustíveis fósseis bem como às outras tecnologias denominadas convencionais, a exemplo das grandes hidroelétricas e usinas nucleares que também não internalizam seus custos sócio-ambientais (FITZGERALD, 2000).

A recente experiência de liberalização do mercado de energia elétrica conduzida sob a égide da promoção de ganhos para o consumidor final, seja na qualidade da energia fornecida, redução dos preços finais e o oferecimento de novos serviços vinculados ao abastecimento de energia, deu forma a um cenário no qual os empreendimentos já amortizados, unidades desenvolvidas antes da abertura de mercado, não computam seus custos ambientais passados e futuros, competem de forma



desequilibrada com novas tecnologias que usam recursos renováveis de energia e tem no apelo ambiental a justificativa de sua assunção (WELKE, 2002).

No contexto dos mercados liberalizados, agentes de mercado estabelecidos a mais de um século disputam mercado com novos produtores independentes que lançam mão de uma tecnologia limpa, com atuação descentralizada, mas que, no entanto, não tem amortecido seus investimentos, bem como não encontram eco que contabilize os ganhos ambientais por estes promovido (WELKE, 2002).

A alternativa encontrada pela União Européia para as distorções presentes no mercado liberalizado, frente à entrada das tecnologias renováveis foi o estabelecimento de instrumentos normativos e institucionais que viabilizem a sustentabilidade dos mercados competitivos e que no entanto, afiance o desenvolvimento das tecnologias renováveis.

Nestes termos a Comissão Européia mostra que as energias renováveis oferecem um considerável potencial a ser incorporado à matriz energética do continente como forma de reforçar a segurança de seu aprovisionamento energético e explicita que o desenvolvimento da sua utilização encontra-se dependente do estabelecimento de efetivos esforços políticos e intervenções econômicas. A Comissão entende que

*a médio prazo as energias renováveis são a única fonte de energia sobre a qual a União Européia dispõe de certa margem de manobra para aumentar a oferta nas atuais circunstâncias. A União não se pode dar ao luxo de negligenciar esta forma de energia (CO, p.43, 2001).*

O alcance dos objetivos assumidos pela Comissão Européia de duplicar a participação das energias renováveis no seu consumo global, saltando de 6% em 1997 para 12% em 2010, como uma estratégia de segurança no aprovisionamento energético e promoção do desenvolvimento sustentável, exige “*um grande esforço: os investimentos necessários para atingir estes objetivos foram calculados pela Comissão em 165 Bilhões de euros entre 1997 e 2010*” (CO, p.43, 2001).

A meta de produção de energia elétrica advinda das fontes renováveis, presente na proposta relativa à eletricidade apresentada pela Comissão Européia é bastante ambiciosa. O documento estabelece que o total de geração de eletricidade perfaça a participação de 24% de eletricidade advinda de recursos renováveis ‘verde’ em 2010, contra os atuais valores de participação que atinge 12%. A busca pelo alcance deste

objetivo requer um empenho ainda mais importante uma vez que “*são no momento praticamente nulas as possibilidades de expansão da energia hidroelétrica, que representa um terço das energias renováveis, dada a forte resistência, a nível local, ao equipamento de novos sítios exploráveis (CO, p.45, 2001).*”

Estas condicionantes restringem as possibilidades do aproveitamento dos recursos hidroelétricos a Pequenas Centrais Hidroelétricas – PCH. Dessa forma, concentra-se nas outras tecnologias renováveis, especialmente sobre a tecnologia eólio-elétrica, devido a seu estágio de desenvolvimento tecnológico e condições de atratividade financeira, o fornecimento da quase totalidade do aumento necessário planejado para a participação dessa alternativa energética.

A Comissão Europeia (CO, p.45, 2001) reconhece que a principal barreira à expansão da energia eólica é de caráter financeiro e afirma:

*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 e gás — a uma forma de contribuição para o desenvolvimento das energias renováveis. Poderia imaginar-se, por exemplo, uma taxa parafiscal para financiar um fundo regional ou nacional destinado aos necessários investimentos iniciais. Além disso, várias fontes de energia renováveis poderão, até que possam atingir um nível de rentabilidade, ter necessidade de auxílios ao funcionamento durante períodos relativamente longos. Atualmente, esta contribuição já se encontra instaurada em alguns Estados-Membros, quer através de tarifas fixas para as energias renováveis, quer da obrigação de compra de certificados verdes, ou ainda através do lançamento de concursos para a criação de determinadas capacidades.*

As proposições da Comissão Europeia conformam-se com as demais práticas e intenções correntes em outras regiões do mundo no que se refere à promoção das energias renováveis. Ao afirmar que “*as barreiras à penetração das tecnologias renováveis são um problema a ser resolvido no âmbito do estabelecimento de subsídios e da regulamentação de caráter nacional, regional e local (CO, p.45, 2001)*”, a comissão soma força aos reclames dos centros de pesquisas, organizações não governamentais, órgãos ambientais, setor produtivo e demais atores envolvidos com o

desenvolvimento e promoção das fontes renováveis e do denominado desenvolvimento sustentável. Tais intervenções, segundo a Comissão (CO, p.47, 2001):

*devem estar inseridas em um leque de decisões, que vão desde as medidas fiscais drásticas a favor das energias renováveis, ou das obrigações de compra pelos produtores e distribuidores de eletricidade de uma percentagem mínima de eletricidade produzida a partir de energias renováveis, até aos auxílios à investigação ou ao financiamento (bonificação de juros, fundo de garantia e taxaço sobre as outras fontes de energia). Certas energias renováveis deveriam beneficiar-se de um auxílio que lhes permita atingir mercados comparáveis aos das energias convencionais, no quadro das disposições comunitárias em matéria de concorrência.*

Nos Estados Unidos, um dos primeiros países a investir na tecnologia eólio-elétrica, o governo Federal foi o grande responsável pelo aporte de recursos para a pesquisa e desenvolvimento do mercado eólico, tendo iniciado a sua intervenção no período imediatamente posterior a superação, naquele contexto histórico, da denominada ‘crise do petróleo’ de 1973. Apesar da velocidade com que foi implantado e dos resultados apresentados, o programa americano não se mostrou eficaz. Este resultado é creditado as interferências de ordem política e principalmente devido à forma apressada com que foi retirado o apoio financeiro dado ao programa, antes mesmo que as condições de sustentabilidade frente ao mercado, fossem alcançadas.

Na atualidade o programa eólico americano centra-se na articulação mais estreita entre os benefícios ambientais possíveis de serem obtidos via expansão da tecnologia eólio-elétrica e a racionalidade do necessário aporte institucional e financeiro por parte dos agentes de mercado (WISER, 1998).

No restante do Mundo, em especial em regiões na qual se registra a existência de recursos eólicos, viáveis sob a ótica técnica e da leitura econômica vigente, a exemplo da China, Índia e Brasil, diversos arranjos institucionais, visando expandir comercialmente a tecnologia eólica tem sido regulamentados.

## **2.6 Mecanismos de Suporte para Promoção das Energias Renováveis**

Um variado número de instrumentos legais que objetivam a expansão da participação das tecnologias de energias renováveis no mercado mundial de produção

de eletricidade vem sendo fomentado ao longo das duas últimas décadas. Muitos países, a partir de suas particularidades, apresentam instrumentos alternativos dentro do debate político que conduz as reformas implementadas em seu setor elétrico.

O conjunto de instrumentos políticos que vem sendo adotado orienta-se na ampliação da participação das energias renováveis dentro do volume de eletricidade ofertado no mercado de energia elétrica, e pode ser classificado em dois tipos: os denominados **instrumentos legislativos** e os **não legislativos**. Os instrumentos legislativos se referem às intervenções conduzidas diretamente pelas instituições e/ou autoridades representantes do poder estatal. Já os instrumentos não legislativos têm a sua condução promovida por qualquer ator que mostre interesse em desenvolver o mercado futuro dessas tecnologias.

Dentro das intervenções não legislativas, podem ser incluídas as ações de comercialização da chamada '**energia verde**' gerida pelos agentes de mercado (geradores e distribuidores), por exemplo, através do incentivo à conversão de plantas convencionais de geração por unidades ambientalmente amigáveis. Nestes arranjos as empresas oferecem energia elétrica a partir de fontes renováveis e em troca recebem uma bonificação embutida na denominada 'tarifa verde', esta, paga voluntariamente pelo consumidor que fez opção por este tipo de fornecimento (ESPEY, 2001). Os agentes de mercado também podem definir metas de alavancagem das tecnologias renováveis e adotá-las como sendo obrigatória a sua implementação.

Para NASCIMENTO (2002), este tipo de mecanismo transcende o plano do convencimento do consumidor e/ou agente de produção e distribuição "*pressupõe liberdade de escolha: Energia Tradicional & Energia Verde. Apresenta diversidade na construção e na implicação financeira entre os agentes não exigindo obrigatoriedade financeira entre eles*". Este mecanismo permite, portanto, a redução de danos ambientais, promovido pelo setor de produção de eletricidade sem que se interfira no preço da *commodity* energia.

Existem ainda inúmeras medidas de apoio não financeiro promovidas por agentes representantes do Estado, setor produtivo, organizações não governamentais, entre outras, que podem contribuir para o alcance dos objetivos traçados nas políticas de incentivo às fontes renováveis. Tais medidas têm caráter predominantemente informativo e administrativo, incluindo ações de assessoramento aos investidores, mapeamento dos recursos existentes, promoção de campanhas publicitárias para

divulgação das tecnologias e seus benefícios, bem como o aprimoramento dos processos administrativos de avaliação e aprovação de projeto (ENZENBERGER, 2002).

Os instrumentos legislativos de incentivos estão concentrados nas ações sobre a demanda e instrumentos de controle (**instrumentos regulatórios**), bem como instrumentos de base de mercado (**instrumentos econômicos**). Os instrumentos de controle condicionam a atuação dos agentes de mercado através de leis e normas, objetivando enquadrar as ações dos mesmos aos padrões socioeconômicos e ambientais definidos pela sociedade através de seus representantes legais: o Estado.

A adoção de limites nos volumes anuais de emissões de CO<sub>2</sub>, ou outros gases intensificadores do efeito estufa, a adoção de regras mais firmes no que concerne às especificações e funcionamento das plantas de geração, bem como a adoção de programas de interrupção gradual do funcionamento das unidades eletrônicas, exemplificam, muito significativamente, o uso dos instrumentos de controle adotados no setor energético ao redor do mundo.

A adoção de instrumentos econômicos visa interferir diretamente na estrutura de funcionamento do sistema econômico, impondo normas aos agentes de mercado, orientadas a obtenção de resultados previamente pautados, os quais são tomados como ideal ao ordenamento saudável da atividade econômica. Os instrumentos econômicos são utilizados de diversas formas, como por exemplo, através da introdução de impostos, ou de outras taxas, bem como pela concessão de algum tipo de suporte financeiro.

Dentro dos instrumentos de política de promoção das tecnologias renováveis de produção de energia o conjunto de instrumentos econômicos tem-se mostrado como os mais importantes, e estão divididos entre os orientados à promoção do aumento da oferta pela **regulação de preço** ou por **adoção de cotas**.

O pressuposto básico para a determinação das diferenças entre estes mecanismos reside na forma que tais instrumentos influenciam, modificando ou até mesmo eliminando, certos comportamentos de mercado. Os instrumentos de regulação de preços atuam no mercado estabelecendo tarifas de compra de energia 'verde' às concessionárias ou pela absorção dos custos de produção. Exemplos típicos de intervenção por regulação de preço são os mecanismos de **remuneração por alimentação da rede** - *feed-in tariffs*, **investimentos subsidiados** e adoção de

determinadas **vantagens tributárias**. Uma característica básica dos mecanismos de remuneração por alimentação da rede é o fato de que o incremento de novas unidades de produção, bem como o volume de ‘energia verde’ gerada, resulta do livre funcionamento do mercado e não pode ser previamente definido (ENZENSBERGER, 2002).

No modelo de adoção de cotas é fixada uma determinada demanda de ‘energia verde’ a qual os agentes de mercado são obrigados a comprovar o cumprimento dos percentuais a eles determinados. Nestes modelos, o preço de mercado para ‘eletricidade verde’ é uma variável sujeita aos mecanismos de mercado.

Os instrumentos de regulação de preços podem, por sua vez, ser agrupados em **incentivos a novos investimentos e incentivos à produção**. Os incentivos a novos investimentos contemplam os subsídios diretos, vantagens tributárias, depreciação acelerada, e podem contribuir fortemente para a materialização de um número significativo de novas plantas de geração. Vale ressaltar que uma forte concentração no aumento da capacidade instalada em energia renovável pode vir a contribuir para adoção de empreendimentos pouco eficientes. Por outro lado os incentivos à produção, visam o desenvolvimento de projetos reconhecidamente eficientes, indo ao encontro de uma maior produção de “energia verde”, face ao suporte de capital envolvido.

A **Remuneração por Alimentação da Rede - Feed-in tariffs** tem se tornado um dos instrumentos de maior utilização dentro dos esquemas de promoção das tecnologias renováveis, sendo o mesmo considerado o principal responsável pela rápida expansão dos aproveitamentos dos recursos renováveis na Europa, nomeadamente a tecnologia eólio-elétrica, a exemplo da Espanha, Alemanha e Dinamarca.

A base deste mecanismo reside na obrigatoriedade da compra de energia produzida a partir de fontes renováveis. Nesse contexto as empresas concessionárias de energia se encontram obrigadas, por força de lei, a adquirir sob um preço determinado, a energia produzida pelas empresas de geração que fazem uso de fontes renováveis e disponibilizar esta energia ao consumidor final. A determinação do valor destas tarifas pode feita através de uma porcentagem da tarifa paga pelo setor residencial (antigo modelo Alemão definido na Lei de Alimentação de Rede – German Electricity-Feed-Law), como um valor absoluto definido em função dos custos de cada tecnologia (nova Lei Alemã de promoção das fontes Renováveis em vigor desde o ano de 2000 – German

Renewable-Energy-Act) ou por intermédio dos custos de geração evitados pelo não uso de fontes convencionais (ENZENSBERGER, 2002), (WELK,2002) (MEYER, 2003).

O **Sistema de Oferta – Tender system**, apresenta-se com uma versão modificada do modelo de Remuneração por Alimentação da Rede - *Feed-in tariff*. Neste, é feita uma licitação para projetos de fornecimento de energia, a partir de fontes renováveis, para contratos de longo prazo, na qual são determinadas cotas de participação de cada tecnologia. Os vencedores são selecionados a partir do planejamento apresentado para seus referidos custos e recebem a garantia de um preço fixo por kWh ofertado durante toda extensão do contrato. O preço de comercialização da energia, proveniente de cada tecnologia, é fixado tomando como referência os custos do último licitante selecionado (MEYER, 2003).

Já no **Sistema de Cotas - Renewable Portfolio Standards – RPS** uma determinada contribuição percentual de participação das tecnologias renováveis na produção de eletricidade é estabelecida pelos agentes do Governo, através de mecanismos legais. Estas condicionantes obrigam que as empresas distribuidoras de eletricidade ou outro ator reconhecido na cadeia elétrica se responsabilizem pelo alcance das metas estabelecidas.

Os produtores recebem um certificado denominado “verde” – *Green certificates*, correspondente a quantidade de eletricidade gerada a partir de recursos renováveis. Para garantir uma determinada flexibilidade ao Sistema de Cotas, de maneira a favorecer que os objetivos traçados sejam de fato atingidos, este arranjo pode vir combinado com um **sistema de comercialização de certificados** de ‘eletricidade verde’ – *Certificates trading model*. Os créditos gerados por esses certificados devem refletir os benefícios ambientais promovidos pela “eletricidade verde” e uma vez negociados, geram uma renda adicional e também comprovam o cumprimento da cota estabelecida.

Os agentes de mercado uma vez que são forçados a cumprirem uma cota determinada de energia renovável, podem optar pela construção de suas próprias plantas de geração e daí receberem seus certificados por energia produzida, podem comprar energia verde das plantas dos produtores independentes e adicionar essa energia aos seus certificados ou comprar certificados sem que adquira fisicamente a energia gerada financiando assim, a implementação de novas unidades de produção de energia renovável em outro lugar (ENZENSBERGER, 2002), (ESPEY, 2001).

Como forma de não penalizar as empresas distribuidoras com elevados custos é estabelecido um fundo que possibilite cobrir as diferenças entre o preço médio de produção e o preço estabelecido no contrato para cada tecnologia renovável. A formação desse fundo pode ter diversas origens: recursos da união, impostos sobre a energia, realinhamento de tarifas, entre outros (WELKE, 2002).

Neste sistema se faz necessária a licitação dos projetos candidatos a suprirem as demandas estabelecidas nas cotas. O critério fundamental de seleção dos candidatos é o valor do kWh gerado.

*Dois processos são possíveis: ou são escolhidos todos os projetos que oferecem um preço abaixo de um certo patamar estabelecido, ou os ofertantes com melhores ofertas recebem um acréscimo de forma gradual, até que a quantidade máxima estabelecida pelo orçamento da rodada de licitação seja alcançada (WELKE, 2002).*

Já a remuneração da energia comercializada toma como referência o preço ofertado ou um preço obtido pela média de todos os preços ofertados pelos investidores selecionados.

O objetivo da **Comercialização de Certificados – Certificates Trading Model** (certificados de ‘energia verde’) é estabelecer condições de competitividade às tecnologias renováveis no mercado de energia elétrica. Os certificados verdes foram inicialmente introduzidos sob forma voluntária de adesão, permitindo que os produtores de ‘eletricidade verde’ fossem compensados pela diferença de tarifa entre a eletricidade convencional e a advinda de recursos renováveis. Este esquema está centrado nas escolhas voluntárias do consumidor, que opta por uma tarifa superior em troca da garantia de estar promovendo a geração ‘limpa’ de eletricidade.

Segundo MEYER (2003):

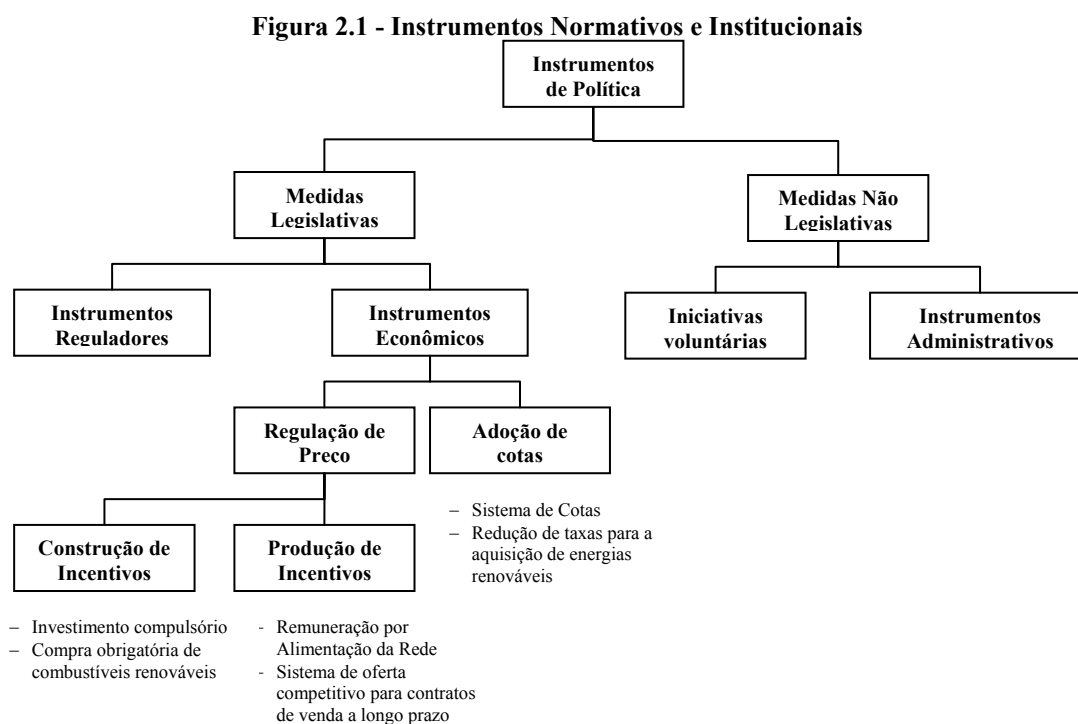
*Um dos problemas enfrentados quanto ao estabelecimento de um mercado de certificados verdes refere-se ao nível desigual de competição entre tecnologias renováveis que se encontram em diferentes fases de desenvolvimento. Se um mercado de livre competição entre diferentes tecnologias renováveis fosse criado hoje, a energia eólica provavelmente varreria as outras tecnologias do mercado. A energia solar não teria chance, enquanto a biomassa e os pequenos aproveitamentos hidroelétricos poderiam ser competitivos em casos específicos. Tal uma situação de mercado, no longo prazo, não pôde ser considerada ótima para a promoção do potencial de energia renovável. Uma possível solução é reservar o “mercado verde” para as tecnologias renováveis maduras e*



*promover as outras tecnologias por uma cota dentro de um sistema de oferta* (MEYER, 2003).

A comercialização de certificados de energia verde dentro de um sistema de cotas, faz com que os preços destes sofram significativas flutuações. Em momentos de falta de oferta de energia renovável os preços dos certificados alcançam níveis bem elevados, por outro lado estes preços caem em situação de excesso. O que se estabelece é uma grande incerteza quanto aos preços dos certificados tornando os riscos presentes ainda maiores, o que, por consequência, afasta os investimentos nas tecnologias renováveis (MEYER, 2003).

A figura 2.1 apresenta uma visão geral dos principais Instrumentos Normativos e Institucionais usados na promoção das Tecnologias de uso de recursos renováveis para a produção de energia, anteriormente descritas.



Fonte: ENZENSBERGER, 2002

## 2.7 Remuneração por Alimentação da Rede X Sistema de Cotas

O Sistema de Cotas encontra maior apoio dentro das empresas de eletricidade, e por outro lado o sistema de Remuneração por Alimentação da Rede tem sua defesa feita

pelos produtores independentes e grupos organizados da sociedade. O principal argumento dos defensores do sistema de cota, feito sob a lógica estrita da economia de mercado, recai na aceção de que este sistema tem a capacidade de promover a concorrência entre os grupos geradores, e por consequência o carregamento de maior valor monetário para as energias renováveis. Nesse sentido HVELPLUND (2001) se contrapõe afirmando que pelo debate estabelecido não se verifica a existência de qualquer discussão profunda das consequências que resultam de uma regulação pública que possa dar suporte a tais argumentos.

Neste modelo, os investidores que se apresentam para a licitação executam seu planejamento a partir da garantia de venda de uma determinada quantidade de energia a ser produzida nas bases contratuais definidas pela licitação. Fica como atrativo aos vencedores a perspectiva de apropriação dos lucros que possam ser obtidos pela redução de seus custos dentro do período da vigência de contrato. Por outro lado, se os custos, por fatores que fogem ao controle dos produtores, sofrem pressão de forma a se elevarem, os vencedores da licitação podem declinar do empreendimento, o que pode se materializar em dificuldades para as concessionárias cobrirem suas cotas, implicando por lei em uma penalização financeira sobre forma de multa. Neste contexto é coerente concluir que o modelo de cota não expressa uma real garantia de implementação das cotas de energia renovável licitadas.

O modelo de cotas tem recebido inúmeras críticas dos especialistas do setor, Estes apontam que a “a prática tem mostrado que o Modelo de Cotas contribui de forma menos expressiva para o aumento da geração com fontes renováveis de energia, que o Modelo de Remuneração pela Rede” (WELK, 2002), uma vez que o mesmo restringe a obrigatoriedade de compra ou remuneração apenas para os valores licitados. Essa condicionante limita de modo quantitativo a entrada de novas tecnologias. O fato dá forma a um quadro restritivo ao acesso de outros geradores de energia renovável ao mercado, retraindo os investimentos no aumento da oferta dessa alternativa energética.

É creditada, ao modelo de cota, a incapacidade de gerar incentivos à redução de custos por ampliação da escala de produção de equipamentos, dificultando, dessa forma, o estabelecimento e desenvolvimento de uma indústria nacional de equipamentos de geração de energia renovável e inovações inerentes a este mercado.

O Sistema de Remuneração por Alimentação da Rede, por assentar a garantia de compra de energia sem limite de quantidade e sob uma base de preço alicerçada em

termos seguros, permite aos investidores efetuarem seus planejamentos dentro de uma larga faixa de segurança. A garantia da remuneração favorece também a formação de um mercado, no qual os investidores podem ampliar a escala de produção industrial dos equipamentos, gerando economias de escala que reflete positivamente nos custos de produção por kWh gerado.

O estabelecimento de regras, dentro do Sistema de Remuneração por Alimentação da Rede, que garantam a determinação de diferentes preços, fixados em função do tipo de fonte e seu estágio de desenvolvimento tecnológico e de mercado, favorece a configuração de um modelo onde as tecnologias pouco competitivas possam desenvolver seu potencial de participação e se mostrar viável no médio e longo prazo.

Tendo em vista que os recursos renováveis apresentam características técnicas e de viabilidade econômica variáveis entre regiões, o que pode conformar uma divisão desigual das cargas financeiras geradas pela obrigatoriedade de compra e remuneração da energia por parte das empresas de distribuição. O Sistema de Remuneração por Alimentação da Rede obriga o repasse dos custos gerados pela adição de energia renovável à rede de transmissão entre todos os consumidores finais, dessa forma fica viabilizando, a compensação equânime das possíveis penalidades financeiras atribuída aos agentes concessionários.

Como forma de evitar que determinados empreendimentos se apropriem de uma maior remuneração, devido a suas vantagens locacionais, dentro de uma mesma tecnologia, o Sistema de Remuneração por Alimentação da Rede permite diferenciar os valores de remuneração entre um máximo (para sítios de menor rentabilidade) e um mínimo (locais mais rentáveis), bem como variar seu valor em função do tempo de funcionamento do aproveitamento.

Uma vez que a remuneração garantida por um longo prazo, determinada pelo Sistema de Remuneração por Alimentação da Rede pode configurar uma situação de ineficiência e barreiras à concorrência, o modelo pode ajustar o valor da remuneração em função dos avanços tecnológicos e ganho de mercado. Dessa forma se pode prever uma redução escalonada dos valores da remuneração tomando como base o monitoramento do comportamento do mercado de tecnologias renováveis (WELK, 2002).

Segundo MEYER (2003), as empresas alemãs nunca se mostraram satisfeitas com a adoção do Sistema de Remuneração por Alimentação da Rede, cujo funcionamento se deu no período de 1998 a 2000. Estes reivindicavam a existência de um conflito entre o Sistema Remuneração por Alimentação da Rede e as regras de concorrência e intervenção estatal que regem a União Européia.

Como prova dessa insatisfação tais atores protocolaram uma demanda jurídica com seus protestos junto ao Tribunal Europeu de Justiça com sede em Luxemburgo. Em outubro de 2000 o Defensor Geral daquela corte registrou em seu parecer que o sistema alemão de Remuneração por Alimentação da Rede não se configura em uma forma de ajuda estatal conflitante com a legislação da União Européia. A conclusão a que chegou o tribunal foi concordante com a interpretação do Defensor Geral. Na sentença o Tribunal afirma que o sistema alemão de Remuneração por Alimentação da Rede não pode ser considerado como uma forma ilegal de intervenção do Estado, e, portanto, é perfeitamente aceitável como uma alternativa de promoção da regulamentação do desenvolvimento das tecnologias de energias renováveis (MEYER, 2003), (WELK, 2002), (HVELPLUND, 2001).

O Sistema de Remuneração por Alimentação da Rede se mostrou bastante atrativo na Espanha, Dinamarca e Alemanha, países que juntos responderam por 80% da produção de energia eólica na Europa em 2000. Na Dinamarca modificações na lei de promoção das energias renováveis estabeleceram, no ano de 1999 a introdução do sistema de cotas com horizonte de implementação no ano de 2003. O parlamento Alemão aprovou, no ano 2000, alterações no sistema '*Feed-in tariffs*'. A França optou, em 2001, pela troca de modelo, passando a adotar o sistema de Remuneração por Alimentação da Rede em substituição ao modelo de cotas. Nesse período de configuração dos arranjos de suporte às energias renováveis a Comissão Européia, em especial a comissão de promoção da concorrência esteve empenhada na introdução de sistema de comercialização de certificados de eletricidade 'verde' (HVELPLUND, 2001).

A tabela 2.1 apresenta uma síntese dos resultados obtidos pelos principais países em termos de desenvolvimento da energia eólio-elétrica e de seus modelos de suporte.

**Tabela 2.1 – Capacidade Instalada em Energia Eólica por Sistema de Suporte**

MODELO	PAÍS	CAPACIDADE EÓLIO-ELÉTRICA INSTALADA FINAL DE 2001 [MW]	PARTICIPAÇÃO %	
			Por Sistema	Total
Sistema Remuneração por Alimentação da Rede	Alemanha	8.100	59,16	56,30
	Espanha	3.175	23,19	22,00
	Dinamarca	2.417	17,65	16,86
	Total Sistema	13.692	100	95,16
Sistema de Cotas	Inglaterra	477	68,53	3,31
	Irlanda	132	18,96	0,92
	França	87	12,51	0,61
	Total Sistema	696	100	4,84
	Total Geral	14.388	-	100

Fonte: ACKERMANN, 2002, Windpower Montly, Industry Magazine

Frente aos resultados apresentados pelos países que adotaram o Sistema de Remuneração por Alimentação da Rede, bem como pela interpretação jurídica dado a esse mesmo sistema HVELPLUND (2001, p.7) conclui:

*Devido à continuidade de uso na Alemanha, Espanha, e a sua introdução na França, bem como a nova diretiva da União Européia, e a Decisão do Tribunal Europeu em março (13/2001), o Sistema de Remuneração por Alimentação da Rede se tornou um real candidato ao título de modelo de suporte das energias renováveis na União Européia. Esta conclusão é reforçada pelas dificuldades de implementação enfrentadas pela proposta de adoção do modelo de cota apresentado pelo governo dinamarquês.*

*O modelo de cotas já não é o futuro da estrutura de regulamentação da União Européia. Outras possibilidades devem ser examinadas.*

Mais importante do que a escolha de um sistema de suporte é o adequado projeto e monitoramento do mesmo no que se refere a funcionalidade, estabilidade e garantia de continuidade da política de suporte (HAAS, 2004). Independente do arranjo que se adote para a promoção das energias renováveis, este deve considerar, em primeira ordem, o fato de que todos os mecanismos fazem parte de um extenso encadeamento regulatório no qual, segundo HVELPLUND (2001) precisam ser considerados:

- **Seus objetivos:** Os objetivos devem ser descritos de forma a possibilitar o contínuo ajuste do processo dentro dos diversos parâmetros presentes no funcionamento do modelo. Nele devem estar explícitas as formas de materialização de custos e preços de maneira mais eficiente, uma vez que apenas a formação de um baixo preço para as energias renováveis não se traduz em um sistema sustentável. Também deve-se estar atento ao fato de que o “poder de mercado” pode permitir ao

produtor a obtenção de lucros em excesso, o que requer proposições de ações que reorientem tais atuações.

A eficiência tecnológica deve ser estar incluída nos objetivos, uma vez que a adoção de novas tecnologias de produção de energia pode contribuir para o carreamento de investimento em uma determinada região, contribuindo, dessa forma, para o seu desenvolvimento.

- **Democracia no processo** - O estabelecimento de um processo democrático é sobremaneira importante na dinâmica de adoção das tecnologias renováveis de produção de energia, uma vez que representa a condição básica para o desenvolvimento de uma cultura referenciada no envolvimento e cumplicidade com a concordância voluntária das inovações tecnológicas e estabelecimento de alternativas energéticas para uma determinada região. O processo democrático se sustenta na garantia do acesso à informação e aos recursos quando do desenvolvimento de uma determinada tecnologia.

Nestes termos, cabe ao Estado, a garantia de uma política de transparência de suas ações, bem como a alocação de recursos financeiros para grupos da sociedade civil organizada que apresentarem comprovado interesse, dentro de um certo espaço tecnológico.

- **Cenários Tecnológicos** - Os cenários tecnológicos devem estar descritos, contemplando suas restrições e alternativas, uma vez que, é impossível estabelecer um debate democrático e transparente sem se ter claro as limitantes e o leque de possibilidades técnicas pertinente a uma determinada rota tecnológica. Além disso, se torna sem efeito concreto a discussão de reformas institucionais, sem que se tenha claro às relações intrínsecas existentes entre as possibilidades tecnológicas e as diretrizes postas pelas reformas institucionais no ordenamento dos cenários de desenvolvimento de uma tecnologia.

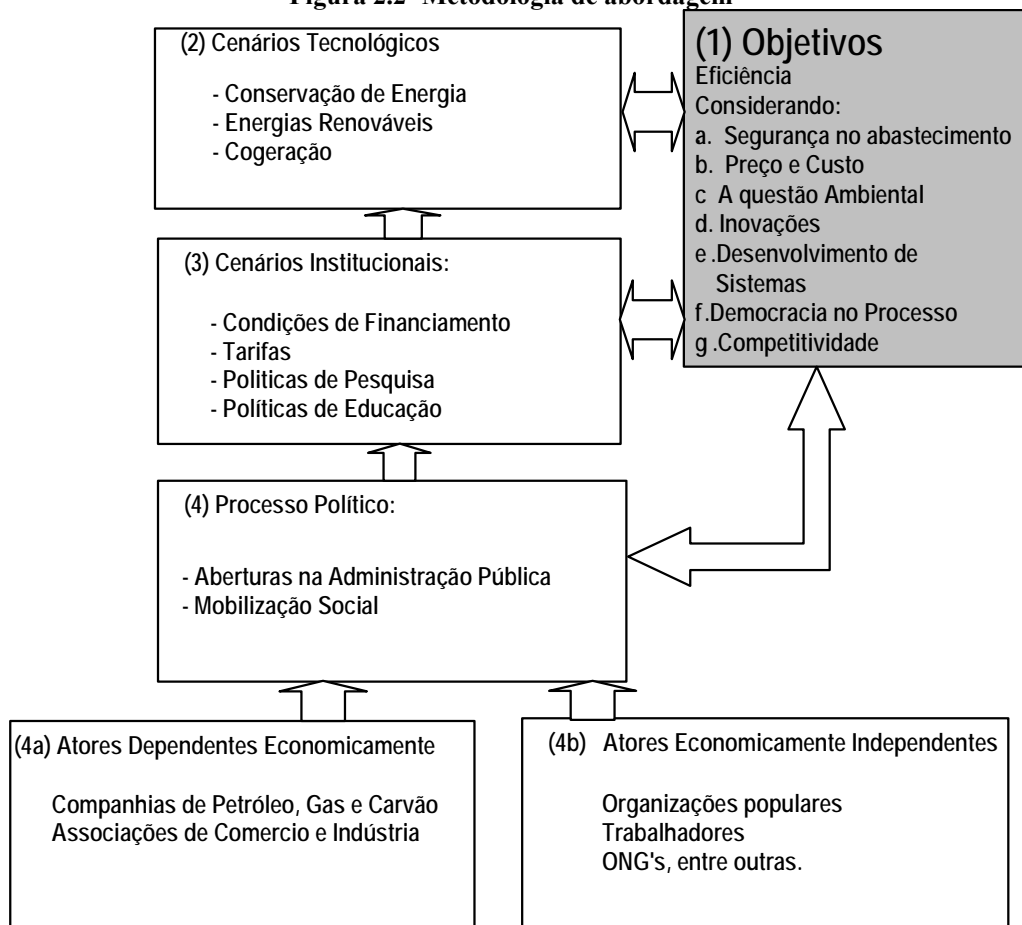
- **Cenários Institucionais** – Devem ser configuradas as diversas alternativas institucionais como forma de promover um franco debate a respeito das variáveis financeiras, educacional, político, administrativa, de fomento a pesquisa, entre outras. Tal conhecimento é de alta relevância, uma vez que as reformas precisam abonar o desenvolvimento e implementação de um espectro específico dentro de um cenário técnico posto.

- **O processo político** – Todas as questões relativas ao processo político que envolvem o desenvolvimento das metas traçadas no plano de adoção das tecnologias renováveis também devem ser descritas. As discussões inerentes às reformas políticas que se orientam na disposição de um efetivo apoio às necessárias mudanças requeridas por um novo pensar tecnológico também urge por estar de forma clara no programa de trabalho proposto pelos entes gestores. Esta discussão ganha maior relevância nos momentos de escolha, desenvolvimento e implementação de novas tecnologias, uma vez que representam um determinado risco, no que se refere às inovações, para os atores que atuam no mercado, em especial as companhias devidamente estabelecidas em seu fazer, dentro do campo em debate.

Este é atualmente o caso vivenciado no mercado energético mundial, no qual nos deparamos com uma situação que impõe uma urgente tomada de decisão, que leve a adoção de novas rotas tecnológicas, incluso aí seus riscos e quebra de paradigmas secularmente enraizados no setor energético. Neste cenário as metas dos poderes legislativos e executivos orientam-se para uma explícita retração de parte do poder político e econômico das grandes companhias, que atuando em bloco agem em todos os campos da sociedade para manter a estrutura da matriz energética mundial em bases dependentes dos combustíveis fósseis.

A figura 2.2 sintetiza a metodologia de abordagem que os mecanismos de suporte às fontes renováveis devem previamente considerar quando de sua configuração (HVELPLUND, 2001).

Figura 2.2- Metodologia de abordagem



Fonte: HVELPLUND, 2001

HVELPLUND (2001) em sua metodologia de abordagem considera também importante o conhecimento de como atuam os grupos **dependentes e não dependentes economicamente** das escolhas feitas pelo modelo de suporte adotado. São considerados grupos economicamente dependentes aqueles que têm interesses diretos, pessoais ou empresariais, em determinadas alternativas a serem adotadas. Estes contemplam normalmente as organizações ligadas às companhias de energia estabelecidas no mercado. Aos grupos economicamente independentes não se credita um interesse pessoal, ou de organização, na busca de benefícios econômicos devido a escolha de uma ou a outra solução. Nestes estão incluídas as organizações populares, dos trabalhadores, ONG's, entre outras.

Esta distinção analítica configura-se em um ponto de relevância quando da necessidade da quebra de paradigma e adoção de radicais mudanças tecnológicas. Nestes termos é previsível que, como conseqüências das novas orientações do mercado de eletricidade, se configure um quadro no qual distintos atores venham ganhar ou perder mercado. O previsível é que diante de um quadro de ampliação do uso dos



recursos renováveis as empresas de base térmica, que fazem uso de combustíveis fósseis e/ou nuclear, venham perder parte de seus mercados para as tecnologias renováveis e de conservação de energia.

## **2.8 Suporte Institucional Brasileiro de Promoção da Energia**

### **Eólica**

O ambiente de flexibilização do mercado de energia elétrica em curso no país e paradoxalmente o endurecimento de uma crise no abastecimento serviram de condutor do aumento de interesse dos investidores em promover ações que viabilizem o aproveitamento do elevado potencial eólico brasileiro. Este fato, adicionado aos apelos ambientais em pauta na agenda mundial, levou o Governo Brasileiro a dar forma a um arcabouço institucional que encoraje o uso de tecnologias renováveis. Apesar da energia eólica vir ganhando destaque dentro do elenco de recursos renováveis possíveis de aproveitamento no Brasil, algumas demandas técnicas, econômicas e institucionais ainda estão por serem definidas. Inúmeras restrições e incentivos são postos na legislação, gerando indefinições que leva os investidores a reclamarem uma garantia na continuidade dos programas de incentivos a expansão dessa tecnologia.

As reais possibilidades de realização de aproveitamentos eólicos com fins comerciais a cargo do setor privado no Brasil encontram amparo legal no artigo 175 da Constituição em seu capítulo que versa sobre o regime de concessão ou permissão de serviços públicos, bem como dos seguintes atos legislativos:

- Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995 - que Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos.
- Lei nº 9.074/1995, de 07 de julho de 1995, regulamentada pelo Decreto 2003, de 10 de outubro de 1996, que estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos;
- Lei nº 9.427 de 26 de dezembro de 1998 que Instituiu a Agência Nacional de Energia Elétrica.

A partir desse conjunto de Leis uma série de outras ferramentas institucionais de caráter legal foram sendo postas no debate, como forma de consolidar o modelo de

mercado imposto ao setor elétrico brasileiro, bem como estabelecer uma política de promoção das fontes renováveis, em especial da energia eólica capaz de efetivar a entrada de investidores nesse mercado.

### **2.8.1 Produtor Independente de Energia, Autoprodutor e Consumidor Livre**

A Lei nº 9.074 de 1995 celebra a criação de um ambiente facilitador a configuração de novos agentes no mercado brasileiro de energia elétrica e, por consequência, a entrada de novas tecnologias e aproveitamento de fontes renováveis de energia. Nela é criada a figura do Produtor independente de energia, definido como:

Artigo II – Considera-se produtor independente de energia a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização do poder concedente, para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco”.

O decreto nº 2003/1996, que regulamenta a referida lei, fixa regras que dá forma à figura do Produtor Independente de Energia, diferenciando este de um novo ator denominado **Autoprodutor de Energia Elétrica**, assim definido em lei:

II – Autoprodutor de Energia Elétrica, a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo.

Por força deste decreto, “objetivando a garantia da utilização e a comercialização da energia produzida”, tanto ao Produtor Independente de Energia quanto ao Autoprodutor passaram a ter garantido “o livre acesso aos sistemas de transmissão e distribuição de concessionários ou permissionários de serviço público de energia elétrica, mediante o ressarcimento do custo de transporte envolvido”.

O referido decreto em seu artigo 23 define quais os possíveis clientes a terem seu abastecimento de energia promovido por um Produtor Independente de Energia:

Art 23 - A venda de Energia Elétrica por Produtor Independente poderá ser feita para:

I - concessionários de serviço público de energia elétrica;

II – consumidor de energia elétrica, nas condições estabelecidas nos artigos 15 e 16 da Lei no 9074/1995;

III – consumidores de energia elétrica integrantes de complexo industrial ou comercial, aos quais forneça vapor ou outro insumo oriundo de processo de cogeração;

IV – conjunto de consumidores de energia elétrica, independentemente de tensão e carga, nas condições previamente ajustadas com o concessionário local de distribuição;

V – qualquer consumidor que demonstre ao poder concedente não ter o concessionário local lhe assegurado o fornecimento no prazo de até 180 dias contado da respectiva solicitação.

Os artigos 15 e 16 da Lei no 9074/1995 tratam da regulamentação das condições necessárias para que um consumidor possa ser considerado “**consumidor livre**”. Este novo ator é definido como aquele consumidor que ao apresentar (na primeira etapa da aplicação da lei) uma carga instalada superior a 10 kW, atendido por uma tensão nunca inferior a 69 kV lhe fica facultado o direito de opção de compra, total ou parcial, de um Produtor Independente de energia elétrica.

A lei estabeleceu que passado um período de três anos os consumidores livres poderão ampliar seu leque de opção de compra também aos concessionários, permissionários ou autorizados de energia elétrica do sistema.

Cinco anos após a publicação da lei passam a ser considerados como consumidores livres todos aqueles consumidores com potencia instalada superior a 3 MW a uma tensão de fornecimento igual ou superior a 69 kV.

Fica definido também que passados oito anos de cumprimento da lei, o poder concedente poderá reduzir os limites de carga e tensão que condiciona o enquadramento como consumidor livre.

## **2.8.2 A Política Energética Nacional**

Em 1996 a lei 9.427, de 26 de dezembro de 1996 cria a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL cuja finalidade se expressa no:

Art 2 – A Agência Nacional de Eletricidade tem por finalidade regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica em conformidade com as políticas e diretrizes do governo federal.

No que se refere a incentivos às fontes renováveis, esta mesma lei, em seu artigo 26, estabelece que “a ANEEL estipulará percentual de redução não inferior a 50%, a ser aplicado aos valores das tarifas de usos dos sistemas elétricos de transmissão e distribuição nos encargos de forma a garantir a competitividade à energia ofertada pelos aproveitamentos” de potencial hidráulico de potência superior a 1000 KW e igual ou inferior a 30.000 KW, destinado a produção independente ou autoprodução, mantidas as características de Pequenas Centrais Hidrelétricas.

Em 1º de outubro de 1999 a resolução nº 281 da ANEEL, em seu artigo 22, deu nova redação a lei 9.427 de 1996, ampliando a isenção desses encargos a outras tecnologias renováveis, a saber:

Art. 22 - Para o aproveitamento de potencial hidráulico de potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, destinado a produção independente ou autoprodução de energia elétrica, mantidas as características de pequena central hidrelétrica, e para os empreendimentos a partir de fontes eólicas e empreendimentos termoelétricos a partir de fonte de biomassa e de cogeração qualificada, cuja capacidade instalada esteja dentro dos referidos limites de potências, a ANEEL estipulará, no ato autorizativo, o percentual de redução de 50% (cinquenta por cento), a ser aplicado às tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição.

A resolução também estabeleceu, em caráter excepcional, a isenção total desses encargos para os empreendimentos que viessem a entrar em operação até o dia 31 de dezembro de 2003.

A Política Energética Nacional foi configurada pela lei nº 9.478, de 06 de agosto de 1997. Nela se pode inferir que as atenções, quanto ao aproveitamento das fontes de energia renováveis, estão materializadas no seu artigo 1º, assim redigido:

Art. 10 - As políticas nacionais para o aproveitamento racional das fontes de energia visarão aos seguintes objetivos:

- I – preservar o interesse nacional;
- II – promover o desenvolvimento, ampliar o mercado de trabalho e valorizar os recursos energéticos
- III – proteger os interesses do consumidor quanto a preço, qualidade e oferta dos produtos
- IV – proteger o meio ambiente e promover a conservação de energia;

VII – identificar as soluções mais adequadas para o suprimento da energia elétrica nas diversas regiões do país,

VIII – utilizar fontes alternativas de energia, mediante o aproveitamento econômico dos insumos disponíveis e das tecnologias aplicáveis.

Ao tomarmos como referência os atrativos postulados para a adoção das tecnologias de geração elétrica a partir de recursos renováveis, é possível afirmar que estes coadunam-se com os objetivos traçados para a política energética nacional. Tais atrativos estão sobremaneira alicerçados nas vantagens ambientais e na possibilidade de diversificação das fontes de energia (em função das vocações locais e regionais), permitindo, por sua dinâmica, criar às condições necessárias a adoção de um modelo descentralizado de geração. A descentralização da matriz de geração elétrica favorece a criação de emprego e geração de renda, o que por sua vez contribui marcadamente para o desenvolvimento regional. A busca desses resultados não está restrita à política energética nacional, mas sim, em tese, de todos os mecanismos de intervenção social alavancados pelo Estado.

### **2.8.3 Conta de Consumo de Combustível – CCC**

A Lei nº 5.899, de 1973, em sua primeira redação, criou a Conta de Consumo de Combustível – CCC, objetivando subsidiar a geração de energia elétrica feita a partir do uso de combustíveis fósseis. O aprimoramento dessa lei em 1993 disciplinou o rateio dos custos de aquisição desses combustíveis entre todas as concessionárias ou autorizadas do país, para garantir os recursos financeiros ao suprimento de energia elétrica a consumidores de localidades isoladas do sistema interligado de geração e distribuição. No entanto, a reforma promovida no setor elétrico, introduzindo as aceções de um mercado concorrencial, as pressões ambientalistas internacionais direcionadas à adoção de práticas sustentáveis de geração de energia elétrica e a imperativa necessidade de promover a apropriação dos benefícios advindos pelo uso da energia elétrica a todos os cidadãos brasileiros, terminaram por induzir a criação de incentivos a uma maior penetração de formas renováveis de geração. Refletindo estas novas abordagens, a Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, estende os benefícios da CCC a todos os empreendimentos de geração de energia elétrica feitos a partir de fontes renováveis com a finalidade de substituir a geração termelétrica advinda de

combustíveis fósseis nos sistemas isolados. O término do rateio da CCC está previsto para o ano de 2013, cabendo, portanto, à ANEEL a obrigação institucional de regulamentar e fiscalizar os projetos candidatos aos recursos da CCC.

Em seu artigo 1º a lei nº 9.648 de 1998 estabeleceu a livre negociação de compra e venda de energia elétrica entre concessionários, permissionários e autorizada, condicionada às restrições definidas no inciso I, alíneas a e b, o qual limita as liberdades dos contratos para o período de 1998 a 2002. A partir do ano de 2003 os montantes de energia e de potência deverão ser contratados com uma redução gradual à razão de 25% do montante referente ao ano de 2002:

Como forma de limitar o repasse dos preços da energia elétrica comprada pelas distribuidoras e permissionárias, para as tarifas de fornecimento aos consumidores finais, dentro das regras determinadas pela lei nº 9.648 de 1998, a ANEEL publicou a resolução nº 266, de 13 de agosto de 1998, estabelecendo a metodologia de cálculo do repasse, criando assim um Valor Normativo – VN, sendo este, segundo DUTRA (2001, p.148) “*o custo de referência para a comparação com o preço de compra da energia e a definição do custo a ser repassado às tarifas de fornecimento*”. A Resolução nº 233, de 29 de julho de 1999, define um valor específico para cada fonte, orientando, dessa forma, o Valor Normativo a ser um dispositivo favorável ao uso de fontes energéticas renováveis de maior custo de produção, permitindo que sejam repassados maiores custos de geração às tarifas, como forma de viabilizar o estabelecimento competitivo dessas fontes.

#### **2.8.4 Programa Emergencial de Energia Eólica - PROEÓLICA**

A Resolução nº 24, de 2001, da Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica<sup>43</sup> - GCE, criou o Programa Emergencial de Energia Eólica - PROEÓLICA, objetivando promover o aproveitamento dessa fonte de energia como alternativa de desenvolvimento energético, econômico, social e ambiental através de ações que pudessem viabilizar, até dezembro de 2003, a implantação de 1.050 MW de geração de energia elétrica a partir da energia eólica, o equivalente a 50 vezes a atual capacidade instalada com essa

---

<sup>43</sup> Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica – Criada pelo governo Federal em maio de 2001, tinha como objetivo propor e implementar medidas emergenciais face a crítica situação hidrológica, visando compatibilizar demanda e oferta de energia elétrica, de forma a evitar interrupções intempestivas ou imprevistas do suprimento de energia elétrica (DOU, 2001).

tecnologia no país. O programa previa incentivos que asseguravam por quinze anos, a compra, pela ELETROBRAS da energia produzida pelas Usinas Eólicas que entrassem em operação até dezembro de 2003.

O valor de compra da energia gerada pelo PROEOLICA seria equivalente ao valor de repasse para as tarifas, relativo ao Valor Normativo da fonte eólica estabelecido conforme regulamentação da ANEEL. Os custos relacionados ao volume de energia comprada pela ELETROBRAS seriam repassados às concessionárias de distribuição do sistema interligado de forma compulsória na proporcionalidade dos seus mercados realizados no ano anterior. O PROEOLICA, contudo, não foi capaz de viabilizar a entrada emergencial de novos projetos eólicos, mas favoreceu a entrada de muitas empresas internacionais que atuam na promoção das fontes renováveis, gerando assim a necessidade da estruturação de uma legislação, de caráter duradouro, que venha efetivar o desenvolvimento do mercado de energias renováveis no Brasil.

### **2.8.5 Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA e Conta de Desenvolvimento Energético - CDE**

A Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, alterada pela Lei 10.762, de 11 de novembro de 2003, criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA e a Conta de Desenvolvimento Energético - CDE, tendo como objetivo a promoção do aumento da participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de Produtores Independentes Autônomos - PIA<sup>44</sup>, concebidos com base em fontes Eólicas, Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCH's) e Biomassa. O PROINFA é hoje a referência legal de todas as ações de governo voltadas para o desenvolvimento de fontes renováveis de energia no Brasil. Em sua primeira etapa, a lei prevê a implantação, até o ano de 2006, de 3.300 MW, distribuídos igualmente entre as fontes.

A Lei nº 10.762 de 2003, editada já na gestão do presidente Luiz Inácio Lula da Silva, promoveu mudanças no PROINFA, fazendo com que a garantia de compra da

---

<sup>44</sup> Produtor Independente Autônomo – PIA, e aquele cuja “*sua sociedade, não sendo ela própria concessionária de qualquer espécie, não é controlada ou coligada de concessionária de serviço público ou de uso do bem público de geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica, nem de seus controladores ou de outra sociedade controlada ou coligada com o controlador comum*”.

energia gerada no âmbito do programa fosse alterada de 15 para 20 anos, através de contratos celebrados com a ELETROBRAS até o final do mês de abril de 2004, para instalações que venham entrar em funcionamento até dezembro de 2006. Os referidos contratos devem ser firmados prioritariamente com os Produtores Independentes Autônomos - PIA.

O programa define que o processo de contratação das instalações ocorrerá mediante Chamada Pública para conhecimento dos interessados, considerando, no conjunto de cada fonte específica, daquelas habilitadas, primeiramente as que tiverem as Licenças Ambientais de Instalação LI mais antigas, prevalecendo, em cada instalação, a data de emissão da primeira LI, caso tenha ocorrido prorrogação ou nova emissão, limitando-se a contratação por Estado a vinte por cento das fontes eólica e biomassa e quinze por cento da Pequena Central Hidrelétrica - PCH;

A Lei nº 10.762 de 2003 manteve o direito de participação direta dos fabricantes de equipamentos de geração, sua controlada, coligada ou controladora na constituição do PIA. No entanto, elevou o percentual do índice de nacionalização dos equipamentos a serem utilizados nos empreendimentos do PROINFA - anteriormente definido em no mínimo cinquenta por cento – para sessenta por cento em valor e, na segunda etapa, de, no mínimo, noventa por cento em valor.

A implementação dos 3.300 MW iniciais deverá ser igualmente distribuída em termos de capacidade instalada por cada umas fontes participantes do programa e a energia adquirida será feita pelo Valor Econômico Correspondente à Tecnologia Específica de Cada Fonte<sup>45</sup>. A lei nº 10.438 de 2002 definiu que os Valores Econômicos correspondentes às tecnologias específicas das fontes eólica, PCH's e biomassa teriam inicialmente como piso de no mínimo 80% (oitenta por cento) da Tarifa Média Nacional de Fornecimento ao Consumidor Final<sup>46</sup>. A lei nº 10.762 altera este piso para 50%, 70% e 90% da tarifa média nacional de fornecimento ao consumidor final dos últimos doze meses, para a produção concebida a partir de biomassa, pequenas centrais hidrelétricas e energia eólica, respectivamente.

---

<sup>45</sup> Valor Econômico Correspondente à Tecnologia Específica de Cada Fonte: “*valor de venda de energia elétrica que, em um determinado tempo e para um determinado nível de eficiência, viabiliza economicamente um projeto de padrão médio utilizando a referida fonte*”.

<sup>46</sup> Tarifa Média Nacional de Fornecimento ao Consumidor Final: “*quociente entre a receita de fornecimento aos consumidores finais dos sistemas elétricos interligados nos últimos doze anteriores ao calculo e o respectivo consumo, expressa em R\$/MWh*”.



O montante pago pela energia elétrica adquirida pela ELETROBRAS, no âmbito do PROINFA, será rateado entre todas as classes de consumidores finais, exceto os consumidores pertencentes à subclasse residencial de baixa renda - esta definida como aqueles consumidores de consumo mensal igual ou inferior a 80 kWh/mês - atendidos pelo Sistema Interligado Nacional<sup>47</sup>, proporcionalmente ao consumo individual verificado. Vencido o planejamento da instalação dos primeiros 3.300 MW, o PROINFA define uma segunda etapa onde as fontes renováveis deverão ser responsáveis, em 20 anos, por 10% de toda a geração de energia elétrica do Brasil.

Para a segunda etapa do PROINFA, a lei nº 10.762 de 2003 também elevou o tempo dos contratos a serem firmados com a ELETROBRAS (inicialmente a Lei 10.436 de 2002 estabelecia uma duração de quinze anos) para vinte anos. O preço será determinado pelo Valor Econômico Correspondente à Geração de Energia Competitiva<sup>48</sup>. O montante de energia elétrica adquirida anualmente de cada produtor, será programado de forma que as referidas fontes atendam o mínimo de 15% do incremento anual de energia elétrica demandada pelo mercado consumidor nacional.

A aquisição da energia materializada pelo PROINFA, nessa etapa, irá gerar um crédito complementar, a ser destinado ao produtor da energia, definido como sendo o valor resultante da diferença entre o Valor Econômico Correspondente a uma Tecnologia Específica de Cada Fonte e o valor recebido da ELETROBRAS, para produção concebida a partir de biomassa, pequena central hidrelétrica e eólica.

Na segunda etapa do PROINFA a ELETROBRAS poderá inicialmente ser autorizada, pelo poder executivo, a comprar energia produzida por Produtores Independentes não caracterizados como autônomo, desde que o volume de tais contratos não venha ultrapassar 25% da programação anual e que não ocorra preterição de oferta de Produtor Independente Autônomo. Exclusivamente para os empreendimentos eólicos, a Lei 10.762 de 2003 estabeleceu que os contratos feitos na primeira etapa do

---

<sup>47</sup> O sistema brasileiro de geração elétrica tem uma capacidade instalada de 72.843 MW (Dezembro de 2002). O mesmo é predominantemente hídrico, sendo as usinas hidroelétricas responsáveis por aproximadamente 88% da potência total instalada, as unidades termelétricas respondem por 9,3% e energia nuclear por 2,76%.

O Sistema Interligado Nacional (SNI) compreende 96,6% da capacidade de produção de eletricidade do país, sendo composto pelas unidades geradoras localizadas nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Os 3,4% restantes de capacidade de produção elétrica não contemplada pelo SIN encontra-se concentrado em pequenos sistemas isolados, sobremaneira, na região amazônica.

<sup>48</sup> Valor Econômico Correspondente à Geração de Energia Competitiva: "*custo médio ponderado de geração de novos aproveitamentos hidráulicos com potência superior a 30.000KW e centrais termelétricas a gás natural.*"

PROINFA, devem ser distribuídos igualmente entre Produtores Independentes Autônomos e Não Autônomos

A Conta de Desenvolvimento Energético – CDE, objetiva, no que está definido na Lei 10.762,

*o desenvolvimento energético dos Estados e a competitividade da energia produzida a partir de fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas, biomassa, gás natural e carvão mineral nacional, nas áreas atendidas pelos sistemas interligados, promover a universalização do serviço de energia elétrica em todo o território nacional e garantir recursos para atendimento à subvenção econômica destinada à modicidade da tarifa de fornecimento de energia elétrica aos consumidores finais integrantes da Subclasse Residencial Baixa Renda.*

A CDE terá duração de 25 anos e seus recursos serão provenientes dos pagamentos anuais realizados a título de Uso de Bem Público; pagamentos de multas aplicadas pela ANEEL; e pagamentos de quotas anuais por parte de todos os agentes que comercializem energia elétrica com o consumidor final.

Dentre os possíveis usos dos recursos da CDE, o parágrafo II do artigo 13 define que o mesmo possa vir a ser disponibilizado para:

II - para pagamento ao agente produtor de energia elétrica a partir de fontes eólica, térmicas a gás natural, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas, cujos empreendimentos entrem em operação a partir da publicação desta Lei, da diferença entre o valor econômico correspondente à tecnologia específica de cada fonte e o valor econômico correspondente a energia competitiva, quando a compra e venda se fizer com consumidor final.

A lei também estabelece que a nenhuma das fontes eólica, biomassa, pequenas centrais hidrelétricas, gás natural e carvão mineral nacional, poderão ser destinados anualmente recursos cujo valor total ultrapasse a 30% (trinta por cento) do recolhimento anual da CDE, condicionando-se o enquadramento de projetos e contratos à prévia verificação, junto à Eletrobrás, de disponibilidade de recursos.

Importa observar a estranheza de que fontes não renováveis como o carvão mineral nacional e o gás natural estejam contempladas em um fundo que se propõe a viabilizar o desenvolvimento das fontes renováveis. Esta situação contradiz as metas de expansão das fontes renováveis na matriz elétrica brasileira e é creditada a intervenção

política dos representantes da indústria de carvão junto ao legislativo, bem como da expressa intenção do governo federal de ampliar significativamente o parque termelétrico nacional sob a justificativa de ser esta a alternativa tecnológica capaz de materializar o carreamento dos investimentos necessários a contínua expansão do setor elétrico. O resultado dessa orientação no planejamento se refletirá na valorização exacerbada dos aproveitamentos termoelétricos em detrimento do uso do potencial hidráulico nacional, uma clara contradição com o escopo traçado pela lei em tela.

O PROINFA sela a opção institucional brasileira de suporte ao desenvolvimento das energias renováveis através de um Sistema de Remuneração por Alimentação da Rede, uma vez que o modelo em implementação define um preço para a energia elétrica produzida através de fontes renováveis e as respectivas quantidades ofertadas são reguladas pelo mercado. A assertiva é alicerçada por Porto (2002, p.25) quando afirma que “*os mecanismos existentes na Lei 10.438 (PROINFA) são aderentes às práticas com êxito recentes em diversos países, tais como Alemanha, Espanha, Dinamarca, França, etc*” (todos os países citados adotam o ‘*Feed-in tariffs*’).

O modelo adotado no Brasil incorpora algumas inovações que possibilita a sua configuração em uma forma avançada do Sistema de Remuneração por Alimentação da Rede, muito aproximada do formato estabelecido na Alemanha em 2000 (*advanced Feed-in tariffs*). Neste novo formato, o Valor Econômico da Tecnologia Específica da Fonte – VETEF é determinado de acordo com as bases de recursos de cada região.

Tal como está orientado na metodologia de cálculo do VETEF, os valores definidos para energia eólica, assim como para as demais fontes renováveis, são calculados em termos de fator de capacidade de cada empreendimento. Dessa forma é definido um VETEF considerando o fator de capacidade apresentado para o aproveitamento, dentro de uma das faixas definidas pela Portaria nº 45 (MME, 2004):

Fator de Capacidade Fonte	Valor Econômico da Tecnologia Específica da
$FCR \leq FCR_{min}$	VETEF_Emax
$FCR_{min} < FCR < FCR_{max}$	VETEF_E
$FCR \geq FCR_{max}$	VETEF_min

FCRmin - Fator de Capacidade de Referência Mínimo da CGEE = 0,324041

FCRmax - Fator de Capacidade de Referência Máximo da CGEE = 0,419347

FCR - Fator de Capacidade de Referência da Central Geradora de Energia Elétrica – CGEE

$$FCR = \frac{[ER \times (1-p/100)] - CP}{P \times 8.760}$$

Onde:

ER = Energia de referência da CGEE estabelecida por resolução da ANEEL;

p = Perdas elétricas até o ponto de conexão;

CP = Parcela da energia elétrica gerada pela CGEE e consumida na própria central, não considerando as perdas elétricas até o ponto de conexão;

P = Potência instalada da CGEE

VETEF\_Emax – Valor Econômico Máximo da Tecnologia Específica da Fonte Eólica

VETEF\_Emin – Valor Econômico Mínimo da Tecnologia Específica da Fonte Eólica

VETEF\_E – Valor Econômico da Tecnologia Específica da Fonte Eólica

A determinação de diferentes VETEF está orientada a introduzir um maior nível de competição entre os investidores e evitar que os investimentos em locais com maior fator de capacidade favoreçam uma maior concentração de empreendimentos bem como uma excessiva apropriação dos incentivos disponibilizados em lei, uma vez que a energia gerada em um aproveitamento eólico se diferencia marcadamente pela característica de seu fator de capacidade. O modelo é, portanto, um sistema de ‘multi-preço’, o que possibilita, dessa forma, a existência de excesso de lucro em locais de bons ventos.

O decreto nº 5.025 de 2004 determina que a capacidade dos empreendimentos eólicos a serem contratados dentro da primeira fase do PROINFA não pode ultrapassar 220 MW a ser instalado por Estado (20% da potência eólico-elétrica a ser contratada no PROINFA). Nesse sentido, os mecanismos e arranjos adotados pelo governo brasileiro, em seus pressupostos, estão dirigidos a criarem alternativas possíveis de viabilizar o desenvolvimento descentralizado da tecnologia eólico-elétrica, possibilitando, em tese, a formação das condições de investimentos também para locais que não se configuram como de excelente potencial eólico. Esta orientação conforma-se em um objetivo de política pública a ser explorada quando da formação de um projeto nacional de

desenvolvimento e adoção de novas tecnologias, como é seguramente o caso do PROINFA.

Nesse contexto, cabe aqui ressaltar o fato de que a tecnologia eólico-elétrica ainda encontra-se em processo de estruturação no Brasil e, face às limitações impostas a sua expansão, ditada pelos seus custos, quando apresentados sob a lente única do mercado, impera a necessidade de se promover o aproveitamento nos locais onde se confere existência de ventos de melhor qualidade. Nesse sentido a adoção de três valores distintos VETEF para tecnologia eólico-elétrica, bem como a limitação de aproveitamento por Estado, como prevista na primeira etapa da PROINFA, face às determinações do Decreto nº 5.025 de 2004, gera conflitos tanto pela visão estrita de “mercado” quanto pela análise orientada à melhor alocação dos recursos naturais.

A tabela 2.2 mostra a distribuição, por Estados e Regiões dos empreendimentos eólicos contratados no âmbito do PROINFA, até setembro de 2005.

**Tabela 2.2 - Empreendimentos Eólicos Contratados no Âmbito do PROINFA - Setembro/ 2005.**

REGIÃO / ESTADO	PROJETOS	POTÊNCIA	PARTICIPAÇÃO %
<b>Nordeste</b>	<b>36</b>	<b>805,58 MW</b>	<b>56,61%</b>
Ceará	14	500,53 MW	35,17%
Paraíba	13	60,35 MW	4,24%
Pernambuco	5	21,25 MW	1,50%
Piauí	1	17,85 MW	1,3%
Rio Grande do Norte	3	201,10 MW	14,16%
<b>Sudeste</b>	<b>2</b>	<b>163,05 MW</b>	<b>11,46%</b>
Rio de Janeiro	2	163,05 MW	11,46%
<b>Sul</b>	<b>16</b>	<b>454,29 MW</b>	<b>31,93%</b>
Santa Catarina	11	226,73 MW	15,93%
Rio Grande do Sul	5	227,57 MW	16,99%
<b>Brasil</b>	<b>54</b>	<b>1.422,99</b>	<b>100%</b>

Fonte: Porto, 2005

As previsões de entrada em operação desses projetos foram em sua totalidade prorrogadas. Até o final do ano de 2006, os agentes do PROINFA creditam a entrada em funcionamento de 52 Centrais Eólica, totalizando 1.345,56 MW de potência instalada, ficando os dois projetos restantes (77,4 MW) para terem suas operações iniciadas até final de 2007. A ANEEL no documento “Acompanhamento das Centrais Geradoras Eólicas” (ANEEL, 2005), mostra que os marcos presentes nos cronogramas previstos para 2005 não se confirmaram em todas as centrais eólicas em construção. Dessa forma, é inevitável que se registrem novos atrasos no cronograma de 2006, repercutindo também em 2007.

A imperativa necessidade de ajustes nos cronogramas dos empreendimentos eólicos no âmbito do PROINFA reflete, e faz-se refletir, nas barreiras vivenciadas na implementação do programa. Tais dificuldades resultam do caráter inovador do PROINFA, bem como é espelho da conjuntura socioeconômica do Brasil, seus riscos e incertezas aos olhos dos investidores.

Se por um lado as novas demandas ambientais, refletidas nos requerimentos pertinentes ao Licenciamento Ambiental e/ou revalidações das Licenças de Instalações, contribuíram para o alongamento dos prazos no programa, foi o reduzido fôlego financeiro, por parte da grande parcela dos empreendedores, que determinou sua lentidão, uma vez que foram significativas as dificuldades de obtenção de financiamento e contratação do EPC - contratos de engenharia, projeto e construção (Porto, 2005).

## **2.9 Conclusões**

Avaliar o desenvolvimento de uma tecnologia de abastecimento energético exige, além do entendimento dos contornos técnico-econômicos que a conformam, uma reflexão sobre como se estrutura a matriz geradora de tal demanda. Com esse objetivo o capítulo examinou as relações que dão fôlego ao atual estilo de desenvolvimento, que aqui se conclui estar fortemente estruturado em um apelo ao consumo perdulário. Por resposta natural do sistema, este estilo de desenvolvimento expande continuamente as necessidades do mercado, estabelecendo, portanto, uma progressiva ampliação do aproveitamento dos recursos naturais, tornando vital para a respiração do sistema a busca sucessiva de ampliação da disponibilidade de energia.

Nesse sentido, avaliou-se que a proposição da expansão do aproveitamento das fontes renováveis se insere no contexto da garantia do provisão energético demandada pelo modelo de produção de bens, posto pelo estilo de desenvolvimento em curso. Assim, importa incluir no debate qual o autêntico papel da tecnologia eólico-elétrica no jogo dos mercados, para então conferir o seu legítimo potencial de benefícios à preservação do meio ambiente, bem como de seu ajuste ao funcionamento dos sistemas econômicos.

Viu-se que o percurso de ampliação da indústria elétrica brasileira até os anos 1970 não apresentou significativas diferenças do que ocorreu no restante do mundo, esteve regulado pelo progressivo aumento nas capacidades instaladas em geração. Este

modelo experimentou fissuras que refletiram a adoção de novas variáveis a serem consideradas no planejamento do setor, sendo estas: i) produto das vicissitudes econômicas, institucionais, e tecnológicas; ii) instabilidades dos preços dos combustíveis derivados de petróleo, historiados a partir da crise de 1973; iii) o prestígio alcançado pela crítica construída entre os ambientalistas aos efeitos do modelo ao ambiente natural.

Enxergou-se ainda que é da perda de vigor do modelo que se dá esteio a pesquisa e o desenvolvimento das tecnologias renováveis complementares, em especial a energia eólica. Nesse contexto, verificou-se que a estruturação de um mercado favorável à ampliação da tecnologia eólio-elétrica precede:

- uma flexibilização dos métodos de avaliação de viabilidade técnico financeira pautados na lógica estrita do mercado;
- a configuração de instrumentos normativos e arranjos institucionais claramente definidos ao desenvolvimento das condições básicas de sustentabilidade de um mercado em formação;
- a adoção de ações que tornem maleável a cultura do planejamento da expansão do setor elétrico via tecnologias convencionais;
- uma ponderação das externalidades ambientais do mercado convencional de energia, de forma a agregar valor aos benefícios ao meio ambiente advindos do uso da energia eólica.

Verificou-se também que a possibilidade de aproveitamento comercial da energia eólica no Brasil ganhou visibilidade a partir dos resultados insatisfatórios apresentados pelo processo de abertura de seu mercado elétrico. Os elementos de atração da atenção dos investidores ao aproveitamento do elevado potencial eólico brasileiro estão creditados, dentre outros; *i)* o fortalecimento de uma crise no abastecimento elétrico nacional; *ii)* os atrativos ambientais das fontes renováveis, frente aos efeitos do uso dos combustíveis fósseis sobre o planeta, com destaque o tema referente ao aquecimento global; *iii)* adoção de programas de governo destinados a incentivar o aproveitamento das fontes renováveis no país e, *iv)* registro de ações voltadas à estruturação de um marco regulatório que contemple as fontes renováveis em suas particularidades.

Toda estrutura de suporte destinada à promoção do aproveitamento dos recursos eólicos deve estar orientada por uma escolha tecnológica. Duas são as rotas de geração de energia elétrica a partir da energia dos ventos: sistemas conectados à rede interligada e sistemas isolados. O capítulo seguinte dedica-se a fornecer uma avaliação do estado da arte da energia eólica ao redor do mundo.



## Capítulo 3 – Estado da Arte da Tecnologia Eólica

“A idéia de que a ciência segue um curso de desenvolvimento independente, de que as aplicações tecnológicas nascem e se impõem sobre a sociedade com uma exigência férrea, é uma simplificação demasiadamente grosseira e com objetivos ideológicos” - *Istváan Mészáros*.

### 3.1 Introdução

Nas últimas duas décadas, o desenvolvimento tecnológico e a ampliação de uso vivenciado pela tecnologia eólio-elétrica, são notadamente as mais expressivas dentre as diversas tecnologias renováveis de geração elétrica. A indústria eólica se estabeleceu comercialmente na Europa e Estados Unidos através de pesados incentivos originados da adoção de instrumentos normativos e institucionais sob a égide dos Estados Nacionais ou de blocos econômicos regionais. Tais incentivos viabilizaram a conformação de uma indústria sólida que evoluiu tanto na concepção, quanto no processo de construção e operação de seus projetos.

Na atualidade a indústria eólica já possui maturidade tecnológica e escala de produção industrial em algumas regiões do mundo. Tal estágio de desenvolvimento responde aos incentivos carreados a Pesquisa e Desenvolvimento, originários de uma política voltada para a conformação de mercado através de incentivos fiscais e financeiros em vários países, especialmente na Alemanha, Dinamarca, EUA, e mais recentemente na Espanha, entre outros.

Em termos tecnológicos registra-se um contínuo progresso técnico que tem gerado melhoria na eficiência e rendimento dos aerogeradores e dos sistemas de controle, além de proporcionar a redução dos impactos, sobre a qualidade da energia, relacionados à conexão dos parques eólicos à rede interligada. Estes avanços têm contribuído significativamente para reduções de seus custos, o que permite ambiciosas previsões quanto à ampliação do parque gerador eólico no mundo, mais acentuadamente sobre o conceito técnico de ‘fazendas eólicas’ interconectadas a rede interligada.

Face às crescentes quedas nos seus custos de instalação, operação e manutenção, bem como pela existência de um grande potencial eólico a ser explorado em diversas regiões do planeta, a tecnologia eólio-elétrica encontra-se na fronteira de ser considerada economicamente viável em termo competitivo com as fontes convencionais de geração elétrica.

Este capítulo apresenta o estado da arte da tecnologia eólio-elétrica, contemplando uma descrição do campo de aplicação dos diferentes tipos de sistemas, sua evolução histórica, o panorama mundial da geração eólio-elétrica em conexão com a rede e suas características tecnológicas, além da experiência brasileira na aplicação desta tecnologia.

### **3.2 O Estado da Arte**

O aproveitamento da força dos ventos como fonte de suprimento das demandas energéticas, inerente à sobrevivência humana, vem ocorrendo desde as primeiras civilizações sendo verificado seu uso nas atividades de navegação marítima, moagem de grãos e bombeamento de água.

Os primeiros aproveitamentos de energia eólica datam de épocas remotas da humanidade. Os egípcios já navegavam a vela no ano 4.500 a.c. Essa assertiva pode ser verificada em HEMERY et al (1993) quando mostra que no Egito, o rio Nilo e seus canais compunham o único meio de ligação entre aldeias e cidades. A fonte de energia inicialmente usada no transporte se limitava à energia hidráulica, através das correntes presentes nos rios, esta forma de energia restringia a expansão da trocas de mercadoria e o comércio, uma vez que a mesma apenas se fazia presente no sentido de montante para jusante, o que estabelecia uma estrutura assimétrica de trocas, considerando que a rota de subida do rio requeria o uso da força muscular, limitando assim as possibilidades de intercâmbio. A solução encontrada adveio da captação da força dos ventos dominantes que sopram no Nilo no sentido Norte – Sul, por intermédio do uso de velas, inicialmente em um formato triangular, alta e estreita, tendo como suporte um mastro formado por duas traves unidas em sua parte superior. Esta técnica permitia a captação do vento de popa e sua conversão em energia mecânica equivalendo a um total de cavalos-vapor, igual ou superior (dependendo das condições dos ventos) ao que seria produzido por dezenas de remadores.

Em termos de conversão de energia, o domínio da técnica de aproveitamento dos ventos na navegação marítima, torna-se um marco na história da evolução da humanidade. No entanto, até aquele momento histórico, todo o potencial energético disponível para o homem, captado sob forma de alimento, destinava-se a conversão de energia em trabalho. A navegação à vela libera, pela primeira vez, o homem do encargo energético destinado à produção de energia mecânica. O aproveitamento dos ciclos biológicos limita-se agora a manufatura das velas e seus acessórios, bem como as manobras necessárias à navegação. No entanto, estas atividades apresentavam um balanço energético positivo, uma vez demandavam uma quantidade inferior de energia, quando comparada aos valores obtidos pela captação do vento. Nesse sentido afirma HEMERY (p.55, 1993):

*Pela primeira vez na história, os homens tinham assumido o controle de uma força praticamente independente das plantas e que não era a simples multiplicação de sua própria energia ou daquela dos animais. Por outro lado, o que era uma outra inovação em relação à navegação fluvial (que determina uma linha de poder seguindo o curso do rio) a navegação marítima, mesmo que se continuava tributária do regime das correntes, dos caprichos do vento e da proximidade das costas, abria uma imensa rede de circulação, uma infinidade de rotas ligando entre si os portos de um mar amigo.*

Os moinhos eólicos foram projetados para cumprir a função executada pelos moinhos hidráulicos, onde a expansão destes se tornava inviável, ou ainda, em regiões onde a pluviometria não se mostrava suficiente para a aplicação e uso desta tecnologia.

Os moinhos eólicos têm origem oriental e para estes há registros históricos que confirmam seu uso desde o século IV nos planaltos Iranianos e Afegãos. Na Europa seu uso tem registros por volta do ano de 1150.

Segundo HEMERY (1993) os ventos que impulsionavam os moinhos também trouxeram um sopro de liberdade no período feudal. Os senhores tinham a posse e o direito às riquezas presentes no solo, nas florestas e nas águas. Não tendo os recursos eólicos um possuidor, estes por sua vez não se configuravam como uma banalidade. Dessa forma, os vassalos podiam construir e operar, para a ira dos senhores, os seus moinhos de vento. A tecnologia passa a ser vista com uma ferramenta de oposição às banalidades e aos privilégios do senhor:

*é, em geral, contra o grande senhor feudal que a nova máquina é construída, e seus construtores encontram por vezes aliados*

*entre os amanuenses do rei”. Os moinhos de vento insinuam-se nos espaços de liberdade que se abrem com o crescimento urbano e que constituem uma brecha suplementar nos monopólios energéticos senhoriais. A reação feudal manifesta-se sistematicamente contra as novas instalações, mas será incapaz de interromper um movimento irresistível que prosseguirá até o início do século XIX (HÉMERY, p.125, 1986).*

A partir dos séculos XII e XIII, o uso da energia eólica em moinhos para bombeamento de água e em moendas de grãos, apresentou um rápido crescimento e se manteve ativo até o início do século XIX, quando a revolução industrial passou a massificar o uso da máquina a vapor, da eletricidade e dos combustíveis fósseis como fonte de energia motriz. Porém, foi a partir da segunda metade do século XIX que se verificaram os maiores avanços tecnológicos de aproveitamento do vento, fruto do desenvolvimento dos moinhos ‘*multi-pás*’, tipo americano, que passou a ser utilizado no bombeamento de água na maior parte do mundo e cujas características foram tomadas como base para a definição do desenho dos modernos geradores eólicos.

Os primeiros moinhos de vento que se tem registro usavam eixos verticais e esta tecnologia fazia uso de dispositivos que usavam a força de arrasto. Seu uso foi verificado nos altiplanos do Afeganistão para a moagem de grãos desde o século VII antes de Cristo.

As primeiras indicações de uso de moinhos de vento de eixo horizontal foram encontradas em documentos descobertos na Pérsia, Tibete e China datados de aproximadamente 1000 d.c. Este tipo de moinho fazia uso de uma haste de sustentação e pás (ou velas) girando no plano vertical. A partir da Pérsia e do Oriente Médio, esta tecnologia ganhou o mediterrâneo e a Europa Central. O primeiro moinho de vento de eixo horizontal somente foi instalado na Inglaterra por volta de 1150, na França em 1180, nos Flandres em 1190, na Alemanha 1222 e na Dinamarca em 1259.

Na Europa, o conjunto de características e possibilidades de atuação dos moinhos de vento foi constantemente melhorado, entre os séculos IX e X. No final do século IX os moinhos de vento típicos na Europa faziam uso de um rotor de 25 m de diâmetro e as torres atingiam até 30 metros. Os moinhos de vento não tinham utilidade apenas para moer grãos, sua aplicação também se dava no bombeamento de água.

Por volta de 1800, aproximadamente 20.000 moinhos de vento '*européus*' estavam em operação somente na França. Já nos Países Baixos, os moinhos de vento respondiam por 90% da energia primária demandada pela indústria.

O processo de industrialização, viabilizado pela denominada 'revolução industrial' conduziu a indústria eólica, daquele período, a um declínio constante e gradual. No entanto, se faz imperativo registrar que ainda em 1904 a energia eólica atendia 11% da demanda energética da indústria holandesa e no território alemão havia mais de 18.000 unidades de conversão eólica em contínua operação.

Foi no período de declínio do uso dos moinhos de vento na Europa que esta tecnologia foi levada pelos colonos para a América do Norte. Os moinhos de vento, através de pequenos aproveitamentos, tornaram-se rapidamente muito populares no bombeamento de água para o suprimento da demanda agropecuária. Estes pequenos moinhos, também denominados '*moinhos de vento americanos*', podiam iniciar sua operação de forma independente. A existência de um mecanismo de "auto-regulação" colocava o rotor a barlavento durante situações de registro de altas velocidades de vento. Já os moinhos de vento '*européu*' normalmente tinham que ser retirados da direção do vento ou as velas tinham de ser enroladas durante velocidades extremas de vento para que fosse evitado possíveis danos ao equipamento. A difusão dos moinhos de vento no EUA alcançou seu ponto máximo de popularidade entre os anos de 1920 e 1930, sendo registrada a instalação de aproximadamente 600.000 unidades. Vários moinhos de vento, tipo americano, ainda encontram-se em uso no mundo inteiro fornecendo força mecânica nas atividades agrícolas.

Até o início do século vinte a energia dos ventos foi usada para disponibilizar energia mecânica no bombeamento de água e moagem de grãos. Logo na fase inicial do processo de industrialização, o uso dos recursos da energia eólica foi sendo substituído pelo uso dos combustíveis fósseis usado na combustão das máquinas e pela expansão da rede de transmissão e distribuição de eletricidade, as quais permitiram a disponibilidade de uma energia mais estável e controlada.

A escassez dos combustíveis fósseis no mercado, durante a Primeira Guerra Mundial, estimulou fortemente a criação de incentivos ao desenvolvimento da tecnologia de aproveitamento dos recursos eólico para fins de geração de eletricidade, em especial no continente europeu, uma vez que esta região se mostrava excessivamente dependente destes recursos. Na Dinamarca, por volta de 1918, um

quarto das unidades rurais de geração de eletricidade (120) fazia uso de aerogeradores, com potência entre 30 e 35 kW.

No período posterior a I Guerra, o mercado de combustíveis fósseis se reestabeleceu, gerando excedentes, o que resultou em uma rápida retração dos investimentos em energia eólica. Como consequência, na Dinamarca e já em 1920, apenas 75 aerogeradores seguiam em funcionamento.

Data de 1891 o primeiro projeto de conversão da energia eólica em eletricidade. O feito foi creditado ao dinamarquês Poul LaCour. O aerogerador desenvolvido pela companhia dinamarquesa F.L. Smidth nos anos de 1941 e 1942 pode ser considerado como o precursor dos modernos aerogeradores. As turbinas eólicas desenvolvidas por esta companhia foram as primeiras a fazer uso de modernos aerofólios, baseados nos avançados conhecimentos de aerodinâmica acumulados até aquele momento.

Em paralelo, a American Palmer Putnam construiu, sob encomenda da Companhia americana Morgan Smith, uma turbina eólica de grandes dimensões sendo que a mesma foi projetada com um rotor de 53 metros de diâmetro. Não só o tamanho desta máquina foi significativamente distinto dos projetos concebidos até aquela época, mas também a filosofia do projeto. Os projetos dinamarqueses baseavam-se em um rotor *'upwind'* (orientado para a direção na qual o vento sopra) com regulagem por estol, operando a baixa velocidade. O design apresentado pela American Morgan Smith Co., baseava-se em um rotor *'downwind'* com regulação através de controle do ângulo de passo. Porém, a turbina de Putnam não teve muito êxito, sendo então desmontada em 1945 (GIPE, 1995).

A tabela 3.1 apresenta a evolução histórica dos principais projetos eólicos, no que diz respeito à potência, dimensões do rotor e altura da torre.

**Tabela 3.1 - Evolução Histórica dos Projetos Eólicos**

PAÍS	DIÂMETRO DO ROTOR [M]	ÁREA DE VARREDURA [M <sup>2</sup> ]	POTÊNCIA [KW]	NÚMERO DE PÁS	ALTURA DA TORRE [M]	ANO
Dinamarca	23	408	18	4	-	1891
Estados Unidos	53	22231	1250	2	34	1941
Dinamarca	17	237	50	3	24	1941
Dinamarca	24	456	70	3	24	1942
Dinamarca	24	452	200	3	25	1957
Alemanha	34	908	100	2	22	1958

Fonte: GIPE, 1995

O advento da Segunda Guerra Mundial trouxe, mais uma vez à cena, a falta de combustíveis fósseis, fazendo com que o interesse na energia eólica novamente tomasse vulto. Após o fim da Segunda Guerra Mundial a Comunidade Econômica Européia iniciou uma série de estudos que objetivavam avaliar estratégias futuras de acesso aos combustíveis fósseis no mercado internacional. Um dos resultados desses estudos orientou a implementação de uma pesquisa, conduzida em 1950, pela *Association of Danish Electricity Utilities*, destinada a avaliar as possibilidades de utilização da energia eólica no sistema de abastecimento interligado da Dinamarca. Nesse período, foi desenvolvida por Johannes Juul, engenheiro dinamarquês, e instalada na cidade de Gedser (Dinamarca), uma turbina eólica de 200 kW que gerou cerca de 2,2 GWh. Esta turbina, instalada em 1957 se manteve em operação até 1967 (DEA, 1999).

No mesmo período o alemão Hutter desenvolveu um novo projeto no qual utilizava duas pás feitas em fibra com reduzida espessura. A turbina de Hutter foi reconhecida por sua alta eficiência.

Apesar do sucesso das turbinas desenvolvidas por Juul e Hutter, o interesse na expansão da tecnologia eólico-elétrica sofreu um forte refluxo no período seguinte ao fim da Segunda Guerra Mundial. Apenas o uso de pequenos aerogeradores, para o abastecimento de áreas isoladas ou para garantir o carregamento de baterias em usos específicos seguiu carreando algum interesse.

No início dos anos 1970, com o primeiro choque dos preços do petróleo, o interesse nas fontes renováveis de energia ressurgiu. Porém, neste período o foco principal do aproveitamento da energia dos ventos esteve concentrado na produção de energia elétrica em vez de energia mecânica. Dessa forma, seria possível dispor de uma fonte de energia segura e de qualidade fazendo uso de uma outra tecnologia de geração de energia elétrica interligada a rede como *'backup'*.

O estabelecimento da denominada *'crise do petróleo'*, fez com que o interesse na energia eólica ressurgisse com forte intensidade. Como consequência, um significativo apoio financeiro para pesquisa e desenvolvimento se tornou possível. Países como a Alemanha, E.U.A. e Suécia aplicaram grandes recursos para desenvolver protótipos de aerogeradores de variadas potências e formas. No entanto, muitos desses protótipos não se mostraram possíveis de comercialização, face aos inúmeros obstáculos técnicos não superados, que se fizeram presentes no período de testes.

No entanto, devido ao suporte dado por alguns Estados Nacionais, a exemplo da Dinamarca, o desenvolvimento de projetos de utilização comercial da energia eólica foi efetivamente concretizado.

Um marco importante na retomada do desenvolvimento e consolidação da tecnologia eólico-elétrica foi o Public Utility Regulatory Policies Act (PURPA), aprovado no Congresso Nacional Americano em novembro de 1978. Esta lei objetivava o aumento da conservação e eficiência no uso da energia doméstica e a redução da dependência do Estado Americano do petróleo importado. O PURPA em sintonia com uma nova estrutura de créditos tributários, destinado aos sistemas que utilizam energias advindas de fontes renováveis, viabilizou a primeira grande onda eólico-elétrica da história.

Ao longo das montanhas de São Francisco e ao nordeste de Los Angeles, foram instaladas grandes Parques Eólicos. O primeiro destes parques consistiu principalmente de turbinas de 50 kW. Nesse período, a potência dos aerogeradores aumentou e atingiu 200 kW no final dos anos 1980, sendo posta em funcionamento aproximadamente 15.000 turbinas eólicas, perfazendo assim uma capacidade instalada de quase 1.500 MW no Estado da Califórnia. (ACKERMANN, 2002)

Nos anos 1990, o apoio financeiro, por parte do Estado, para a promoção da expansão da energia eólica foi sendo reduzido nos Estados Unidos, mas em sentido contrário estes vêm aumentando de volume na Europa e Índia, China e no Brasil. Observa-se que um novo impulso a promoção da energia eólica vem se registrando nos Estados Unidos nos últimos dois anos, configurando nesse país um movimento cíclico de apoio a expansão dessa tecnologia por parte do Estado.

Nos anos 1990, o modelo institucional de apoio ao desenvolvimento de tecnologias de produção de energia que fazem uso de fontes renováveis estabelecido na Europa esteve baseado no *'fix feed-in tariffs'*. Na Índia o esquema institucional orienta-se na redução tributária para atrair investimentos em energia eólica. Estas bases de apoios de caráter institucionais promoveram uma rápida e significativa ampliação do parque eólico em alguns países europeus, particularmente na Alemanha.



### 3.2.1 Panorama Mundial da Geração Eólico-Elétrica em Conexão com a Rede

Quando se contabiliza o crescimento percentual anual da capacidade instalada de produção de eletricidade por fonte, verifica-se que a tecnologia de aproveitamento dos recursos eólicos, para produção de energia elétrica, vivenciou um grande desenvolvimento nos anos 1990. No entanto, este crescimento não se repartiu uniformemente entre as diversas regiões do mundo. No final dos anos 1990, a Europa detinha 70% da capacidade instalada de energia eólica no mundo, a América do Norte respondia por 19% enquanto a Ásia e o Pacífico possuíam apenas 9% dessa mesma capacidade.

A tabela 3.2 mostra a evolução da capacidade instalada em energia eólica no mundo por regiões entre 1995 e 2001.

**Tabela 3.2 - Evolução da Capacidade Instalada em Energia Eólica – 1995 – 2004 [MW]**

	1995	1997	1999	2000	2001	2003	2004
Europa	2.518	4.766	9.307	12.972	16.362	28.835	34.630
América do Norte	1.676	1.611	2.619	2.695	4.440	6.678	7.196
América do Sul e Central	11	38	87	103	103	166	227
Ásia e Pacífico	626	1.149	1.403	1.795	2.162	3.585	5.275
Oriente Médio e África	13	24	39	141	203	170	246
<b>Total Mundo</b>	<b>4.844</b>	<b>7.588</b>	<b>13.455</b>	<b>17.706</b>	<b>23.270</b>	<b>39.434</b>	<b>47.454</b>

Fonte: Ackermann, 2002, Windpower Monthly, Industry Magazine, 2005.

#### 3.2.1.1 Europa

No período compreendido entre 1995 e 1999, cerca de 75% das novas turbinas eólicas diretamente conectadas às redes de transmissão/distribuição no mundo foram instaladas em território europeu. Credita-se esse diferencial no desenvolvimento europeu, a criação de esquemas institucionais de promoção da ampliação do uso de recursos renováveis a exemplo do *'fixed feed-in tariffs'*. Este suporte legal é definido pelos governos como o preço por kWh que a companhia de distribuição local tem que pagar pela geração de eletricidade, a partir de fontes renováveis de energia, interligada a rede de distribuição local. O *'fixed feed-in tariffs'* permite reduzir os riscos presentes nas variações dos preços da eletricidade, concedendo aos investidores a garantia de uma

renda de longo prazo. O *'fixed feed-in tariffs'* é adotado em alguns países da Europa, a exemplo da Alemanha e Espanha.

Já na Inglaterra, Escócia e Irlanda, o suporte institucional se dá por processos licitatórios. Através deste marco institucional, os potenciais investidores são convidados a submeterem seus projetos de aproveitamento das fontes de energia renováveis a uma licitação. Os projetos são licitados através de distintas tecnologias, considerando o modelo de *'feed-in tariff'* ou pelo recebimento de incentivos a ser pago por cada kWh disponibilizado na rede de distribuição através de sistemas em que se utilizam energias renováveis como fonte primária. A melhor oferta é declarada vencedora e terá uma tarifa garantida, por um período predefinido de tempo.

No ano de 1998 uma nova política de promoção do desenvolvimento de energias renováveis foi introduzida nos países baixos. O esquema institucional assumido tem como base o modelo de adoção de cotas fixas em combinação com a comercialização de "certificados verde". Dessa forma o Governo fixa um volume de cotas para os agentes distribuidores, considerando o volume total em energia renovável por ano que estes agentes teriam que movimentar em suas redes. Por outro lado, os produtores de energia renovável recebem um certificado, definido por uma certa quantia de energia a ser alimentada na rede interligada. As empresas distribuidoras têm a obrigação de compra destes certificados como forma de comprovar que as metas estabelecidas nas contas foram alcançadas. Modelos de promoção de energias renováveis estão sendo construídos em diversos outros países, no entanto, estes preservam, em grande parte, as concepções dos modelos apresentados.

Já no que diz respeito aos avanços tecnológicos, a potência média dos aerogeradores, anualmente instalados na Europa, vem apresentando um crescimento contínuo. Até início de janeiro de 2005 foram instaladas na Alemanha 16.543 aerogeradores que totalizavam uma potência instalada de 16,6 GW. Somente no ano de 2004 foram implementadas 1.201 novos aerogeradores, o que acrescentou 2.037 MW ao sistema (DEWI. 2005).

A tabela 3.3 mostra a evolução da potência média por novos aerogeradores instalados na Alemanha. A mesma permite inferir quão rápido tem se dado o desenvolvimento desta tecnologia no continente europeu. Em pouco mais de uma década a capacidade das turbinas eólicas cresceu em mais de dezenove vezes, atingindo na virada do século a casa dos 1,2 GW.

**Tabela 3.3 - Potência Média Instalada por Novos Aerogeradores na Alemanha**

<b>ANO</b>	<b>POTÊNCIA MÉDIA INSTALADA POR NOVOS AEROGERADORES [KW]</b>
1988	66,9
1989	143,4
1990	164,3
1991	168,8
1992	178,6
1993	255,8
1994	370,6
1995	472,2
1996	530,5
1997	628,9
1998	785,6
1999	935,5
2000	1.114
2001	1.278
2002	1.394
2003	1.552
2004	1.696

Fonte: Ackermann, 2002, DEWI, 2004.

Os primeiros projetos de aproveitamento dos recursos eólicos '*offshore*' no mundo se deram em território europeu, mais precisamente na Dinamarca, Países Baixos e Suécia. Estes aproveitamentos se situam entre 1 e 30 km da costa, a uma profundidade de aproximadamente 10 m. A condição de existência de baixa profundidade e proximidade da costa, em áreas '*offshore*' potencialmente aproveitáveis, em termos de disponibilidade de vento, são fundamentais para a viabilização do projeto, face aos custos vinculados a estas variáveis.

A tabela 3.4 apresenta as principais características dos parques eólicos '*offshore*' já instalados na Europa.

Tabela 3.4 - Parques Eólicos Offshore Instalados na Europa

País	Parque	Ano	Turbinas	Potência	Capacidade de [MW]	Distancia do Continente [km]	Profundidade [m]	Custo [ECU/kW]
Suécia	Nogersund	1991	1	220 kW	0,22	0,25	7	-
	Bockstigen	1997	5	500 kW	2,5	4	5 - 6	~ 1.500,00
	Utgrunden	2000	7	1,5 MW	10,5	8	7 - 10	~ 2.070,00
	Yttre Stengrund	2001	5	2 MW	10	5	8	-
Dinamarca	Vindeby*	1991	11	450 kW	4,95	1,5	3 - 5	~ 2.150,00
	Tuno Knob*	1995	10	500 kW	5	6	3 - 5	~ 2.200,00
	Middelgrunden*	2001	20	2 MW	40	1 - 3	2 - 6	~ 1.200,00
	Frederikshaven	2003	4	2x3 MW 2x2,3 MW	10,6	-	-	-
	Nysted	2004	72	2,3 MW	165,6	10	6 - 9,5	-
	Samsø	2003	10	2,3 MW	23			
	Horns Rev	2002	80	2 MW	160	14 - 20	6 - 14	~1.690,00
Países Baixos	Lely	1994	4	500 kW	2	1	5 - 10	~ 1.700,00
	Dronnten	1996	19	600 kW	11,4	30	1 - 2	-
Reino Unido	Blyth**	2000	2	2 MW	4	1	5 - 6	~ 1.600
	North Hoyle	2003	30	2 MW	60	2,5 - 3,5	9 - 12	-
	Scroby Sands	2004	30	2 MW	60	-	-	-
	Arklow Bank	2004	7	3,6 MW	25,2	10	5	-
<b>TOTAL</b>			<b>317</b>	<b>594,97</b>				

\* Mar Báltico

\*\* Mar do Norte

Fonte: ACKERMANN, 2002. BWEA, 2005.

Diversos projetos de aproveitamento 'offshore' estão sendo desenvolvidos particularmente na Dinamarca - Horns Rev com 150 MW; Rødsand, 150 MW, bem como na Suécia - Lillgrund Bank, 48 MW, Alemanha - Borkum West Borkum, 60 MW, Países Baixos - Mouth of the Western Scheldt River, 100 MW; Ijmuiden, 100 MW, Inglaterra e Irlanda - Kish Bank: 250 MW, Arklow, 200 MW.

O aproveitamento eólico 'onshore' tem verificado um aumento significativo em toda Europa e as previsões são de que a Espanha, Turquia, França e Grécia aumentem muito rapidamente a sua participação no volume total dos aproveitamentos eólico no continente.

A tabela 3.5 apresenta a capacidade instalada em aproveitamentos eólicos no continente europeu.

**Tabela 3.5 - Capacidade Instalada na Europa [MW]**

<b>PAÍS</b>	<b>1995</b>	<b>2001</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>
Alemanha	1.136	8.100	14.609	16.628
Dinamarca	619	2.417	3.115	3.118
Espanha	145	3.175	6.202	8.263
Holanda	236	483	912	1.078
Reino Unido	200	477	704	897
Suécia	67	264	399	442
Itália	25	560	891	1.265
Grécia	28	273	398	466
Irlanda	7	132	225	353
Portugal	13	127	299	523
Áustria	3	86	415	607
Finlândia	7	39	47	82
França	7	87	240	390
Noruega	4	16	112	160
Luxemburgo	0	10	16	35
Bélgica	0	18	68	97
Turquia	0	20	20	20
República Tcheca	7	12	10	17
Polónia	1	16	58	58
Rússia	5	5	7	7
Ucrânia	1	40	51	57
Suíça	0	3	5	8
Latvia	0	1	24	26
Romênia	0	1	1	1
Estonia	0	0	5	6
Hungria	0	0	2	6
Lituânia	0	0	0	6
Croácia	0	0	0	6
Eslováquia	0	0	0	5
Chipre	0	0	0	2
Bulgária	0	0	0	1
<b>Total</b>	<b>2.518</b>	<b>16.362</b>	<b>28.835</b>	<b>34.630</b>

Fonte: Ackermann, 2002, Windpower Monthly, Industry Magazine, 2005

### **3.2.1.2 América do Norte**

Os Estados Unidos vivenciaram uma rápida penetração da tecnologia eólio-elétrica em sua matriz de geração elétrica na metade dos anos 1980, mais precisamente no estado da Califórnia. No entanto, este ciclo virtuoso logo deu sinais de estrangulamento fazendo com que, na metade dos anos 1990, a expansão dos parques eólicos sentisse uma expressiva redução em sua velocidade. Nesse período o descomissionamento das antigas fazendas eólicas chegou a superar a capacidade instalada em novas turbinas, o que, em muitas situações, conduziu a uma redução da capacidade instalada total.

No final dos anos 1990 teve início uma nova etapa de expansão do parque eólico americano. Nesse período os investidores desenvolveram diferentes projetos visando lançar mão do “Production Tax Credit” - PTC, antes da data de sua expiração, definida para ocorrer em junho de 1999.

O PTC disponibilizava 0.016-0.017 US\$/kWh para projetos de aproveitamento elétrico-eólico durante os dez primeiros anos de operação da planta. No período compreendido entre o segundo semestre de 1998 e a data limite do PTC, mais de 800 MW de geração eólio-elétrica foram instalados em território americano, incluído também algo em torno de 120 e 250 MW referente à re-potenciação de parques em funcionamento nas diversas fazendas eólicas instaladas na Califórnia. Uma semelhante situação de rápido crescimento foi verificada no ano de 2001, neste período foi adicionando ao parque produtor eólico uma potência de 1600 MW.

Os principais suportes institucionais viabilizadores da ampliação do aproveitamento eólico em diversos estados norte americanos são resultados da extensão do PTC, bem como da determinação de cotas, associadas à comercialização de ‘*green-certificates*’. Este arranjo institucional é denominado ‘*Renewable Portfolio Standard – RPS*’. Já os certificados são nominados ‘*Renewable Energy Credits – REC’s*’. Há, porém, outros arranjos de apoio financeiro, a exemplo do suporte oferecido pela ‘*California Energy Commission - CEC*’, bem como o esquema ‘*green pricing programs*’, estes programas são caracterizados pelo oferecimento, por parte das distribuidoras, de alternativas de produção de eletricidade a partir de fontes renováveis e/ou ambientalmente amigáveis. Neles cabe aos consumidores a opção de aceitar o pagamento de uma tarifa superior por uma ‘*Eletricidade Verde*’, dessa forma as distribuidoras garantem a produção de uma quantidade de eletricidade, correspondente às demandas estabelecidas pelas escolhas feitas por parte dos consumidores, advindas de ‘*Fontes de Energia Verdes*’, neste arranjo a energia eólica tem sido uma alternativa bastante atrativa.

Em termos tecnológicos a potência típica das turbinas eólicas instaladas na América do Norte até o final dos anos 1990, encontrava-se entre 500 e 1000 kW. As primeiras turbinas da ordem de 1MW foram instaladas no final de 1999 e ganharam amplitude a partir de 2001.

Quando comparado à potência instalada das fazendas eólicas americanas com os projetos europeus, se verifica que a potência global dos projetos americanos são

superiores. Projetos típicos implementados na América do Norte superam os 50 MW de potência instalada, com alguns projetos chegando a atingir até 200 MW, por outro lado, os projetos implementados na Europa normalmente compreendem uma potência instalada da ordem de 20 a 50 MW. A justificativa para um menor aproveitamento das áreas dos parques eólicos, o que reflete em uma menor disponibilidade de potência, está creditada ao fato de que o elevado nível populacional na Europa se traduz em um considerado adensamento do espaço territorial, limitando, por consequência, a expansão do uso do solo para aproveitamento energético.

A tabela 3.6 apresenta a capacidade instalada em aproveitamentos eólicos na América do Norte.

**Tabela 3.6 - Capacidade Instalada na América do Norte [MW]**

PAÍS	1995	2001	2003	2044
Estados Unidos	1.655	4.280	6.352	6.752
Canadá	21	200	326	444
<b>Total</b>	<b>1.676</b>	<b>4.440</b>	<b>6.678</b>	<b>7.196</b>

Fonte: Ackermann, 2002, Windpower Monthly, Industry Magazine

### 3.2.1.3 América do Sul e Central

As Américas do Sul e Central apresentam um considerável potencial de recursos eólicos em uma abrangente área. Contraditoriamente, o desenvolvimento da tecnologia de geração eólico-elétrica ainda não apresenta índices significativos de aproveitamento.

A maior parte dos aproveitamentos eólico-elétricos levados a cabo na América do Sul até o final do século passado, foi suportada financeiramente através de programas de ajuda internacional. Porém, a Argentina introduziu uma nova política de apoio ao desenvolvimento desta tecnologia no final de 1998. O arranjo legal adotado neste país previa o apoio financeiro no que se refere às etapas necessárias a estruturação de um mercado eólico.

No Brasil, os projetos implementados até o ano 2000 foram frutos de ações conjuntas dos governos Federal, Estaduais, através de suas empresas distribuidoras de eletricidade<sup>49</sup> e agências internacionais de fomento às energias renováveis.

<sup>49</sup> Até o ano o início dos anos 1990, as empresas de distribuição de energia elétrica eram, na sua maioria, propriedade dos governos estaduais.

A geração de turbinas de eólicas existentes neste continente tem capacidade em torno 300<sup>50</sup> kW. A penetração das grandes turbinas vivencia alguns gargalos no que concerne à infra-estrutura da região, uma vez que fazem usos de equipamentos de grandes dimensões, que em seu processo de transporte e instalação necessitam de uma malha viária e terminais portuários adequados a estes, além de equipamentos de logística, a exemplo de grandes guindastes.

A tabela 3.7 apresenta a capacidade instalada em aproveitamentos eólicos na América do Sul e Central.

**Tabela 3.7 - Capacidade Instalada na América do Sul e Central [MW]**

PAÍS	1995	2001	2003	2004
Costa Rica	0	51	71	71
Argentina	3	14	26	26
Brasil	2	20	29	48
Caribe	4	13	13	55
México	2	5	5	5
Colômbia	0	0	20	20
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>103</b>	<b>166</b>	<b>227</b>

Fonte: Ackermann, 2002, Windpower Montly, Industry Magazine, 2005.

### 3.2.1.4 Ásia e Pacífico

A Índia vivenciou uma significativa expansão dos aproveitamentos eólico-elétricos na metade dos anos 1990. No período compreendido entre 1992 e 1993, o governo indiano ofereceu consideráveis incentivos aos investimentos que tivessem como objetivo o uso dos recursos renováveis de energia.

Uma taxa mínima de compra foi garantida, bem como foi permitida uma taxa de depreciação de 100% logo no primeiro ano do projeto. Além disso, um sistema de "power banking" foi introduzido, o que permitiu aos produtores dispor a eletricidade produzida nas turbinas eólicas às empresas distribuidoras e evitar o seu corte durante os períodos de queda de oferta. A energia produzida pôde ser negociada por até um ano. Além disso, alguns Estados indianos introduziram incentivos adicionais, por exemplo, subsídios aos investimentos. Esta política viabilizou o estabelecimento de um rápido desenvolvimento de novos investimentos eólico-elétrico entre 1993 e 1997. No entanto, no período seguinte, a velocidade no desenvolvimento dos projetos eólicos sofreu um

<sup>50</sup> No Brasil, está previsto a entrada em funcionamento, no primeiro semestre de 2006, de dois parques eólicos os onde serão instaladas turbinas de 800 KW e 2 MW.



refluxo, este creditado às incertezas relacionadas aos suportes institucionais para os futuros empreendimentos.

O desenvolvimento dos aproveitamentos eólico-elétricos na China é predominantemente fruto de programas de fomentos internacionais, registrando-se também a existência de alguns programas originários do governo central, a exemplo do ‘*Ride-the-Wind*’ conduzido pela Comissão de Planejamento Estatal.

A experiência japonesa de aproveitamento eólico-elétrico até o final dos anos 1990 limitava-se a projetos demonstrativos. Os primeiros projetos de energia eólica de caráter comercial começaram a operar nas ilhas de Hokkaido e Okinawa no final dessa mesma década. O atual interesse em ampliar a participação da energia eólica na matriz elétrica japonesa é evidente e pode-se registrar uma diversidade de ações que tem por objetivo viabilizar tal expansão.

Na Nova Zelândia e Austrália os primeiros empreendimentos comerciais do aproveitamento eólico também foram materializados no final dos anos 1990. Os principais motivadores da introdução desta tecnologia na Austrália foram os arranjos institucional tipo ‘*green pricing programs*’.

A potência típica das turbinas eólicas instaladas na China e Índia está em torno de 300 kW, porém, alguns empreendimentos fazem uso de turbinas com potência entre 500/600 kW. Na Austrália, Japão e Nova Zelândia as turbinas com potência entre 500 a 600 kW são predominantes, porém, projetos experimentais em curso no Japão e Austrália fazem uso de turbinas de 1.5 MW.

A tabela 3.8 apresenta a capacidade instalada em aproveitamentos na Ásia e Pacífico.

**Tabela 3.8 - Capacidade Instalada na Ásia e Pacífico [MW]**

<b>País</b>	<b>1995</b>	<b>2001</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>
Índia	565	1.426	2.120	2.983
China	44	361	566	764
Sri Lanka	0	3	3	3
Korea do Sul	0	8	8	8
Taiwan	0	3	8	16
Japão	5	250	644	940
Nova Zelândia	2	37	38	170
Austrália	10	74	198	380
<b>Total</b>	<b>625</b>	<b>2.162</b>	<b>3.585</b>	<b>5.264</b>

Fonte: Ackermann, 2002, Windpower Montly, Industry Magazine, 2005.

### 3.2.1.5 Oriente Médio e África

No Oriente Médio e continente africano o desenvolvimento da tecnologia elétrica-eólica vem ocorrendo de forma lenta. Os projetos em curso, em sua maioria, são conduzidos sob auspício de organizações internacionais de ajuda e fomento tecnológico.

A potência típica dos aerogeradores instalados nesta região está em torno de 300 kW. No entanto, os novos projetos especificam turbinas com potência situada entre 500/600 kW.

A tabela 3.9 sintetiza para o continente Africano e Oriente Médio o atual estágio dos empreendimentos que fazem uso da energia eólica para geração de eletricidade diretamente conectada à rede.

**Tabela 3.9 - Capacidade Instalada no Oriente Médio e África [MW]**

<b>País</b>	<b>1995</b>	<b>2001</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>
Iran	1	11	11	11
Israel	6	8	8	8
Egito	5	69	125	145
Marrocos	0	54	54	54
Jordânia	1	2	3	3
Restante da África	0	3	6	6
Tunísia	0	0	20	20
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>203</b>	<b>114,5</b>	<b>247</b>

Fonte: Ackermann, 2002, Windpower Montly, Industry Magazine, 2005.

## 3.2.2 Características Tecnológicas

### 3.2.2.1 O Vento

Todas as fontes de energias renováveis, com exceção das fontes geotérmica e maremotriz, incluso também as não renováveis advindas dos combustíveis fósseis, têm sua formação no aproveitamento da energia do sol. A quantidade de energia fornecida diariamente pelo sol à superfície terrestre – depois da reflexão sobre a atmosfera e antes de várias transformações térmicas e químicas, as quais transformam a entrada de energia solar de alta qualidade em calor de baixa qualidade - está em torno de 100.000 TWh, ou seja, uma potência equivalente a 10 TW( JACKSON, 1992 e WIND POWER, 2003).

Considerando que para o consumo comercial mundial de energia se faz uso de uma potência instalada de 10 TW, a energia solar responde por um fluxo de magnitude

muito superior ao fluxo de energia primária requerida pela economia mundial (JACKSON, 1992).

Em última instância, o vento é um recurso proveniente da incidência solar sobre o planeta<sup>51</sup>. Somente um a dois por cento de toda energia proveniente do sol é convertida em energia eólica, esta estimativa corresponde a aproximadamente 50 a 60 vezes a energia convertida em biomassa por toda a vegetação terrestre<sup>52</sup> (WIND POWER, 2003).

O aproveitamento eólico para produção de energia mecânica ou eletricidade é obtido através da captura de parte da energia cinética presente no vento, sendo este, por sua vez, resultado do deslocamento das massas de ar devido às diferentes camadas de temperatura presentes na atmosfera e das desigualdades de conformação existentes na superfície da terra. Os diferentes níveis de pressão que se registram em diversas regiões do planeta resultam também das diferenças de temperaturas nestas regiões. Devido às diferentes pressões o ar flui das regiões de altas pressões para as de baixas (VAROL, 2001).

O movimento das massas de ar pode ser definido como um fenômeno global. O ar é aquecido nas regiões tropicais e torna-se menos denso tendendo a assumir um movimento ascendente. Nas camadas inferiores, ele é substituído pelo ar frio em movimento das regiões polares. Caso adotássemos apenas esse mecanismo para explicar a circulação do ar no planeta, teríamos então a formação de duas células, uma por hemisfério. No hemisfério sul, os ventos estariam orientados do norte para o sul, retornando, próximo a superfície da terra, à orientação sul norte. Já no hemisfério norte, os ventos rumariam na direção sul norte e retornariam, próximo a superfície da terra, na

---

51 Vento – atmosfera em movimento – tem sua origem na associação entre energia solar e a rotação planetária. Todos os planetas envoltos por gases em nosso sistema solar demonstram a existência de distintas formas de circulação atmosférica e apresentam ventos em suas superfícies. Trata-se de um mecanismo solar-planetário permanente; sua direção é mensurável na escala de bilhões de anos. O vento é considerado uma fonte renovável de energia.

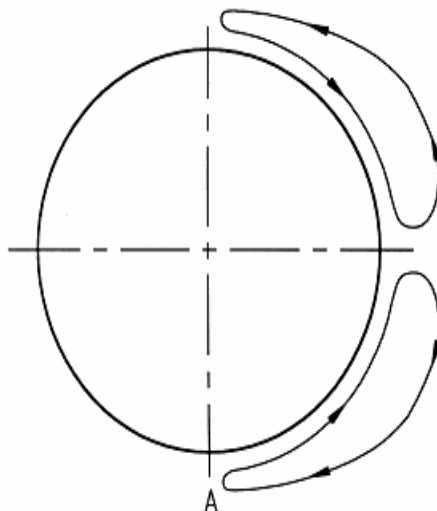
52 Os valores apresentados tomam como referência as seguintes premissas:

- A potência emitida pelo Sol sobre a superfície da esfera que tem o Sol como centro e raio médio tomado pela trajetória terrestre é de  $1.37 \text{ kW/m}^2$ . Esta potência incide sobre um disco circular com área de  $1.27 \times 10^{14} \text{ m}^2$ . Assim a potência emitida à Terra é de  $1.74 \times 10^{17} \text{ W}$ .

- A produção primária líquida das plantas está dimensionada para algo em torno de  $4.95 \times 10^6 \text{ calorias/m}^2$  ao ano. Isto define toda a quantidade de energia disponível na cadeia alimentícia/energética. A área da superfície terrestre é de  $5.09 \times 10^{14} \text{ m}^2$ . Nestes termos a potência armazenada líquida, através das plantas atinge  $1.91 \times 10^{13} \text{ W}$ , o que equivale a 0.011% de potência emitida pelo Sol à terra (Wind Power 2004).

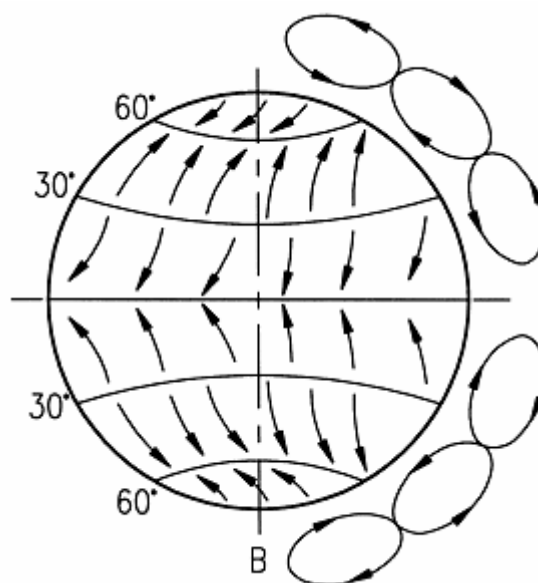
direção norte sul. A figura 3.1 mostra o modelo de circulação de duas células acima descrito (HIRATA, 2000).

**Figura 3.1- Sistema de Circulação Global: Modelo de Duas Células**



Fonte: Hirata, 2000

Por outro lado, é observado que durante a movimentação do ar em direção aos pólos a temperatura das partículas de ar cai rapidamente, de tal forma que em menos de um terço do percurso até os pólos a temperatura já se revela de tal forma reduzida que já é suficiente para estabelecer um movimento descendente nas massas de ar. Parte da massa de ar descendente segue em direção ao equador formando a célula tropical (células de Hadley - uma em cada hemisfério), já a massa de ar remanescente orienta-se em direção aos pólos. A parte da massa de ar que segue em direção aos pólos, próximo à superfície da terra, enfrenta um novo aquecimento, o qual estabelece um novo movimento ascendente, formando então a célula temperada (células de Ferrel - uma em cada hemisfério). Mais uma vez a parcela do ar em movimento ascendente toma a direção dos pólos constituindo assim, a célula polar (uma em cada hemisfério). O mecanismo acima adotado para explicar a circulação do ar no planeta define um modelo de circulação de seis células, como apresentado na figura 3.2 (HIRATA, 2000).

**Figura 3.2 - Sistema de Circulação Global: Modelo de Duas Células**

Fonte: Hirata, 2000

Em que pese a influência dos ventos globais na formação dos ventos dominantes em uma determinada área, as condições climáticas locais também importam de maneira significativa na direção e intensidade dos ventos mais comuns. Nesse contexto, os ventos locais revestem-se de elevada importância aos sistemas de aproveitamentos eólicos, quando da determinação apurada dos locais onde os aerogeradores são instalados.

### **3.2.2.2 A Energia do Vento**

O aproveitamento da energia dos ventos para geração de eletricidade ocorre pela conversão de parte da energia cinética, disponível no ar em movimento, através da redução de sua velocidade quando passam pelas pás do aerogerador. O contato do vento com as pás faz surgir forças de sustentação e de arrasto, realizando assim um trabalho.

A quantidade de energia a ser transferida ao rotor do aerogerador é função da densidade do ar, área coberta pela rotação das pás e da velocidade do vento. Dessa forma pode-se expressar essa potência pela formulação física básica:

$$P = (1/2)m.v^2 \text{ [Watt]} \quad (5.1)$$

Onde:

**P** = potência do vento [Watt]

**m** = massa [kg]

**v** = velocidade do vento [m/s]

Sendo  $A$  [m<sup>2</sup>], a área da seção transversal que intercepta perpendicularmente um fluxo de ar, temos que, para um tempo  $t$  [s], a quantidade total de massa de ar que atravessa uma turbina com uma velocidade  $v$ , pode ser expressa por:

$$m = \rho.A.v.t \text{ [kg]}^{53} \quad (5.2)$$

Substituindo esta expressão em (1), temos:

$$P = (1/2)A.t.\rho.v^3 \quad (5.3)$$

A equação (5.3) expressa a quantidade total de energia eólica. Porém a potência obtida por unidade de área (**P<sub>w</sub>**), pode ser assim apresentada:

$$P_w = P/(A.t) \quad (5.4)$$

Substituindo (4) em (3), obtemos a formulação convencional da energia eólica, a saber:

---

<sup>53</sup> A massa específica do ar é função da pressão e temperatura do ar, os quais são função da altura sob o nível do mar, assim, a massa específica do ar pode ser obtida por:

$$\rho(z) = P_o / (R.T)\exp(-g.z / RT) \quad (5.6)$$

Onde:

**$\rho(z)$**  = massa específica do ar em função da altitude [kg/m<sup>3</sup>]

**$P_o$**  = Pressão atmosférica padrão ao nível do mar [kg/m<sup>3</sup>]

**R** = constante específica do ar [J/Kmol]

**T** = Temperatura [K]

**g** = aceleração da gravidade [m/s<sup>2</sup>]

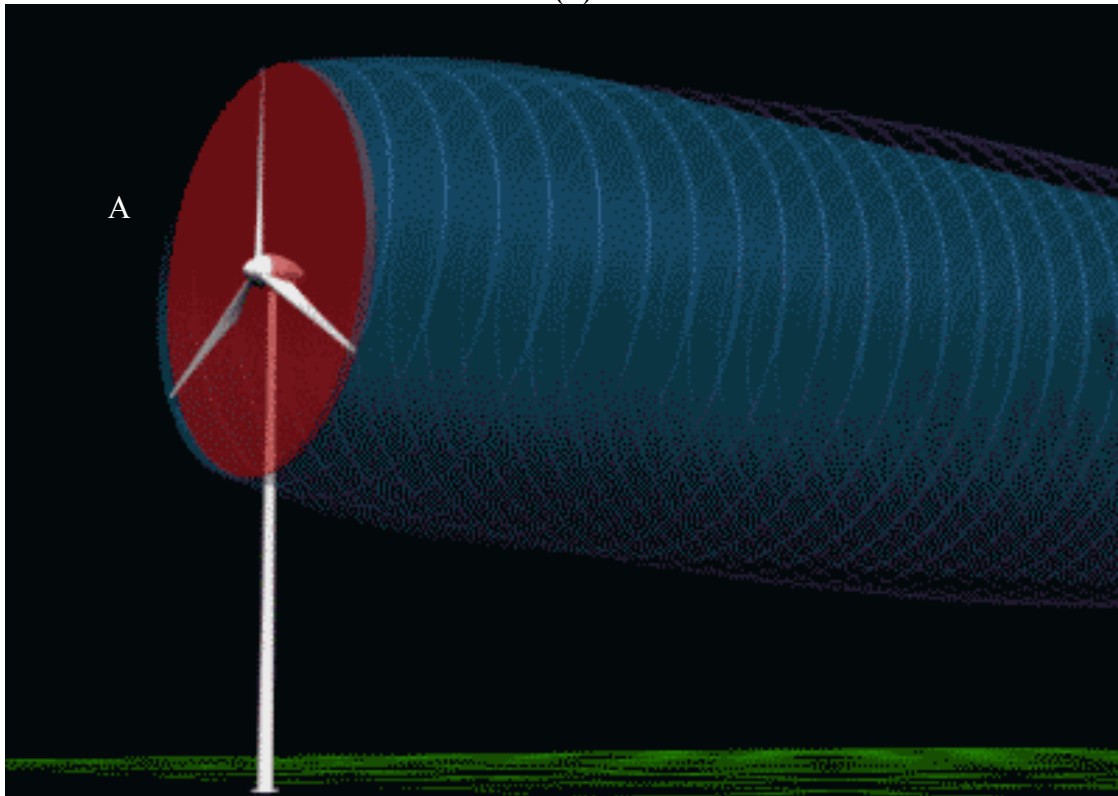
**z** = altitude sobre o nível do mar [m]

$$P_w = (1/2) \cdot \rho \cdot v^3 \quad (5.5)$$

As formulações acima apresentadas permitem concluir que **a potência do vento e conseqüentemente, a potência da saída da turbina variam de forma direta e proporcional ao cubo da velocidade (v)**, dessa forma a variação de uma unidade a mais na velocidade do vento implica em aumento ao cubo na potência disponível, essa constatação explica a importância ímpar de se ter, quando do planejamento de um aproveitamento eólico, o conhecimento melhor detalhado do comportamento do vento no local em análise.

No entanto, a potência do vento também é influenciada diretamente pela massa específica do ar ( $\rho$ ), fazendo com que se estabeleça diferentes níveis de potência para um mesmo valor de velocidade, quando esta é avaliada em diferentes altitudes e temperaturas. A energia a ser disponibilizada pela força dos ventos guarda também uma direta proporcionalidade com a área da seção reta que intercepta perpendicularmente um fluxo de ar, como mostrada na figura 3.3.

Figura 3.3 - Área da Seção Transversal [m<sup>2</sup>] que Intercepta Perpendicularmente um Fluxo de ar (A)



Fonte: [www.windpower.org](http://www.windpower.org)

As turbinas eólicas fazem uso dos ventos que fluem próximo ao solo, em uma área denominada de ‘*camada limite*’. Esta região sofre influência da energia transferida dos fluxos regulares de ventos oriundos dos ventos geotrópicos para as camadas mais baixas, bem como pelas condições impostas nas regiões pelos ventos locais. Devido à rugosidade do solo o fluxo de vento próximo à superfície é muitas vezes turbulento (ACKERMANN, 2002).

A conversão da energia cinética disponível em energia gerada é alcançada pela redução na velocidade do vento. No entanto, o rotor do aerogerador não pode converter totalmente essa energia em energia mecânica (CUSTODIO, 2002).

BETZ, apud ACKERMANN (2002), em 1926 apresentou pela primeira vez sua formulação, definindo que a máxima potência que pode ser extraída do vento é dada por:

$$P_{\text{Betz}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_{p\text{Betz}} \quad (5.7)$$

Onde:



$C_{p_{\text{Betz}}} = \text{Coeficiente de Betz} = 0,59$

Assim,

$$P_{\text{Betz}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot 0,59 \quad (5.8)$$

Dessa forma, mesmo que não ocorra qualquer tipo de perda durante a conversão da energia cinética em energia mecânica, somente será possível a conversão de 59% de toda a energia cinética disponível no vento.

### 3.2.3 Fatores que Influenciam o Regime dos Ventos

A utilização dos recursos eólicos para a produção de energia elétrica necessita de uma análise apurada de diversos parâmetros que permitam prever a viabilidade econômica e as características técnicas e operacionais do empreendimento.

O primeiro grande limitador de um aproveitamento da energia dos ventos é a existência ou não de um bom potencial eólico. A potência gerada em uma turbina eólica varia com o cubo da velocidade de vento, ou seja, qualquer variação na previsão da velocidade pode comprometer um projeto de energia eólica. Portanto, são de extrema importância a qualidade dos dados de velocidade do vento, assim como o tratamento e análise dos mesmos.

A aquisição apurada dos dados de ventos, tanto no que se refere à intensidade da velocidade e sua direção, juntamente com os cálculos dos parâmetros estatísticos compõem a condição básica para se efetivar a avaliação de um futuro aproveitamento eólico. No entanto, é de fundamental importância a análise dos fatores que influenciam o regime dos ventos na localidade do empreendimento. As características do relevo, da rugosidade do solo e dos obstáculos distribuídos ao longo da região influenciam fortemente o regime dos ventos em uma determinada localidade.

Independente do porte e tipo da turbina eólica usada no projeto, a garantia de resultados satisfatórios de um investimento em energia eólica requer um estudo dos diversos parâmetros envolvidos no projeto. Desta forma, é necessário um estudo detalhado das características do local do empreendimento, topografia, rugosidade e

obstáculos, além do estudo detalhado do potencial eólico que inclua a variação temporal e espacial da velocidade do vento.

### 3.2.3.1 Variação da Velocidade

O vento apresenta variação em sua velocidade, em intensidade e direção, onde são observadas alterações em curtos, médios e longos períodos, tornando de suma importância o conhecimento prévio do comportamento dos ventos na região em estudo<sup>54</sup>, ou seja, a caracterização das diferentes formas de como a velocidade varia, torna-se uma ferramenta ímpar no estudo de um aproveitamento eólico.

Quanto ao aproveitamento energético, a descrição de como se comporta a variação dos ventos para que os aerogeradores sejam capazes de maximizar o aproveitamento das ocorrências destes é fundamental, o que, por consequência, permite estimar a energia a ser gerada, bem como minimizar seus custos

Segundo o CRESEB (2005), as variações na velocidade do vento são assim assinaladas:

- As **variações de curta duração** estão associadas tanto às pequenas flutuações quanto às rajadas de vento. Num primeiro momento, essas variações não são consideradas na análise do potencial eólico de uma região, desde que não assumam grandes proporções. As flutuações e a turbulência do vento podem afetar a integridade estrutural do sistema eólico, devido à fadiga que ocorre especialmente nas pás da turbina. Por outro lado, as rajadas, caracterizadas por aumentos bruscos de curta duração da velocidade do vento, geralmente acompanhadas por mudanças de direção, merecem maior atenção.

---

<sup>54</sup> PETERSEN et al, apud ACKERMANN (2002), estimam que as variações que ocorrem na velocidade e direção do vento em um período de 20 anos, imputam uma diferença na energia a ser produzida no período seguinte na ordem de 10% ou menos. Conseqüentemente as incertezas provocadas pelas variações do vento na energia a ser gerada ocorrem em tempo superior a vida útil dos aerogeradores, este fato é economicamente relevante na avaliação dos empreendimentos eólicos. Em muitos locais no mundo as incertezas presentes nos aproveitamentos hidroelétricos, em termos de ciclo hidrológico, se mostram superiores às presentes nos aproveitamentos eólicos.

COROTIS et al, apud CUSTÓDIO (2002), observaram que na grande maioria dos casos (em torno de 90%) pode haver uma variação de até 10 entre o valor médio anual e a média de longo prazo da velocidade do vento.

JUSTUS et al, apud CUSTÓDIO (2002), encontraram diferenças de até 18% entre o valor médio anual e a média de longo prazo, em estações colocadas em regiões com significativas variações de vento.

- As **variações diárias** na velocidade do vento (brisas marítimas e terrestres, por exemplo) também são causadas pelo aquecimento não uniforme da superfície da Terra. Essas variações são importantes quando, após a escolha de uma região, procura-se o local mais adequado para a instalação do sistema eólico dentro dessa área. Ao comparar a evolução da velocidade média, ao longo de um dia típico, percebe-se que há uma significativa variação de um mês para os outros. Com esse tipo de informação pode-se projetar com maior precisão o sistema eólico. Por exemplo, nos locais em que os ventos no período do dia são mais fortes, do que os ventos no período da noite, e a carga de pico ocorrem durante o dia, a carga base pode ser fornecida pelo sistema existente e a carga adicional pelo sistema eólico. Entretanto, se a carga de pico ocorrer durante a noite, provavelmente a demanda será maior que o disponível, e um sistema de estocagem poderá se fazer necessário.
- O aquecimento não uniforme da superfície terrestre resulta em significativas variações no regime dos ventos, resultando na existência de diferentes estações do ano (Variações Sazonais). Considerando que, em função da relação cúbica entre a potência disponível e a velocidade do vento (na altura do eixo da turbina), em algumas faixas de potência, uma pequena variação na velocidade implica numa grande variação na potência. Sendo assim, a utilização de médias anuais (ao invés de médias sazonais) pode levar a resultados que se afastam da realidade.

A distribuição estatística das velocidades dos ventos varia de uma região para outra, e tais diferenças, como anteriormente apresentado, são obtidas em função das condições climáticas locais, e da formação da paisagem e superfície. A representação matemática da variação da velocidade do vento é feita através de uma função de densidade probabilística, sendo que a Distribuição de Weibull se mostra mais ajustada na figuração da distribuição do vento (ARAÚJO, 1989). A função de Weibull tem a seguinte formulação matemática:

$$f(v) = k/c \cdot (v/c)^{k-1} \cdot e^{-(v/c)^k} \quad (5.9)$$

Onde:

$f(v)$  = função densidade de probabilidade

$v$  = velocidade do vento [m/s]

$c$  = fator de escala [m/s] - relaciona-se com a velocidade média local

$k$  = fator de forma [adimensional] – relaciona-se com a variância em torno da média, representando a forma da distribuição de probabilidade (CUSTODIO, 2002).

A figura 3.4 apresenta a Distribuição de Weibull para uma determinada localidade. A reta que divide a figura define a mediana da distribuição estatística em tela, revelando que na metade do tempo a velocidade do vento assume valores inferiores a 6,6 m/s, e na outra metade estes valores superam a velocidade de 6,6 m/s. Os dados que conformam a figura 3.4 são obtidos através de medições de vento, coletadas nas estações anemométricas que armazenam, ininterruptamente, os valores da velocidade média do vento em períodos discretos, podendo variar de minutos a horas. Segundo CUSTODIO (2002), em estudos de aproveitamentos eólico-elétrico, esse período é, normalmente, de 10 minutos.

A velocidade média do vento em um determinado período é dada pela equação abaixo.

$$V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (5.10)$$

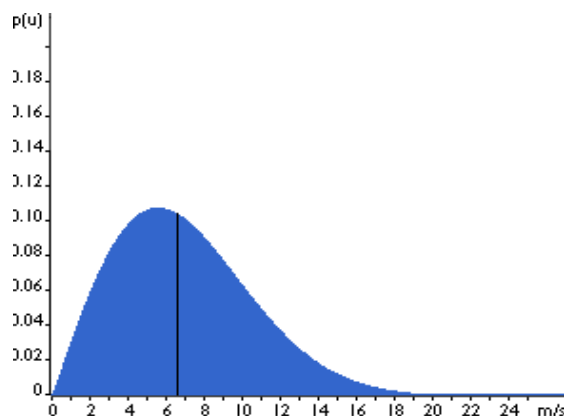
Onde:

$V$  = Velocidade Média em um determinado período

$v_i$  = Velocidade do evento registrado (m/s)

$n$  = número de registros

$i$  = identificação do registro

**Figura 3.4 - Distribuição de Wilbull**

Fonte: [www.windpower.org](http://www.windpower.org)

A velocidade média do vento no período de um dia, como o da figura 3.3, resulta do valor médio das observações das velocidades registradas, para tanto multiplicam-se cada intervalo de velocidade do vento pela frequência dessa mesma velocidade e soma-se todos esses resultados.

Quando o fator de forma é exatamente igual a 2, como o que ocorre na figura 3.4, a distribuição passa a ser denominada Distribuição de Rayleigh. Tal distribuição é, na maioria das vezes, usada em estudos de prospecção em que não se conhece o desvio padrão e dispõe-se apenas do valor médio da velocidade. Nessas condições, através do uso da Distribuição de Rayleigh é possível determinar a distribuição da frequência da velocidade do vento.

A Distribuição de Rayleigh se ajusta bem a situações que apresentam ventos moderados (4 - 8 m/s). No entanto, o ganho obtido pela simplicidade da formulação implica em uma considerável limitação do seu uso, uma vez que para uma série de observações, em especial, aquelas em que se têm velocidades médias mais elevadas, a mesma não pode ser utilizada (DUTRA, 2001).

Importa ressaltar que para os ventos registrados no Nordeste brasileiro a distribuição de Weibull se ajusta muito bem, o mesmo não ocorrendo com a distribuição de Rayleigh.

### 3.2.3.2 Rugosidade do Terreno

O perfil do vento também se mostra fortemente influenciado pela composição da superfície e obstáculos presentes na área em estudo. Estes dois vetores de interferências compõem o que se denomina rugosidade do terreno.

Para grandes alturas em relação ao solo, a superfície terrestre pouco influencia no comportamento da velocidade do vento. No entanto, nas camadas mais baixas da atmosfera, as velocidades do vento são afetadas pelo atrito com a superfície terrestre.

Em geral, quanto mais acentuada a rugosidade do terreno maior será a diminuição que o vento sofre em sua velocidade. Assim, a rugosidade do terreno onde será feito o aproveitamento eólico deve ser baixa, de forma a diminuir em menores taxas a velocidade do vento na altura do rotor. O ideal é que baixas rugosidades também estejam presentes no entorno do terreno, na direção principal do vento (CUSTODIO, 2002).

Áreas de florestas e cidades têm uma rugosidade muito elevada e, portanto, diminuem muito a velocidade do vento, quando comparadas, por exemplo, com as áreas de pistas de pouso em aeroportos. As superfícies marinhas são menos rugosas e, por consequência, incorrem nas mais baixas influências sobre o vento. A indústria eólica se refere à classe de rugosidade ou comprimento de rugosidade, quando se avaliam as condições do vento em função da paisagem local. As altas rugosidades são locadas nas classes 3 e 4, referindo-se a paisagens compostas de muitas árvores e edifícios, e as superfícies marinhas enquadram-se na classe 0. A tabela 3.10 mostra as classes de rugosidade adotadas no programa computacional que foi usado para elaboração do Atlas Eólico Europeu: o WAsP – the Wind Atlas Analysis and Application Program.

Tabela 3.10 - Classes e Comprimento de Rugosidade.

CLASSE DE RUGOSIDADE	COMPRIMENTO DE RUGOSIDADE (M)	ÍNDICE DE ENERGIA (%)	TIPO DE PAISAGEM
0	0,0002	100	Superfície marinha
0,5	0,0024	73	Terreno completamente aberto com uma superfície lisa, Ex, pistas de pouso dos aeroportos, relva, etc.
1	0,03	52	Área agrícola aberta sem cercas ou sebes e com edificações bastantes dispersas. Colinas suavemente arredondadas
1,5	0,055	45	Áreas agrícolas com algumas edificações e quebra ventos de 8 metros de altura com uma distância aproximada de 1,250 m.
2	0,1	39	Áreas agrícolas com algumas edificações e quebra ventos de 8 metros de altura com uma distância aproximada de 500 m.
2,5	0,2	31	Áreas agrícolas com algumas edificações e quebra ventos de 8 metros de altura com uma distância aproximada de 250 m.
3	0,4	24	Povoados, pequenas cidades, terreno agrícola, bosques e terreno acidentado e muito desigual
3,5	0,8	18	Grandes cidades com edifícios altos
4	1,6	13	Metrópoles com edifícios altos e arranha-céus

Fonte: WIND POWER, 2003 a partir das Definições do Atlas Eólico Europeu, WASP.

### 3.2.3.3 Influência da Altura

O perfil do vento se modifica de acordo com o distanciamento do nível do solo. Dessa forma, se observa que o vento assume maiores velocidades na medida em que se afasta do solo. Tal consideração reveste-se de grande importância quando da especificação de um aerogerador, isso porque as medidas de velocidade do vento nem sempre são feitas exatamente na altura do eixo das turbinas, sendo então necessário extrapolar a velocidade do vento. Para extrapolar a velocidade é imprescindível conhecer como se comporta a camada limite do vento ou a distribuição espacial de sua velocidade.

Uma das formulações matemáticas do perfil vertical do vento mostra que a velocidade do vento a uma certa altura pode ser estimada a partir de um dado de velocidade medida em uma altura de referência:

$$v = v_{\text{ref}} \ln(z/z_0) / \ln(z_{\text{ref}}/z_0) \quad (5.10)$$

$v$  = velocidade do vento a uma altura  $z$  sobre o nível do solo;

$v_{ref}$  = velocidade de referência. Representa a velocidade do vento que já é conhecida (medida na altura de referência);

$z$  = altura sobre o nível na qual se está determinando a velocidade  $v$ ;

$z_0$  = comprimento da rugosidade no local;

$z_{ref}$  = altura de referência. A altura na qual conhecemos a velocidade do vento  $v_{ref}$ .

A literatura (ROHATGI, 1994) também mostra que se pode determinar a distribuição espacial da velocidade do vento através do perfil exponencial que se encontra modelado pela equação (5.11):

$$\frac{V_2}{V_1} = \left( \frac{h_2}{h_1} \right)^\alpha \quad (5.11)$$

Onde  $V_2$  e  $V_1$  são os valores de velocidade do vento na altura para a qual se quer calcular o novo valor e a velocidade medida na altura do anemômetro, respectivamente e  $h_2$  e  $h_1$  são a nova altura e a altura do anemômetro. O parâmetro  $\alpha$  depende da rugosidade do local que representa um terreno classe II.

Quando não se tem o conhecimento da rugosidade local, pode ser usado o valor de  $\alpha$  como 1/7.

### 3.2.3.4 Direção dos Ventos

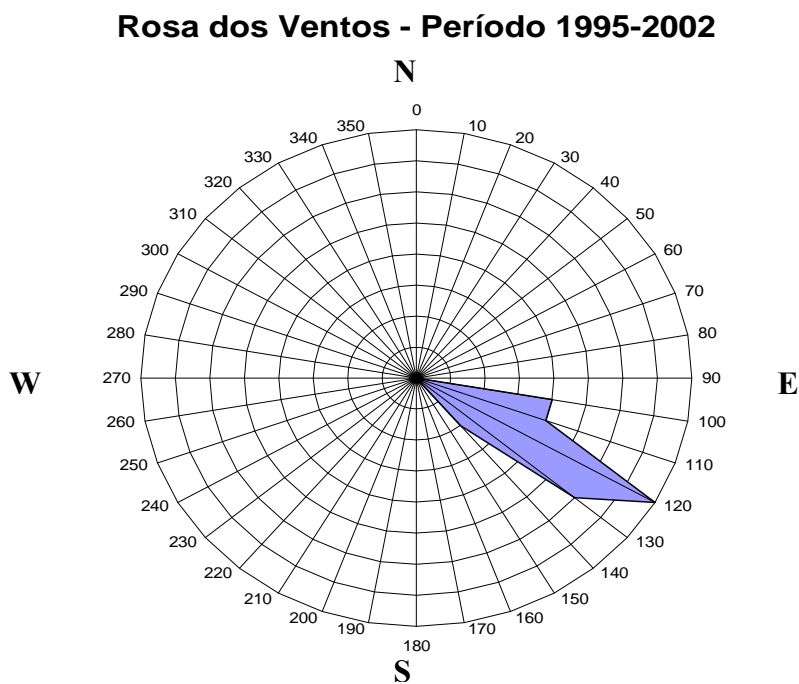
Uma vez que os ventos também variam a sua direção ao longo de um determinado período, se faz imperativa a determinação desse comportamento, como forma de avaliar a possível conformidade de uma determinada turbina ao comportamento variável das direções predominantes do vento. A direção do vento é também de grande importância para o projeto do parque e a definição do layout das máquinas.

A rosa dos ventos permite versar sobre as informações da distribuição da velocidade do vento e a frequência da variação de sua direção.

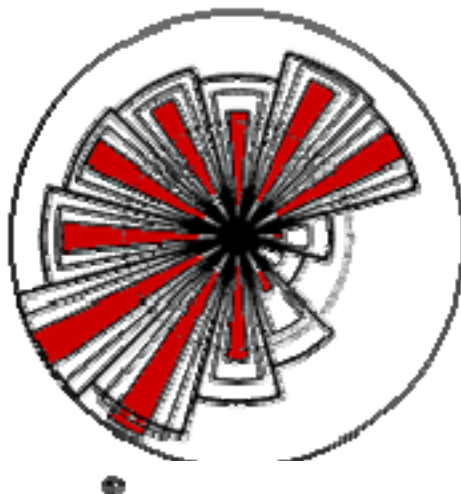


A figura 3.5 apresenta a rosa dos ventos para a área do Aeroporto Pinto Martins na Cidade de Fortaleza. Nela se pode observar que a direção predominante do vento é E.SE e que a região apresenta pouca variação na sua direção. Isso indica que a quase totalidade da energia a ser produzida pela turbina eólica virá dos ventos que sopram na direção E.SE.

**Figura 3.5 - Área do Aeroporto Pinto Martins na Cidade de Fortaleza**



Como forma de favorecer uma comparação, em termos de variabilidade da direção dos ventos, apresenta-se na figura 3.6, a rosa dos ventos na região de Brest (França). A figura permite observar que a região apresenta grande variação na direção de seus ventos e que a direção predominante está a sudoeste.

**Figura 3.6 - Rosa dos Ventos – Brest (França)**

Fonte: [www.windpower.org](http://www.windpower.org)

A figura 3.6 foi construída dividindo a rosa dos ventos em 12 setores, cada um com três sub-setores (externo, médio e interno). O sub-setor externo representa a frequência relativa, ou seja, revela o percentual de tempo que o vento sopra naquela determinada direção.

O sub-setor médio representa a contribuição na velocidade média do vento e o sub-setor interno, em vermelho, indica a contribuição da energia contida no vento.

### 3.2.5 Tipos de Turbinas

Os sistemas eólicos de conversão de energia são classificados em dois tipos, a saber: aqueles que utilizam a força de **arrasto** (aerodynamic drag) e os que utilizam a força de **sustentação** (aerodynamic lift).

As turbinas modernas, preferencialmente, utilizam a concepção da ‘sustentação’. Nelas são usados aerofólios que interagem com o vento que as alcançam. Nessa concepção, a força resultante sobre as pás é composta, não apenas da força de arrasto alinhada à direção do vento, mas também, de uma força perpendicular ao plano de arrasto - força de sustentação. Por definição a força de sustentação é perpendicular à direção do fluxo de ar que é interceptado pela lâmina do rotor e, devido a sua atuação no rotor produz o torque necessário ao movimento do mesmo.

As turbinas eólicas que utilizam a concepção da força de sustentação podem ser divididas, de acordo com a orientação do seu eixo de giro, em turbinas de **eixo vertical** ou de **eixo horizontal**. As turbinas de eixo vertical (figura 3.7), comumente denominadas de Darreius<sup>55</sup>, fazem uso de aerofólios simétricos e ligeiramente curvados em forma de “C”.

As turbinas de eixo vertical foram desenvolvidas e comercializadas nos anos 1970 mantendo-se a sua pesquisa, mesmo que de forma restrita, até o fim dos anos 1980. A turbina eólica de eixo vertical de maior potência foi instalada no Canadá e totalizava uma capacidade de 2.200 kW.

As grandes vantagens diferenciais deste tipo de turbinas consistem no fato que elas operam independentemente da direção do vento e também por terem a parte eletromecânica (rotor – caixa de transmissão e gerador) alocadas no nível do solo, reduzindo, portanto, os custos de instalação e manutenção. Como desvantagem, e por isso a justificativa para o papel secundário dessa tecnologia na expansão do mercado mundial de energia eólica, pode-se apresentar:

- Apresenta elevados níveis de flutuação no torque em cada giro;
- Não apresenta capacidade auto-partida (não é capaz de partir sem um auxílio externo);
- Possuir uma limitada capacidade de regulação em altas velocidades;
- No nível do solo a velocidade do vento é muito baixa, isso implica em uma menor capacidade de produção de energia.

A partir do final dos anos 1980, face aos resultados insatisfatórios no que se refere à sua pouca flexibilidade a ajustes a diferentes perfis de vento e, em especial, devido ao seu rendimento mostrar-se inferior aos registrados pelas turbinas de eixo horizontal, as turbinas Darreius tiveram as suas pesquisas e desenvolvimentos interrompidos quase que mundialmente.

---

<sup>55</sup> Esta denominação é creditada ao fato de que as mesmas foram inicialmente projetadas pelo engenheiro George Darreius que patenteou esta concepção de turbina em 1931.

**Figura 3.7 - Turbinas de Eixo vertical**

Fonte: [www.windpower.org](http://www.windpower.org).

Todos os aerogeradores hoje conectados à rede elétrica são construídos com turbinas de eixo horizontal - Horizontal Axis Wind Turbines (HEWT's). As turbinas de eixo horizontal consistem de uma torre e uma nacela, as quais são montadas no topo de uma torre. A nacela abriga o gerador elétrico, a caixa de transmissão de velocidade e o rotor. Para a orientação do rotor na direção do vento ou a sua retida, os aerogeradores de eixo horizontal fazem uso de diferentes tecnologias. Nas turbinas de pequenas potências, o rotor e a nacela são orientados para a direção do vento através de um leme. Em grandes turbinas, essa orientação é feita eletronicamente, via sinal recebido de um anemômetro também instalado na parte superior da nacela.

As turbinas de eixo horizontal (Figura 3.8) são feitas com diferentes números de pás. O emprego a ser dado a turbina é o fator de definição do total de pás a ser utilizado. Turbinas com três pás são predominantemente usadas para a geração de energia elétrica. Quando o uso da turbina é orientado ao bombeamento de água, estas apresentam um elevado número de pás, podendo chegar a vinte ou mais pás.

A Quantidade de pás utilizada é inversamente proporcional à velocidade no eixo do rotor e diretamente relacionada ao torque promovido no mesmo, dessa forma, quanto menor o número de pás mais rápido o eixo gira. Turbinas com um número elevado de

pás apresentam uma baixa relação de velocidade, mas, por outro lado, possuem um alto torque inicial. Este torque elevado pode ser aproveitado para se dispor de uma partida automática para bombeamento de água quando a velocidade do vento se eleva. Turbinas eólicas com duas ou três pás apresentam uma alta relação de velocidade, com um baixo torque inicial. Estas turbinas podem necessitar de um auxílio para a sua partida, quando a velocidade do vento alcança a sua faixa de operação. Por outro lado, com uma alta relação de velocidade pode-se fazer uso de uma caixa de câmbio menor, e por conseqüência, mais leve, para que se possa alcançar o nível de velocidade exigida no eixo do gerador elétrico evitando, dessa forma, um auxílio na partida.

**Figura 3.8 - Turbinas de Eixo Horizontal**



Fonte: [www.windpower.org](http://www.windpower.org)

## **3.2.6 Rotas Tecnológicas**

### **3.2.6.1 Concepções de Projetos**

Os atuais desenhos das turbinas eólicas lançam mão de distintas concepções, sendo estas adotadas de acordo com os perfis de funcionamento desejados no projeto. No entanto, como apresentado por THRESHER (1998), três tendências de construção são as que predominam no mercado. A saber:

1. Turbinas projetadas para suportarem elevadas cargas. Características construtivas:
  - Confiabilidade otimizada;

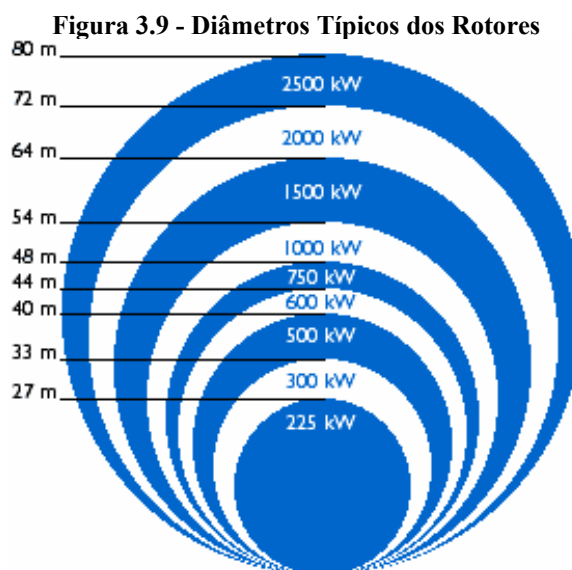
- Pás de alta resistência e controle de passo não otimizado;
  - Possuem três ou mais pás;
2. Turbinas projetadas para se ajustar à carga e também liberá-la. Características construtivas:
- *Performance* otimizada;
  - Pás de baixa resistência e controle de passo otimizado;
  - Elevada relação de velocidade.
3. Turbinas projetadas para gerenciar o controle de carga de forma mecânica e/ou elétrica. Características construtivas
- Controle otimizado;
  - Possui inovações mecânicas e elétricas (geradores de velocidades variáveis, controles no movimento das pás, entre outras.);
  - Duas ou três pás;
  - Moderada relação de velocidade.

Cada uma dessas concepções apresenta certo grau de liberdade em termos de detalhamento de desenho. De acordo com as condições locais de vento, distintos desenhos de rotor, em termos de dimensões do seu diâmetro e características aerodinâmicas podem ser projetados. Sítios onde se verifica a existência de ventos de altas velocidades se mostram indicados para o uso turbinas de rotor de menor diâmetro com um perfil aerodinâmico que permita atingir sua máxima eficiência nas velocidades compreendidas entre 14 – 16 m/s. Para regiões de baixas velocidades, rotores de maiores diâmetros são usados, porém, seu perfil aerodinâmico será tal que alcance a máxima eficiência em torno de 12 – 14 m/s. Nos dois casos o objetivo é maximizar a produção anual de eletricidade (ACKERMANN, 2002).

Em termos de potência dos aerogeradores os fabricantes podem otimizar suas máquinas ajustando-as às condições de vento no local de aproveitamento. No caso brasileiro, face às características dos ventos, verificadas na maior parte de seu território, apresentarem pouca variação de sua direção e excelentes velocidades, o desenvolvimento de uma turbina mais ajustada ao perfil dos ventos brasileiros mostra-se

como um caminho a ser trilhado no desenvolvimento nacional do mercado de energia eólica.

A figura 3.9 apresenta as dimensões típicas dos diâmetros dos rotores dos aerogeradores comercializados no mundo.



Fonte: [www.windpower.org](http://www.windpower.org)

### 3.2.6.2 Numero de Pás

As pás do rotor utilizadas em aerogeradores apresentam-se como um componente crítico de todo o sistema de geração eólico-elétrico. No início do desenvolvimento da indústria eólica estas pás eram manufaturadas usando a madeira. No processo de desenvolvimento da tecnologia estas foram substituídas por pás de aço galvanizado. Logo depois o alumínio passou a ser a matéria prima de produção das pás, seu ganho tecnológico residia no fato de que este material tornava as pás mais leves e robustas. Em duas últimas décadas recentes, pás construídas de fibra de vidro tornaram-se bastante popular, esta forma construtiva adiciona ganhos de redução de peso, aumento de flexibilidade (BANSAL, 2002).

Para SHIKHA (2003), a questão da definição do total de pás empregado em uma turbina reveste-se de uma boa abordagem técnica e econômica: turbinas de uma pá minimizam as perdas de energia advindas da força de arrasto. No entanto, as estruturas que utilizam duas ou três pás são consideradas as melhores formas de promover estabilidade, desempenho aerodinâmico e menores custos. A desvantagem em termos de

energia vinculada a uma turbina de uma pá, quando comparada a turbinas de três pás está em torno de 10%. Quando a comparação é feita entre turbinas de três e duas pás este valor atinge aproximadamente 4%. As Turbinas de três pás são mais simples em termos dinâmicos e um pouco mais eficientes aerodinamicamente.

Ao se projetar uma turbina considerando o uso de uma, duas ou três pás, para uma mesma relação de velocidades, se verifica que a turbina que faz uso de três pás sofrerá um maior tensionamento e, por consequência, os custos de produção das pás serão mais elevados. É evidente que o efeito total da turbina na formação do custo efetivo (energia produzida / capital investido) é o que realmente importa e tal determinação só pode ser feita a partir de uma avaliação que considere a completa estrutura de produção e uso de uma determinada turbina (SHIKHA, 2003).

A diferença estrutural dinâmica existente entre as alternativas de uso de três ou duas pás está relacionada ao momento de inércia destas. O uso de três pás tem a vantagem de que o momento de inércia é de fácil equacionamento, e, portanto, mostra-se mais facilmente controlável que o momento de inércia de turbinas com duas pás. Rotor com três pás apresenta simetria em seu movimento polar, o que não ocorre no movimento do rotor que utiliza duas pás, além disso, é atribuído às turbinas de três pás um melhor impacto visual e menor nível de ruído (ACKERMANN, 2002 e BANSAL, 2002).

Uma vez que é no continente europeu que está concentrada a grande indústria eólica-elétrica, as tendências adotadas neste revestem-se de verdade nas regiões onde a tecnologia encontra-se em fase de implementação, como é o caso do Brasil.

Na atualidade, turbinas que fazem uso de três pás dominam totalmente o mercado para aproveitamento eólico-elétrico conectado a rede elétrica.

### **3.2.6.3 Controle Aerodinâmico de Potência**

Quando o vento assume valores de velocidades acima daquela que fornece a potência de regime, a energia produzida no rotor deve ser limitada, como forma de se manter o nível de potência produzida no rotor, nos valores próximos ao da máxima capacidade de projeto, para isso, deve-se reduzir as forças motrizes que atuam em cada pá do rotor, bem como, a carga total que atua na estrutura da turbina. O atual estágio de



desenvolvimento das turbinas eólicas oferece três formas construtivas que permitem o controle da potência produzida no rotor, a saber:

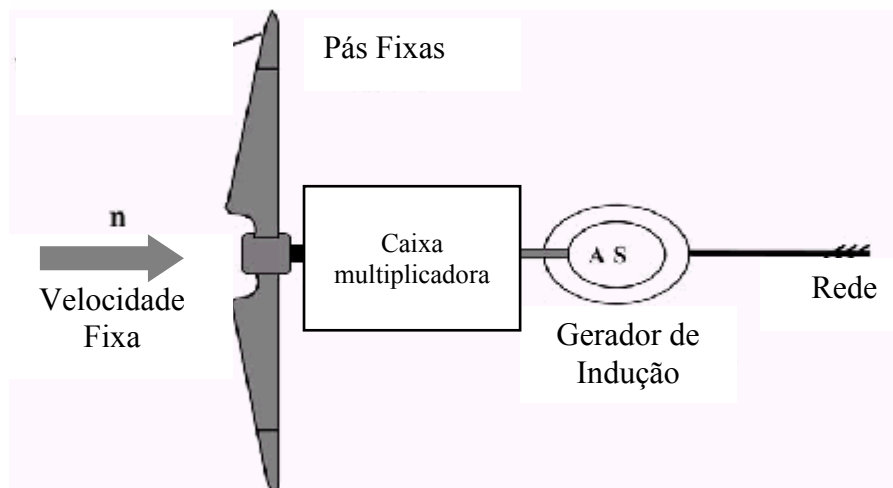
### **Controle por Estol (*Stall Regulation*)**

Neste sistema, as pás são fixadas de tal forma que não é possível girá-las em torno de seu eixo longitudinal. Devido ao perfil do aerofólio, o fluxo de ar nas pás do rotor modifica-se criando turbulências em condições de altas velocidades de vento na parte da pá que não está voltada diretamente para o vento. Dessa forma o fluxo de ar na área próxima ao perfil da pá se afasta da superfície provocando turbulências entre este fluxo e a superfície. Este efeito é conhecido como '*stall effect*'. O resultado é a redução da força de sustentação e aumento da força de arrasto (CUSTÓDIO, 2002).

O estol promove uma redução das forças aerodinâmicas e, por conseqüência, a redução da potência produzida pelo rotor. Este consiste de um complicado processo aerodinâmico.

O '*stall effect*' mostra-se de difícil determinação e agrava-se ainda mais em condições de ventos instáveis. Por muito tempo os projetistas de turbinas eólicas consideraram o '*stall effect*' como sendo de difícil utilização em turbinas de grande porte. Porém, devido à experiência acumulada no desenvolvimento de pequenas e médias turbinas foi possível desenvolver métodos confiáveis de definição do '*stall effect*'. Nos dias de hoje alguns fabricantes de turbinas com potência na ordem de uma unidade de Megawatt usam '*stall-regulation*' (CUSTÓDIO 2002, ACKERMANN, 2002, SHIKHA, 2003). A Figura 3.10 mostra o esquema típico de um aerogerador com controle por Estol.

**Figura 3.10 - Aerogerador com Controle por Estol**



Fonte: [www.windpower.org](http://www.windpower.org), 2003

### Controle de Passo

Neste sistema, as pás são fixadas ao cubo do rotor de forma a ser possível o giro das mesmas em torno do seu eixo longitudinal. Esta flexibilidade permite o controle da potência produzida no rotor. O avanço das pás sobre seu eixo é feito através de um sinal emitido pelo gerador de potência. Quando se efetua o giro das pás ao redor do seu eixo, se está modificando as condições relativas do vento, bem como as forças aerodinâmicas que atuam sobre as pás, de maneira tal que a potência produzida pelo rotor permaneça constante depois de atingida a potência nominal definida para a turbina.

O controle de passo utilizado em médias e grandes turbinas, normalmente se baseia em um sistema hidráulico controlado por um computador. Alguns fabricantes também usam motores elétricos, controlados eletronicamente, para efetuar o avanço no passo das pás. Este sistema de controle deve ser capaz de ajustar gradualmente o passo das pás sempre que ocorrer uma variação de velocidade, de forma a manter uma produção constante de potência na saída do rotor.

O impulso provocado pelo rotor sobre a torre e estrutura de fundação em aerogeradores com controle de passo é consideravelmente menor que o provocado por turbinas com controle de estol. Esta constatação permite observar a existência de uma redução de material empregado e por consequência um menor peso de toda estrutura em aerogeradores com controle de passo.

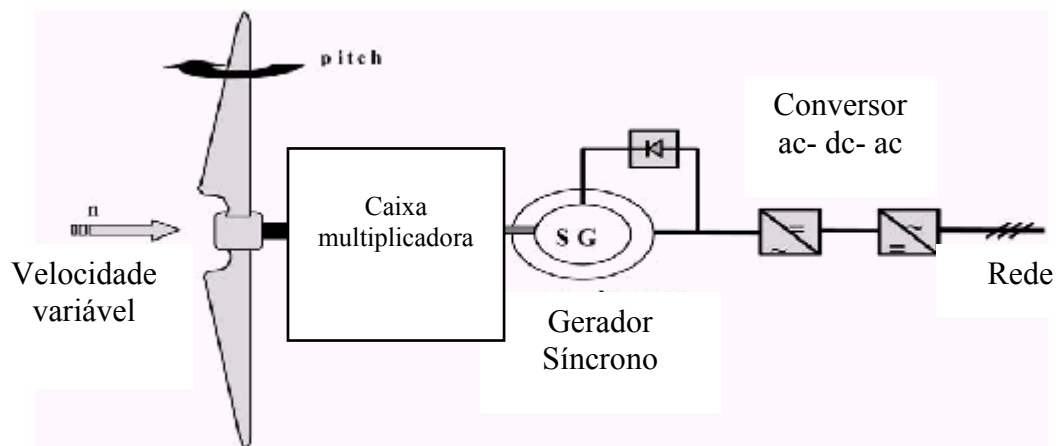
Turbinas que usam o controle de passo apresentam melhores rendimentos em regiões onde predominam ventos com menores médias de velocidade do que turbinas

com controle de estol, isso ocorre porque as pás do rotor, em turbinas com controle de passo, podem ser constantemente mantidas em um ângulo ótimo, mesmo que em baixas velocidades.

Turbinas com controle de estol devem ser desligadas sempre que uma determinada velocidade do vento for atingida. Nas turbinas com controle de passo é possível mudar gradualmente a velocidade de giro do rotor, podendo as mesmas operar, inclusive, em uma situação em que não haja carga, bastando para isso basta avançar as pás até seu ângulo máximo.

Em altas velocidades, quando o efeito de estol torna-se efetivo, as turbinas com controle de estol apresentam a vantagem de converter a energia do vento com menos oscilação que a conversão verificada em turbinas com controle de passo dentro de um mesmo modo de regulação. A Figura 3.11 mostra o esquema típico de um aerogerador com controle de passo.

**Figura 3.11 - Aerogerador com Controle de Passo**



Fonte: [www.windpower.org](http://www.windpower.org), 2003

### Controle Ativo de Estol

Esta forma de regulação consiste na junção e uso das técnicas de controle de passo e estol. Em baixas velocidades de vento as pás são avançadas sobre seu eixo tal como no sistema de controle de passo, com o objetivo de alcançar o ponto de maior eficiência e estabelecer um torque razoavelmente elevado que garanta uma determinada força de giro.

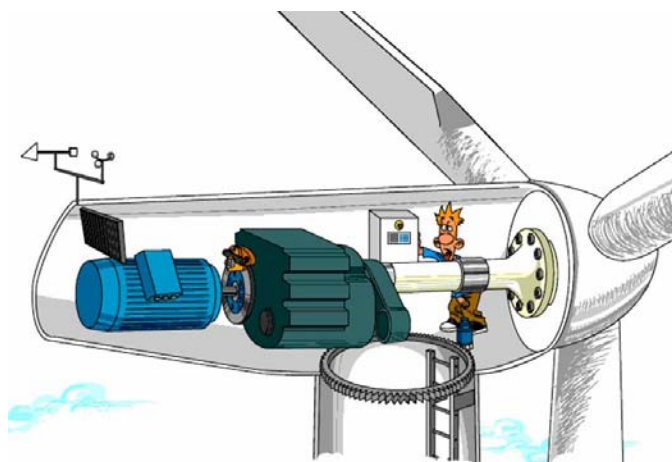
Quando a turbina atinge sua capacidade de projeto, o controle ativo de estol avança as pás na direção oposta do avanço feito pelas turbinas de controle de estol. Este movimento aumenta o ângulo de ataque das pás do rotor no objetivo de conduzir as pás a um maior efeito de estol. Argumenta-se favorável ao Controle Ativo de Estol, o fato de que neste sistema de controle é possível alcançar uma produção regular de energia, semelhante à energia obtida nas turbinas de controle de passo, de forma mais simplificada em sua determinação.

#### 3.2.6.4 Geradores de Eletricidade

Os geradores são equipamentos responsáveis pela conversão da energia mecânica em energia elétrica, sendo esta técnica um desafio tecnologicamente dominado. Grupos geradores são continuamente produzidos para compor as unidades hidroelétricas e termoelétricas, estando também comercialmente disponíveis para uso em sistemas isolados a diesel.

Nos aproveitamentos eólico-elétricos, a energia mecânica obtida do vento é conduzida ao eixo do gerador elétrico através do sistema de transmissão. Este sistema consiste de um rotor acoplado ao eixo que está conectado ao rotor do gerador elétrico, de forma direta ou através de uma caixa de transmissão. A figura 3.12 ilustra um arranjo padrão de conexão do eixo do rotor do aerogerador ao eixo do gerador elétrico.

**Figura 3.12 - Arranjo Padrão de um Aerogerador**



A aplicação de geradores elétricos em aproveitamentos eólicos apresenta particularidades, estas postas pelas restrições de oferta de energia primária ao eixo do gerador, notadamente vinculadas às variações de velocidade do vento.

A característica variável da fonte primária de energia (o vento) introduz outras implicações de ordem técnica, a exemplo das variações do torque de entrada, uma vez que as alternâncias observadas na velocidade do vento implicam na variação da potência entregue ao eixo de transmissão do rotor e se faz necessário o estabelecimento de uma energia gerada em níveis constante de tensão e frequência.

Os aerogeradores podem ser projetados para usarem geradores síncronos ou assíncronos (geradores de indução), podendo também ser prevista distintas formas de conexão a rede: conexão direta ou indireta. Na conexão direta os terminais de saída do gerador estão diretamente acoplados à rede elétrica. Em uma conexão indireta a corrente produzida pelo gerador passa por um conjunto de dispositivos eletro-eletrônicos para que se possa fazer o ajuste desta corrente aos padrões da rede local.

Em usos destinados a sistemas isolados em pequenos aproveitamentos, o objetivo, na maioria das vezes é o carregamento de baterias, nesta situação, pode-se adotar o uso de um gerador de corrente contínua ou gerador síncrono com retificador. Quando da opção por geradores de corrente contínua não se verifica a necessidade de um controle da velocidade do rotor, uma vez que nessa tecnologia a tensão se mostra independente da velocidade. No Brasil, a experiência mostra que os geradores síncronos com retificador são geralmente usados em aproveitamentos com potências superiores a 1 kW.

### **3.2.7 A Experiência Brasileira**

A instalação de uma turbina de 75kW na ilha de Fernando de Noronha marcou o início do aproveitamento dos recursos eólicos para a geração de energia elétrica no Brasil. Hoje, o país tem uma capacidade instalada de 28,5 MW com turbinas eólicas de médio porte conectadas diretamente à rede elétrica. Além disso, existem dezenas de turbinas eólicas de pequeno porte funcionando em locais isolados da rede convencional,

tendo seu uso destinado ao bombeamento de água, carregamento de baterias, sistemas de telecomunicações e eletrificação rural em comunidades isoladas.

Atualmente no Brasil, diversos grupos, institutos e centros de pesquisas dedicam-se ao estudo, desenvolvimento, aplicação e difusão desta tecnologia, bem como da quantificação e qualificação das possíveis áreas de aproveitamento. Dentre o conjunto destes centros vale ressaltar o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito – CRESESB, ligado ao Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), o Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE), ligado à Universidade Federal de Pernambuco e o Laboratório de Fontes Alternativas de Energia – LAFAE da Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia da UFRJ.

A presença da energia eólica na matriz brasileira de geração de energia elétrica ainda é pouco significativa, estando toda a sua capacidade instalada, distribuída em apenas 10 centrais eólicas em operação no país. As características principais de cada empreendimento estão descritas a seguir.

**A Usina de Fernando de Noronha** foi instalada em 1992, em Pernambuco no arquipélago de Fernando de Noronha, possuindo uma turbina composta por um gerador assíncrono de 75 kW, rotor de 17 m de diâmetro e torre de 23 m de altura de origem dinamarquesa produzida pela Folkecenter. O empreendimento é resultado da parceria entre o Grupo de Energia Eólica da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, com financiamento do Folkecenter (instituto de pesquisas dinamarquês) e a Companhia Energética de Pernambuco – CELPE. A unidade tem geração média anual de 120 MWh/ano.

Uma segunda turbina, operando com um gerador de 225 kW, pás de 13 m de comprimento, torre de 30 m de altura entrou em operação em 2001. Esta segunda unidade foi implementada pelo Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE), contando com apoio da RISØ National Laboratory da Dinamarca, e financiamento da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

**A Central Eólica Experimental do Morro do Camelinho** construída no ano de 1994, no Município de Gouveia, Estado de Minas Gerais. Esta central é composta por 4 turbinas de 250 kW, com rotor de 29 m de diâmetro e torre de 30 m de altura, possuindo uma capacidade instalada de 1 MW. O projeto foi concebido e executado pela Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, com aporte financeiro do governo

alemão, sendo a Take a empresa fornecedora dos equipamentos. A geração média de eletricidade da central está estimada em 2.000 MWh/ano.

A **Central Eólica de Taíba** juntamente com a **Central de Prainha** foram, em 1999, os primeiros parques eólicos comerciais instalados no Brasil. O parque de **Taíba**, está localizado em uma área de dunas no Município de São Gonçalo do Amarante, no Estado do Ceará, e tem uma capacidade instalada de 5 MW, estando composto por 10 turbinas Wobben - Enercon de 500 kW, geradores assíncronos, rotores de 40 m de diâmetro e torre de 45 m de altura. Estima-se que a geração média anual seja da ordem de 17.500 MWh.

**Já a Central Eólica de Prainha** localizada no Município de Aquiraz, no Estado do Ceará, é hoje o parque eólico com maior capacidade instalada na América do Sul, possuindo 10 MW, instalados através de 20 turbinas Wobben-Enercon de 500 kW. As turbinas utilizam geradores síncronos, rotores de 40 m de diâmetro e torre de 45 m de altura. O projeto foi realizado pela Wobben - Enercon e teve seu funcionamento comercial iniciado em 1999. Estima-se que a geração média anual seja da ordem de 35.000 MWh.

A **Central Eólica do Porto Mucuripe** instalada em 1999, na cidade de Fortaleza, Estado do Ceará, é composta por 4 turbinas de 300 kW, da empresa Tacke Windtechnik, com rotor de 33 m de diâmetro e torre de 40 m de altura, totalizando uma capacidade instalada de 1 MW. O projeto foi concebido e executado pela Companhia Energética do Estado do Ceará (COELCE) e Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF) em conjunto e aporte financeiro do Governo Alemão e do Estado do Ceará. A geração média de eletricidade desta central está estimada em 3.800 MWh/ano.

Em 2002 este parque passou por repotenciamento de suas turbinas, sendo as turbinas antigas substituídas por modernas turbinas Tacke de 600 kW, duplicando-se, portanto, a potência instalada do parque.

A **Central Eólica de Palmas** foi o primeiro parque eólico instalado no Sul do país e teve o início de suas atividades no ano de 1999. A central está localizada no Município de Palmas, Estado do Paraná, dispondo de uma potência instalada de 2,5 MW, usando 5 turbinas Wobben-Enercon de 500 kW. As turbinas utilizam geradores síncronos, rotores de 40 m de diâmetro e torre de 45 m de altura. Este projeto foi executado pela Companhia Paranaense de Energia – COPEL e Wobben-Enercon.

O **Sistema Híbrido Solar-Eólico da Vila Joanes** situado no município de Salvaterra na Ilha de Marajó conta com 4 turbinas eólicas com potência de 10 kW, totalizando 40 kW de potência instalada de geração eólica, gerando 800 kWh/ano. Sistema conta também com 10,2 kWp de energia solar fotovoltaica. A implementação deste parque contou com o apoio direto do Departamento de Energia dos Estados Unidos através da doação das turbinas fabricadas pela Bergey Wind Power.

O **Parque Eólico de Macau/PETROBRAS** está localizado na comunidade de Soledade, a 30 quilômetros da cidade de Macau/RN, sendo este o primeiro parque eólico da Petrobrás no país. A capacidade de produção de energia dos três aerogeradores E-40/600 kW fabricados pela empresa holandesa Wobben Windpower, totaliza 1,8 MW. A energia produzida pela central é usada para abastecer quatro campos de exploração: Macau, Serra, Aratum e Salina Cristal. O parque entrou em operação em janeiro de 2004.

O **Parque Eólico do Horizonte** opera desde o final de 2003, no município de Água Doce no Estado de Santa Catarina, 08 turbinas eólicas E-40/600 kW, fabricadas pela Wobben Windpower, com capacidade nominal total de 4,8 MW.

A **Usina Eólica Bom Jardim da Serra** consiste de uma turbina E-40/600 kW localizada no município de Bom Jardim da Serra (planalto serrano). Inaugurada em abril de 2002, a usina resultou de uma parceria entre a Celesc - Centrais Elétricas de Santa Catarina e o fabricante de aerogeradores Wobben Windpower.

A **Usina Eólica Olinda instalada no Centro Brasileiro de Energia Eólica – CBEE**, no município de Olinda no Estado de Pernambuco, conta com uma turbina de 300 kW.

### **3.3 Conclusões**

As apreciações feitas neste capítulo mostram que o aproveitamento da energia eólica configura um cenário bastante diverso do que ocorre com outras tecnologias renováveis complementares. Essa tecnologia já possui maturidade e escala de produção industrial nas regiões econômicas de maior desenvolvimento, a saber: Europa e Estados Unidos.



Credita-se esse nível de progresso aos substanciais investimentos feitos em Pesquisa e Desenvolvimento, bem como da adoção de uma política de fomento ao estabelecimento de uma indústria eólica através de incentivos diretos do Estado em diversos países, com mais proeminência na Alemanha, Dinamarca, EUA, Espanha, entre outros.

Observou-se que consideráveis ganhos tecnológicos foram obtidos nos anos 1980, e, em decorrência destes, foi possível promover ininterruptas reduções de custo. Hoje a tecnologia é essencialmente para sistemas de eixo horizontal com rotor de três pás. Os aerogeradores já alcançam potência instalada superior a 1 MW, e sua maior difusão ocorre em sistemas interconectados à rede interligada, dentro do conceito de “parques eólicos”.

No Brasil a capacidade total instalada em energia eólica é ainda pouco expressiva. Os programas de incentivos à ampliação da participação da tecnologia eólio-elétrica na cesta de alternativas de abastecimento elétrico brasileira devem contribuir significativamente para a mudança deste cenário.

No entanto, vale ressaltar que o país possui um dos maiores potenciais de aproveitamento eólico do mundo. Registra-se também que a qualidade dos ventos em termos de regularidade de sua direção e nível de velocidade, reforça o elenco de oportunidades creditado a essa tecnologia. Nesse contexto, as análises referentes às oportunidades e obstáculos à penetração da energia eólio-elétrica no Brasil conformam o percurso norteador do próximo capítulo.

## **Capítulo 4 - Oportunidades e Barreiras ao Desenvolvimento da Energia Eólica no Brasil**

“Acreditar na possibilidade de altos níveis de energia limpa como solução para todos os males constitui um erro de juízo político. É imaginar que a equidade na participação do Poder e o consumo de energia podem crescer juntos. Vítimas dessa ilusão, os homens industrializados não põem o menor limite ao crescimento no consumo de energia, este crescimento continua com o único fim de fornecer a cada vez mais gente mais produtos de uma indústria controlada por cada vez menos gente” IVAN ILLICH

### **4.1 Introdução**

O Brasil possui uma sofisticada e eficiente estrutura de fornecimento de energia elétrica com características bem peculiares, construída em grande parte por iniciativa do Estado. Mais de 90% das usinas de geração de eletricidade no país são hidrelétricas com grandes reservatórios de regularização plurianual, localizadas em diferentes bacias hidrográficas e interligadas por extensas linhas de transmissão, sendo complementadas por usinas termelétricas convencionais e duas unidades nucleares.

Um fato determinante do planejamento elétrico brasileiro consiste nas crescentes necessidades de ampliação da oferta, uma vez que o consumo médio per capita nacional apresenta um valor muito abaixo da média mundial. Assim, é registrado um crescimento anual em torno de 5% mesmo em períodos onde não há crescimento econômico.

A constante necessidade de expansão do parque gerador elétrico brasileiro, agravada pela sombra de uma crise anunciada no abastecimento elétrico, bem como pelas atratividades dos ganhos ambientais advindos da utilização da tecnologia eólio-elétrica, com destaque às oportunidades de captação de um considerável volume de

projetos eólicos dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL, determinado no protocolo de Quioto, vem servindo de eixo condutor da atração de investidores determinados a aproveitar o potencial eólico nacional.

O Brasil é reconhecidamente um país com um elevado potencial de aproveitamento das fontes renováveis de energia. Dessa forma, estas fontes de energia, presentes em abundância nas reservas nacionais revelam-se como uma comprovada alternativa de complementaridade aos aproveitamentos hídricos e futuros projetos termelétrico. As tecnologias renováveis revestem-se também de uma atratividade adicional no que concerne ao planejamento da expansão do setor pautado na preservação do caráter limpo da matriz energética nacional, bem como a sua sustentabilidade. Neste cenário é possível vislumbrar, no futuro, a procura da auto-suficiência energética do país, orientada na manutenção do caráter limpo de sua matriz energética.

Nesse contexto, o Governo Federal adotou diversas medidas orientadas a aumentar a participação das fontes alternativas renováveis na produção nacional de eletricidade e concentrou no Programa Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia – PROINFA, todos os esforços dirigidos ao alcance dos objetivos planejados. O PROINFA inicialmente determina a instalação de 3,3 GW igualmente divididos entre as Tecnologias de Biomassa, Energia Eólica e Pequenas Centrais Hidroelétricas – PCH'S.

A tecnologia eólio-elétrica no Brasil vem ganhando espaço como uma forma alternativa de produção de energia elétrica, uma vez que sua utilização pode ocupar um importante papel de complementar as formas convencionais de geração em regiões onde existe a disponibilidade de aproveitamento da energia dos ventos, além de contribuir para a diversificação da matriz energética nacional.

A experiência brasileira de aproveitamento eólico para geração de energia elétrica ainda é pouco expressiva. No entanto, a confirmação da existência de um grande manancial eólico de alta qualidade técnica, distribuído em vasta parte do território nacional, em especial na costa litorânea da região nordeste, adicionada à emergente necessidade de expansão do sistema de abastecimento elétrico, tem apontado para uma rápida penetração desta fonte na matriz energética nacional.

As mais recentes medições de vento realizadas em diversas regiões do país confirmam a existência de um grande potencial eólico ainda por ser explorado em cerca

de 8,5 mil km<sup>2</sup> somente na costa litorânea, sem considerar inúmeros mananciais de vento em diversas áreas localizadas no interior.

O reconhecimento do alto potencial de aproveitamento dos recursos eólicos brasileiros para a geração de eletricidade, em especial na costa litorânea da região nordeste, pode ser medido pelos diversos projetos em fase de estudo e implementação que, ao todo já totalizam uma previsão de carga instalada de mais de 6 GW. A tabela 4.1 mostra a distribuição, por região geográfica, dos projetos eólicos autorizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

**Tabela 4.1 - Parques eólicos autorizados pela ANEEL**

REGIÃO	ESTADO	NÚMERO DE PARQUES	POTÊNCIA (MW)
Nordeste	Ceará	29	2.023,85
	Rio G. do Norte	21	2.057,58
	Pernambuco	5	247,90
	Bahia	2	90,10
	Sergipe	1	17,10
	Piauí	2	123,40
Sudeste	Rio de Janeiro	3	214,60
Sul	Rio G. do Sul	15	1.157,57
	Santa Catarina	2	48,60
Norte	Pará	1	60,00
	<b>Total</b>	<b>81</b>	<b>6.040,70</b>

Fonte: [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br).

Partindo do presente espaço favorável à ampliação da participação da energia eólica na matriz elétrica brasileira, quer por ações do governo, que por interesse do setor privado em decorrência do elevado potencial eólico nacional e as oportunidades advindas do MDL além de outros atrativos ambientais e institucionais, o capítulo tem por objetivo apresentar as principais barreiras e oportunidades postas a uma maior participação da tecnologia eólio-elétrica na matriz elétrica brasileira considerando as variáveis técnicas, econômicas e ambientais.

## 4.2 O Potencial Eólico Brasileiro

Todas as fontes de energias renováveis, com exceção das fontes geotérmica e maremotriz, incluindo ainda a energia dos combustíveis fósseis, têm sua formação no aproveitamento da energia do sol. O sol fornece diariamente 10.000.000 TWh de energia, ou seja, uma potência de 10<sup>14</sup> kW. Um a dois por cento de toda energia proveniente do sol é convertida em energia eólica, onde isso corresponde a

aproximadamente 50 a 60 vezes a energia convertida em biomassa por toda a vegetação terrestre (WIND POWER, 2003).

Os aerogeradores geram energia pela conversão da força do vento em um binário atuando sobre as pás do rotor. A quantidade de energia transferida ao rotor pelo vento depende da densidade do ar, da área coberta pelas pás e principalmente da velocidade do vento. Dessa forma, quando do planejamento da utilização dos recursos eólicos para a produção de energia elétrica se faz imperativo a realização de uma análise apurada de diversos parâmetros que permitam prever a viabilidade econômica e as características técnicas e operacionais do empreendimento.

O primeiro grande limitador de um aproveitamento da energia dos ventos é a existência ou não de um bom potencial eólico. A potência gerada em uma turbina eólica varia com o cubo da velocidade de vento, ou seja, qualquer variação na previsão da velocidade pode comprometer um projeto. Portanto, são de extrema importância a qualidade dos dados de velocidade do vento, assim como o tratamento e análise dos mesmos.

Tão importante quanto a aquisição correta dos dados e o cálculo dos parâmetros estatísticos é a análise dos fatores que influenciam o regime dos ventos na localidade do empreendimento. As características do relevo, da rugosidade do solo e dos obstáculos distribuídos ao longo da região influenciam fortemente o regime dos ventos em uma determinada localidade.

O aproveitamento dos recursos eólicos como fonte de energia requer, portanto, uma avaliação apurada do potencial de vento existente na localidade. Para tanto, é imprescindível a coleta de dados de vento com precisão e qualidade. No Brasil, assim como em várias partes do mundo, ainda existem poucos dados de vento com a qualidade necessária a uma avaliação de um potencial eólico para geração de energia elétrica.

Muito recentemente, as empresas e órgãos do governo foram mudando o seu perfil em relação aos objetivos definidos para a realização de coleta de dados de vento. Nas décadas passadas estas empresas não coletavam os dados de vento com finalidade de aproveitamento dos mesmos para geração de eletricidade, mas sim como base de informações especialmente destinada ao uso na agricultura, navegação marítima e aérea, dentre outros. Nos últimos anos já é observado que algumas empresas concessionárias

de energia e secretarias de Estado estão investindo na medição de ventos com finalidade de aproveitamento para geração de eletricidade.

Ao longo do tempo, os resultados apresentados pelas medidas de vento destinado ao aproveitamento na geração de eletricidade estão se modificando, o fato é justificado considerando que em décadas passadas as estações anemométricas não eram colocadas em locais mais propícios ao aproveitamento com fins de produção de eletricidade. A partir de uma melhor seleção dos locais de medição, aperfeiçoamento dos equipamentos e obtenção de dados coletados em torres cada vez mais altas, os mapas eólicos gerados mais recentemente apresentam medidas bem distintas daqueles feitos a partir dos dados coletados nas antigas estações anemométricas.

Uma constatação feita quando se observa a distribuição das estações anemométricas no Brasil, é que há uma concentração de estações nas regiões Nordeste e Sul, algumas na região Sudeste e muito poucas nas regiões centro-oeste e norte. Isto indica a necessidade de uma identificação de áreas para refinamento da grade anemométrica.

Da mesma forma que o Brasil possui diversos órgãos de medição, possui também uma diversidade de instrumentos utilizados, desde os anemômetros mais simples de leitura direta, o cata-vento de Wild, o anemógrafo mecânico, até os sofisticados sistemas automáticos de aquisição de dados (sistemas informatizados que estão sendo recentemente instalados).

Os dados de vento no Brasil estão sendo medidos por diversos órgãos de governo, centro de pesquisas e empresas privadas, totalizando um número de cerca de mil estações responsáveis por coletas de dados meteorológicos.

Os dados de vento que estão sendo coletados pelas empresas que pretendem operar no mercado de geração eólica são hoje retirados de locais especialmente selecionados para identificação de potencial eólico, sendo medidos em várias alturas através de sistemas automáticos de aquisição de dados que fornecem dados a cada segundo, e médias de 10 minutos com medidas de velocidade feitas muitas vezes na altura do eixo do rotor.

Os primeiros anemógrafos automáticos e sensores especiais para medição de dados de ventos, para fins de geração de energia elétrica, foram instalados no Ceará e em Fernando de Noronha/PE apenas no início dos anos 1990. Vários estados brasileiros

iniciaram recentemente programas de coletas de dados de vento, fazendo com que hoje já existam mais de cem anemógrafos automáticos espalhados pelo território nacional.

A recente disponibilidade de dados precisos de vento, adicionada aos ventos praticamente incessantes no litoral, indicam a existência de um imenso potencial eólico ainda não explorado. A análise dos dados de vento obtidos em várias áreas no Nordeste, em especial na região litorânea, confirmou a existência de ventos comerciais com velocidades médias altas, pouca variação nas direções e pouca turbulência durante todo o ano. Tal constatação tem posto grande atenção ao aproveitamento eólico nesta região, em especial aos estados do Ceará e Rio Grande do Norte, por apresentarem um dos maiores potenciais do país. Entretanto, não foi apenas na costa do Nordeste que áreas de grande potencial eólico foram identificadas.

Um significativo problema encontrado no Brasil, em termos de aproveitamento do seu potencial eólico, sempre esteve referido à ausência total de medições de vento com qualidade suficiente para uso em projetos eólio-elétricos. Objetivando superar tais dificuldades, o Ministério das Minas e Energia, através do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL, publicou em 2001 o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, oferecendo informações relativas ao comportamento dos ventos em todo o território nacional (SILVA, 2005).

O novo Atlas do Potencial Eólico Brasileiro usa ferramentas computacionais que utilizam simulações com dados atmosféricos, como os de camada de pressão de vento. Este modelo é baseado em um processo de meso-escala, onde se conhece e determinam-se as características do terreno para, a partir daí, utilizar os dados e as séries históricas das estações existentes. O modelo usa outras ferramentas para aferição, por exemplo: balões meteorológicos e algumas estações em que se garante a qualidade de suas medições na terra para que se possa aferir os dados do modelo.

O novo Atlas é um forte indicativo da existência ou não de ventos, entretanto ele pode conter erros em algumas regiões. Em média o Atlas apresenta um erro que varia de 10 a 15% em velocidade, o que incorre em um erro de 20 a 35%, em média, na energia.

O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro revela que o país tem um potencial estimado de 143,5 GW, para ventos médios anuais iguais ou superiores a 7,0 m/s, disponibilizando uma geração anual estimada de 272,2 TWh/ano, sendo necessária para isso a utilização de uma área de 71.735 km<sup>2</sup> (0,8% do território nacional). Esta projeção

toma como base uma densidade média de ocupação de terreno de 2 MW/ km<sup>2</sup> e as curvas de desempenho de turbinas a uma altura de 50m<sup>56</sup>. A tabela 4.2 apresenta o potencial eólico elétrico estimado, por faixa de velocidade, apresentando a potência e a energia possível de ser disponibilizada por anos para cada faixa de velocidade adotada, bem como os mesmos valores de forma cumulativa. Já a figura 4.1 mostra o mapa de distribuição de vento por região geográfica, a potência e a energia elétrica a ser disponibilizado para um valor anual médio de vento igual ou superior a 7,0 m/s (MME, 2001).

---

<sup>56</sup> A altura de medição é de extrema importância, uma vez que o vento sofre variações com a altura, em especial em alturas mais baixas, sendo também bastante susceptível à rugosidade do terreno, relevo e obstáculos.







A elaboração do Atlas partiu dos seguintes pressupostos:

- *Foram integradas todas as áreas que apresentaram velocidades médias anuais iguais ou superior a 6m/s;*
- *Foram consideradas as curvas médias de desempenho de turbinas eólicas no estado-da-arte mundial instaladas em torres de 50m de altura;*
- *A densidade média de ocupação admitida, 2 MW/Km<sup>2</sup>, é considerada conservadora, uma vez que representa cerca de 20% do realizável por usinas eólicas em terrenos planos;*
- *Foram adotados intervalos com incremento de 0,5 m/s para velocidades médias anuais de vento. O desempenho das turbinas eólicas foi calculado para os limites inferiores de cada intervalo;*
- *O fator de disponibilidade adotado foi de 0,98, valor este considerado típico para turbinas eólicas comerciais;*

*Foram descartadas da integração as áreas cobertas por água (lagos, lagoas, açudes e mar) (MME, 2001).*

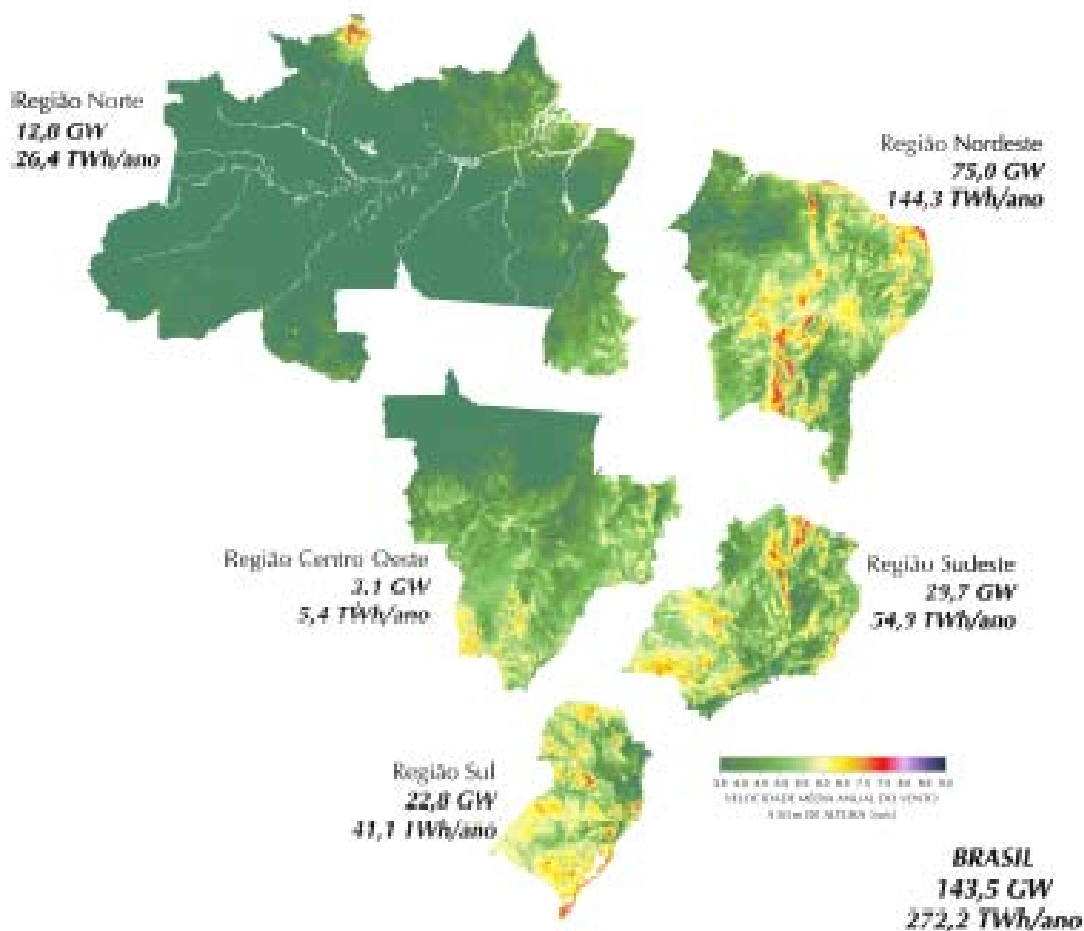


Tabela 4.2 - Potencial Eólico-elétrico Estimado do Brasil

REGIÃO	INTEGRAÇÃO POR FAIXAS DE VELOCIDADES					INTEGRAÇÃO CUMULATIVA			
	VENTO [m/s]	ÁREA [km <sup>2</sup> ]	POTÊNCIA INSTALÁVEL [GW]	FATOR DE CAPACIDADE	ENERGIA ANUAL [TWh/ano]	VENTO [m/s]	ÁREA (CUMULATIVA) [km <sup>2</sup> ]	POTÊNCIA INSTALÁVEL [GW]	ENERGIA ANUAL [TWh/ano]
 NORTE	6 - 6,5	11460	22,92	0,13	25,58	>6	24206	48,41	70,49
	6,5 - 7	6326	12,65	0,17	18,46	>6,5	12746	25,49	44,91
	7 - 7,5	3300	6,60	0,20	11,33	<b>&gt; 7 m/s</b>	<b>6420</b>	<b>12,84</b>	<b>26,45</b>
	7,5 - 8	1666	3,33	0,25	7,15	>7,5	3120	6,24	15,11
	8 - 8,5	903	1,81	0,30	4,65	>8	1454	2,91	7,96
	>8,5	551	1,10	0,35	3,31	>8,5	551	1,10	3,31
 NORDESTE	6 - 6,5	146589	293,18	0,13	327,19	>6	245105	490,21	649,50
	6,5 - 7	60990	121,98	0,17	178,02	>6,5	98516	197,03	322,31
	7 - 7,5	24383	48,77	0,20	83,73	<b>&gt; 7 m/s</b>	<b>37526</b>	<b>75,05</b>	<b>144,29</b>
	7,5 - 8	9185	18,37	0,25	39,43	>7,5	13143	26,29	60,56
	8 - 8,5	3088	6,18	0,30	15,91	>8	3958	7,92	21,13
	>8,5	870	1,74	0,35	5,23	>8,5	870	1,74	5,23
 CENTRO-OESTE	6 - 6,5	41110	82,22	0,13	91,76	>6	50752	101,50	120,83
	6,5 - 7	8101	16,20	0,17	23,85	>6,5	9642	19,28	29,07
	7 - 7,5	1395	2,79	0,20	4,79	<b>&gt; 7 m/s</b>	<b>1541</b>	<b>3,08</b>	<b>5,42</b>
	7,5 - 8	140	0,28	0,25	0,60	>7,5	146	0,29	0,63
	8 - 8,5	6	0,01	0,30	0,03	>8	6	0,01	0,03
	>8,5	0	0,00	0,35	0,00	>8,5	0	0,00	0,00
 SUDESTE	6 - 6,5	114688	229,38	0,13	255,99	>6	175859	351,72	446,07
	6,5 - 7	46302	92,60	0,17	135,15	>6,5	61171	122,34	190,08
	7 - 7,5	11545	23,09	0,20	39,64	<b>&gt; 7 m/s</b>	<b>14869</b>	<b>29,74</b>	<b>54,93</b>
	7,5 - 8	2433	4,87	0,25	10,44	>7,5	3324	6,65	15,29
	8 - 8,5	584	1,17	0,30	3,06	>8	891	1,78	4,84
	>8,5	297	0,59	0,35	1,78	>8,5	297	0,59	1,78
 SUL	6 - 6,5	121798	243,60	0,13	271,86	>6	171469	342,94	424,74
	6,5 - 7	38292	76,58	0,17	111,77	>6,5	49671	99,34	152,88
	7 - 7,5	9436	18,87	0,20	32,40	<b>&gt; 7 m/s</b>	<b>11379</b>	<b>22,76</b>	<b>41,11</b>
	7,5 - 8	1573	3,15	0,25	6,75	>7,5	1943	3,89	8,71
	8 - 8,5	313	0,63	0,30	1,61	>8	370	0,74	1,95
	>8,5	57	0,11	0,35	0,34	>8,5	57	0,11	0,34
 TOTAL BRASIL ESTIMADO	>6	667391	1334,78			>6	667391	1334,78	1711,62
	>6,5	231746	463,49			>6,5	231746	463,49	739,24
	<b>&gt; 7 m/s</b>	<b>71735</b>	<b>143,47</b>			<b>&gt; 7 m/s</b>	<b>71735</b>	<b>143,47</b>	<b>272,20</b>
	>7,5	21678	43,35			>7,5	21678	43,35	100,39
	>8	6679	13,36			>8	6679	13,36	35,93
	>8,5	1775	3,55			>8,5	1775	3,55	10,67

Fonte: Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (MME, 2001).

**Figura 4.1 - Potencial Eólico estimado para vento médio anual igual ou superior a 7,0 m/s**



Fonte: Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (MME, 2001).

A geração eólica, bem como toda energia proveniente do sol, apresenta uma grande sazonalidade. No Nordeste brasileiro, os ventos mais fortes registram-se entre agosto e janeiro, já os ventos de menores intensidades são verificados no período compreendido entre fevereiro a julho. O Atlas revela a existência de algumas regiões privilegiadas, dentre elas as regiões montanhosas, a faixa litorânea da região nordeste, faixas específicas na região sul e velocidade médias razoáveis em diversos pontos do país.

Na Região Norte, a Amazônia não se mostra como um local recomendado para a extração de energia eólica, uma vez que apresenta ventos na faixa de 3-3,5 e 4 m/s, na altura de 50 m, a razão é óbvia tendo em vista a elevada altura da vegetação local. Nesta região se verifica um outro fenômeno: além dos ventos na Amazônia em camadas mais altas apresentarem direções bem determinadas, existe uma componente que atua como

se fosse uma convecção pela evaporação, indo de baixo para cima, na vertical. Então, mesmo que fossem utilizadas torres de 100 m, talvez a Amazônia não fosse um local recomendado para extração de energia eólica (LIMA, 2001). No entanto, localizam-se alguns pontos mais altos, como é o caso de Roraima, onde se verifica um potencial bem razoável. Na faixa litorânea da Amazônia, em especial nos Estados do Amapá e Pará são encontradas velocidades de ventos bem elevadas.

O Nordeste brasileiro tem em todo o seu litoral um fantástico potencial de ventos, o que se amplia enormemente quando considerado um futuro aproveitamento *offshore*. Verificam-se também ventos bem fortes nas regiões mais elevadas. Já as regiões afastadas da costa (o interior nordestino) não apresentam médias anuais de valores tão elevados como na faixa litorânea e em pontos mais altos, apresentando valores médios em torno de 5 e 5,5 m/s.

O Estado do Ceará possui uma área territorial de 147.348 km<sup>2</sup>, e registra um potencial instalável em energia eólica, segundo seu Atlas eólico publicado em 2001, de 5,8 GW, possibilitando a geração anual de 12 TWh/ano para ventos a partir de 7 m/s a uma altura de 50 m e fator de capacidade de 24%. A área total potencialmente útil para esse aproveitamento é de 2.911 km<sup>2</sup> (menos que 2% do seu território).

Para aproveitamentos a 70 m de altura, o potencial instalável tecnicamente aproveitável sobe para 24 GW, viabilizando a geração anual de 51,9 TWh/ano para ventos a partir de 7 m/s e fator de carga de 24% sendo necessária uma área total potencialmente útil 12.426 km<sup>2</sup> (8,5 2% do seu território). A tabela 4.3 apresenta o potencial eólico-elétrico estimado, por faixa de velocidade, mostrando a potência e a energia possível de ser disponibilizada por ano, nas faixas de velocidades adotadas, para as alturas de 50 e 70m. Já a figura 4.2 mostra o mapa da distribuição média anual de velocidade de vento no Estado do Ceará, para a altura de 50 m.

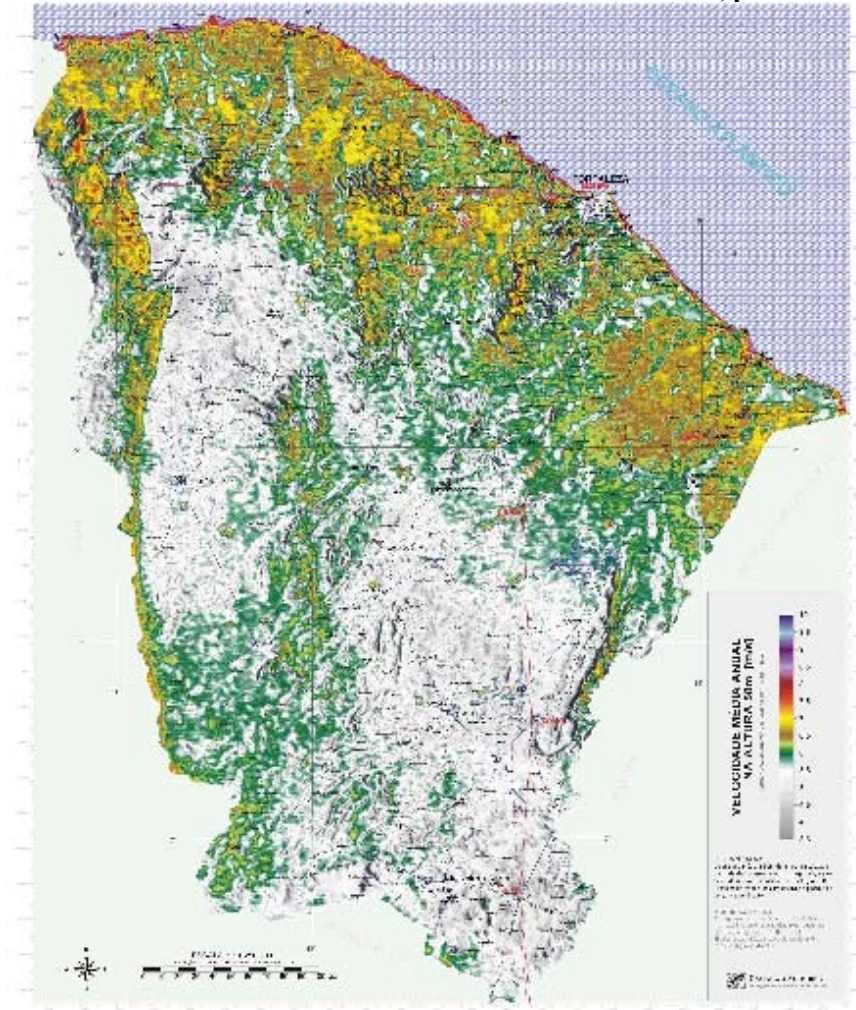
**Tabela 4.3 - Potencial Eólico-Elétrico Estimado para o Estado do Ceara**

**Tab. 2**

Velocidade de Vento	INTEGRAÇÃO PARA ALTURA DE 50 metros				INTEGRAÇÃO PARA ALTURA DE 70 metros			
	Área [km2]	Potência Instalável [GW]	Fator de Capacidade	Energia Elétrica Potencial [TWh/ano]	Área [km2]	Potência Instalável [GW]	Fator de Capacidade	Energia Elétrica Potencial [TWh/ano]
> 8.5 m/s	207	0.41	0.35	1.3	483	0.97	0.38	3.2
8.0 - 8.5 m/s	372	0.74	0.30	1.9	515	1.0	0.32	2.9
7.5 - 8.0 m/s	509	1.0	0.25	2.2	1427	2.9	0.27	6.7
7.0 - 7.5 m/s	1824	3.6	0.20	6.5	10000	20.0	0.22	39.1
6.5 - 7.0 m/s	13672	27.3	0.17	39.9	25943	51.9	0.18	82.3
6.0 - 6.5 m/s	30671	61.3	0.13	71.7	39449	78.9	0.14	99.5

Fonte: SEINFRA, 2001

Figura 4.2 - Média Anual de velocidade de Vento no Estado do Ceará, para altura de 50 m



Fonte: SEINFRA, 2001

Já o Estado da Bahia ocupa uma área de 567.295 km<sup>2</sup> e apresenta um potencial instalável tecnicamente aproveitável de 5,6 GW o que viabiliza, segundo seu Atlas eólico publicado em 2002, a geração anual de 12,32 TWh/ano, quando do aproveitamento de ventos acima de 7 m/s a uma altura de 50 m e fator de carga de 25%, sendo necessária uma área total potencialmente útil 2.373 km<sup>2</sup> (0,45% do seu território). Para aproveitamentos a 70 m de altura, o potencial atinge 14,46 GW, com uma energia gerada de 31,90 TWh/ano e área ocupada de 6.067 km<sup>2</sup> (1% do território).

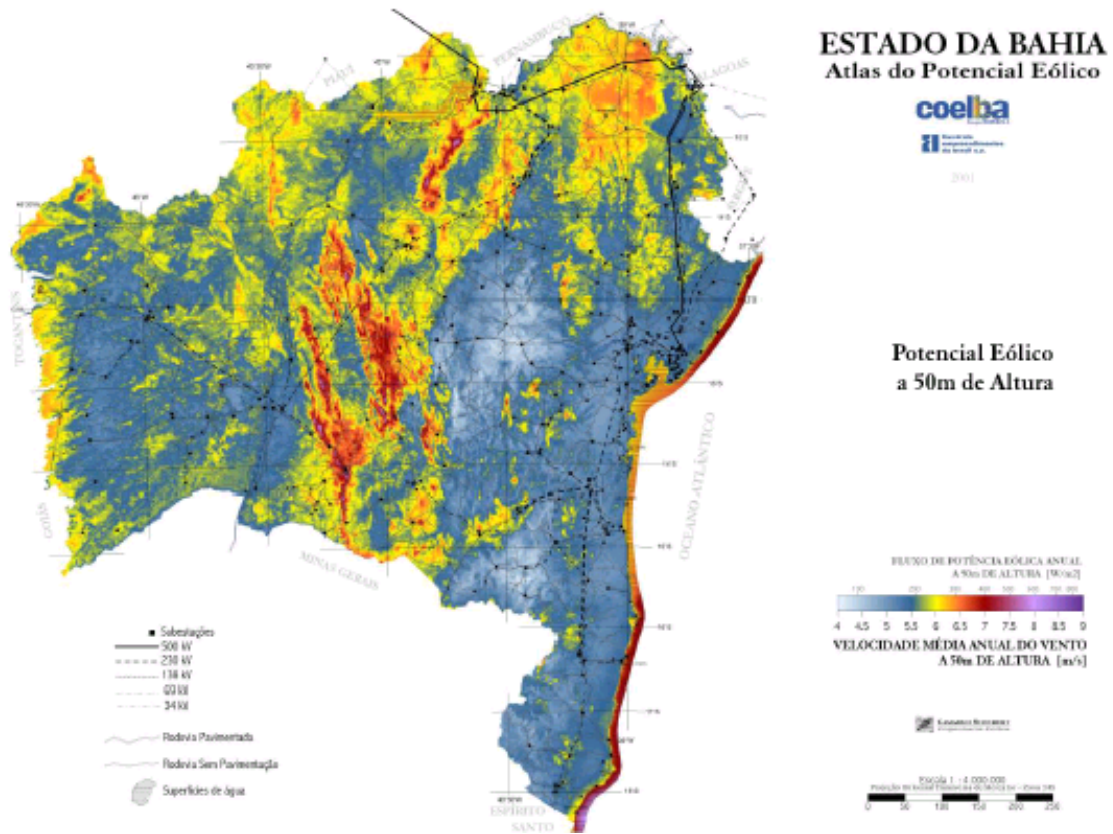
A tabela 4.4 apresenta o potencial eólico elétrico estimado do Estado da Bahia, por faixa de velocidade, mostrando a potência e a energia possível de ser disponibilizada por ano, nas faixas de velocidades adotadas, para as alturas de 50 e 70m. Já a figura 4.3 mostra o mapa da distribuição média anual de velocidade de vento no Estado da Bahia, para a altura de 50 m.

**Tabela 4.4 - Potencial Eólico Elétrico Estimado para o Estado da Bahia.**

ALTURA	INTEGRAÇÃO POR FAIXAS DE VELOCIDADES					INTEGRAÇÃO CUMULATIVA			
	VENTO [m/s]	ÁREA [km <sup>2</sup> ]	POTÊNCIA INSTALÁVEL [GW]	FATOR DE CAPACIDADE	ENERGIA ANUAL [TWh/ano]	VENTO [m/s]	ÁREA (CUMULATIVA) [km <sup>2</sup> ]	POTÊNCIA INSTALÁVEL [GW]	ENERGIA ANUAL [TWh/ano]
50m	6 - 6.5	77184	154.37	0.18	238.54	>6	92875	185.75	297.35
	6.5 - 7	12893	25.79	0.21	46.49	>6.5	15691	31.38	58.81
	7 - 7.5	2373	4.75	0.25	10.19	<b>&gt; 7 m/s</b>	<b>2798</b>	<b>5.60</b>	<b>12.32</b>
	7.5 - 8	391	0.78	0.29	1.95	>7.5	425	0.85	2.14
	8 - 8.5	32	0.06	0.32	0.18	>8	34	0.07	0.19
	>8.5	2	0.00	0.36	0.01	>8.5	2	0.00	0.01
70m	6 - 6.5	156481	312.96	0.18	483.61	>6	191195	382.39	614.60
	6.5 - 7	27483	54.97	0.21	99.09	>6.5	34714	69.43	131.00
	7 - 7.5	6067	12.13	0.25	26.04	<b>&gt; 7 m/s</b>	<b>7231</b>	<b>14.46</b>	<b>31.90</b>
	7.5 - 8	1062	2.12	0.29	5.29	>7.5	1164	2.33	5.86
	8 - 8.5	84	0.17	0.32	0.46	>8	102	0.20	0.57
	>8.5	18	0.04	0.36	0.11	>8.5	18	0.04	0.11

Fonte: COELBA, 2002.

Figura 4.3 - Média Anual de velocidade de Vento no Estado da Bahia para Altura de 50 m



Fonte: COELBA, 2002.

Na Região Centro-Oeste o Atlas eólico brasileiro confirma a existência de ventos razoáveis na faixa de 6,5 a 7,5 m/s nas áreas de fronteira com o Paraguai.

Na Região Sudeste são verificados bons ventos no Norte Fluminense, no Espírito Santo, nas regiões mais elevadas do Estado de São Paulo, bem como em toda a costa, incluindo um futuro aproveitamento offshore.

Na Região Sul, o Estado do Rio Grande do Sul como um todo, retirando-se as áreas centrais que tem médias em torno de 4,5 m/s, verifica-se um potencial de utilização futuro muito elevado.

Estado do Rio Grande do Sul, com área de 282.062 km<sup>2</sup>, apresenta um potencial de utilização muito elevado. O Atlas eólico deste Estado, publicado em 2002 indica um potencial estimado “*onshore*” de 15,8 GW, para áreas com ventos iguais ou superiores a 7,0 m/s, na altura de 50 m e fator de capacidade de 29%, possibilitando a geração de 41.69 TWh/ano, para uma área útil de 10.558 km<sup>2</sup> (3,7 % do território). Para aproveitamentos a 75 m de altura, o Atlas indica um potencial que alcança 54,43 GW, e 31,90 TWh/ano de energia produzida em uma área 36.284 km<sup>2</sup> (12,9 % do território).

#### **4.2.1 Diferencial Eólico Brasileiro – Qualidade dos Ventos**

Estudos que objetivam estimar o potencial eólico de uma dada região têm como referência capital a caracterização do perfil do vento, ou seja, o conhecimento da variabilidade espacial e temporal dos recursos eólicos na superfície terrestre. Estas valorações serão mais representativas da realidade quanto mais os dados climatológicos utilizados na análise apresentarem uma melhor qualidade, bem como os volumes de informações disponíveis sejam de tal monta que possam abarcar as diversas ocorrências verificadas no comportamento do vento em distintos períodos (ANEEL, 202).

Em face da assertiva acima, dois importantes aspectos devem imperativamente ser considerados quando do planejamento de um futuro aproveitamento eólico em uma região específica: a avaliação e caracterização do perfil do vento em distintos sítios. De posse dessas informações, é possível proceder à seleção de um determinado tipo de aerogerador, bem como escolher o local mais apropriado para instalar as turbinas. Estas escolhas são feitas a partir das informações da forma como se distribui a velocidade do vento no espaço, sua intensidade e direção (TORRES, 1998).

Em termos de qualidade de vento o Brasil tem se destacado por apresentar um atrativo perfil de seus recursos eólicos. Nesse sentido, o Atlas Eólico Brasileiro configura-se como uma ferramenta indicativa da pré-avaliação dos atributos dos ventos no país. No que concerne ao regime de vento o referido Atlas os apresentam distribuídos em 7 regiões geográficas. A saber: 1) Bacia Amazônica Ocidental e Central; 2) Bacia Amazônica Oriental; 3) Zona Litorânea Norte-Nordeste; 4) Zona Litorânea Nordeste-Sudeste; 5) Elevações Nordeste-Sudeste; 6) Planalto Central; 7) Planalto do Sul. O quadro 4.1 apresenta a localização de cada uma dessas regiões, bem como suas características em termos de velocidade média de vento.

**Quadro 4.1 - Velocidade Média Anual de Ventos por Regiões Geográficas**

REGIÃO	LOCALIZAÇÃO	VELOCIDADE MEDIA ANUAIS DE VENTO
Bacia Amazônica Ocidental e Central	Estende-se aproximadamente entre as latitudes 10° S e 5° N, e longitudes 70° W e 55° W	Inferior a 3,5m/s
Bacia Amazônica Oriental	Compreender a área continental a partir da longitude 55° W (Santarém, PA) até aproximadamente 100km da costa que se estende entre o Amapá e o Maranhão.	Inferior a 3,5m/s
Zona Litorânea Norte-Nordeste	Faixa costeira com cerca de 100km de largura, que se estende entre o extremo norte da costa do Amapá e o Cabo de São Roque, no Rio Grande do Norte.	Entre 5m/s e 7,5m/s na parte norte dessa região (litorais do Amapá e Pará) Entre 6m/s a 9m/s em sua parte sul, que abrange os litorais do Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte.
Zona Litorânea Nordeste-Sudeste	Faixa de aproximadamente 100km de largura que se estende entre o Cabo de São Roque (RN) até aproximadamente o Estado do Rio de Janeiro.	Decrescem de 8-9 m/s na porção norte (Rio Grande do Norte) até 3,5m/s a 6m/s sobre a maioria da costa que se estende até o Sudeste. Na costa entre as latitudes 21° S e 23° S (sul do Espírito Santo e nordeste do Rio de Janeiro), as velocidades são próximas de 7,5m/s.
Elevações Nordeste-Sudeste	Áreas de serras e chapadas que se estendem ao longo da costa brasileira, desde o Rio Grande do Norte até o Rio de Janeiro, a distâncias de até 1.000km da costa.	Velocidades médias anuais de 6,5m/s até 8m/s.
Planalto Central	Está ao sul da Bacia Amazônica e estende-se desde a margem esquerda da Bacia do Rio São Francisco até as fronteiras com Bolívia e Paraguai.	Entre 4m/s e 6m/s. Variam de 3m/s a 4m/s ao norte dessa região (no limite sul da Bacia Amazônica) para 5m/s a 6m/s sobre a porção sul do extenso planalto. Aproxima-se de 7m/s em algumas regiões mais elevadas a oeste, na fronteira com o Paraguai (no Mato Grosso do Sul).
Planalto do Sul.	Estende-se aproximadamente de 24°S (São Paulo) até os limites ao sul do Rio Grande do Sul.	Entre 5,5m/s a 6,5m/s. Os ventos mais intensos estão entre 7m/s e 8m/s e registram-se nas elevações montanhosas do continente, bem como em planaltos de baixa rugosidade, como os Campos de Palmas. Registram-se áreas com velocidades superiores 7m/s ao longo do litoral sul.

Fonte: Atlas Eólico Brasileiro, MME,2001.



O quadro 4.1 permite inferir que com exceção das regiões da Bacia Amazônica Ocidental e Amazônica Oriental, verificam-se em uma vasta extensão do território nacional registros de ventos com velocidades médias possíveis para aproveitamento em sistemas de conversão eólico-elétrico. Dentre todas as regiões é no Nordeste, mais precisamente em toda a costa do Estado do Ceará e Rio Grande do Norte, que se evidencia uma maior potencialidade.

Cabe aqui dar destaque ao fato de que em termos comerciais o que importa significativamente na decisão dos investidores, quando da escolha de um sítio para exploração, é o total de energia gerada pelo parque em um determinado período. Nesses termos, o fator de capacidade expressa a real competência de um parque eólico produzir energia em função do total de energia a ser gerada caso o sistema operasse em sua potência nominal durante um intervalo de tempo definido. O fator de capacidade é apresentado em termos percentuais e dado pela seguinte expressão:

$$FC = \frac{\int_T P(t).dt}{\int_T P_{nom}(t).dt}$$

Onde:

Fc - Fator de Capacidade

P(t) - potência entregue pelo sistema no instante t

Pnom - potência nominal instalada no sistema

T - período de integração (usa-se mais freqüentemente o período de um ano).

Uma vez que a potência do vento varia aproximadamente com o cubo da velocidade, é comum registrar-se diferentes valores anuais de energia em distintas localidades, caso se mostrem díspares as freqüências de distribuição das velocidades, ou seja, apresentem diferentes fator de capacidade. Isso que dizer que se compararmos uma

turbina de potência “P” instalada em um local em que durante toda a metade do ano o vento apresente uma velocidade de “zero” m/s e no restante do período a velocidade seja de “V” m/s, com a mesma turbina, agora instalada em um local que apresente por todo o ano uma velocidade constante de  $V/2$  m/s. Verificamos que ambos os aproveitamentos apresentam velocidades médias iguais a  $V/2$  m/s. No entanto, a energia gerada em cada aproveitamento difere bastante.

No primeiro caso, metade do ano o aerogerador não produz nenhuma energia e, caso consideremos que a velocidade  $V$  m/s seja capaz de estabelecer a potência “P” na turbina, temos um fator de capacidade de  $F_c$  0,5. No segundo exemplo, caso consideremos que a velocidade  $V/2$  m/s também seja capaz de estabelecer a potência máxima “P” o Fator de Capacidade assume o valor de 1 indicando que o máximo de energia pode ser gerada naquele sítio.

Em termos de Brasil, a maioria dos parques eólicos em estudo apresenta fator de capacidade acima de 0,3. Segundo MOLLY (2004), *“comparando com a situação eólica na Alemanha, este valor médio encontrado no Brasil é muito melhor do que o valor médio de 0,23 de lá”*.

Na costa nordestina compreendida entre os Estados do Maranhão e do Rio Grande do Norte, os ventos possuem velocidades médias anuais de 8 m/s, valor considerado excelente para a geração de energia elétrica a partir de turbinas eólicas. Nessa região verificam-se os maiores índices nacionais de “ventos educados”<sup>57</sup> de todo o mundo, ou seja, não se registra ocorrência de ciclones, vendavais ou rajadas, e os ventos sopram freqüentemente em uma direção preferencial. Esse conjunto favorável de eventos faz com que a qualidade dos ventos no Nordeste viabilizem fatores de cargas chegam a ultrapassar valores de 40%.

As vantagens diferenciais da qualidade dos ventos no Brasil se tornam mais evidentes quando faz-se uma comparação com o perfil padrão das ocorrências de ventos na Europa, continente este responsável por 37% de toda a capacidade instalada em energia eólica do mundo.

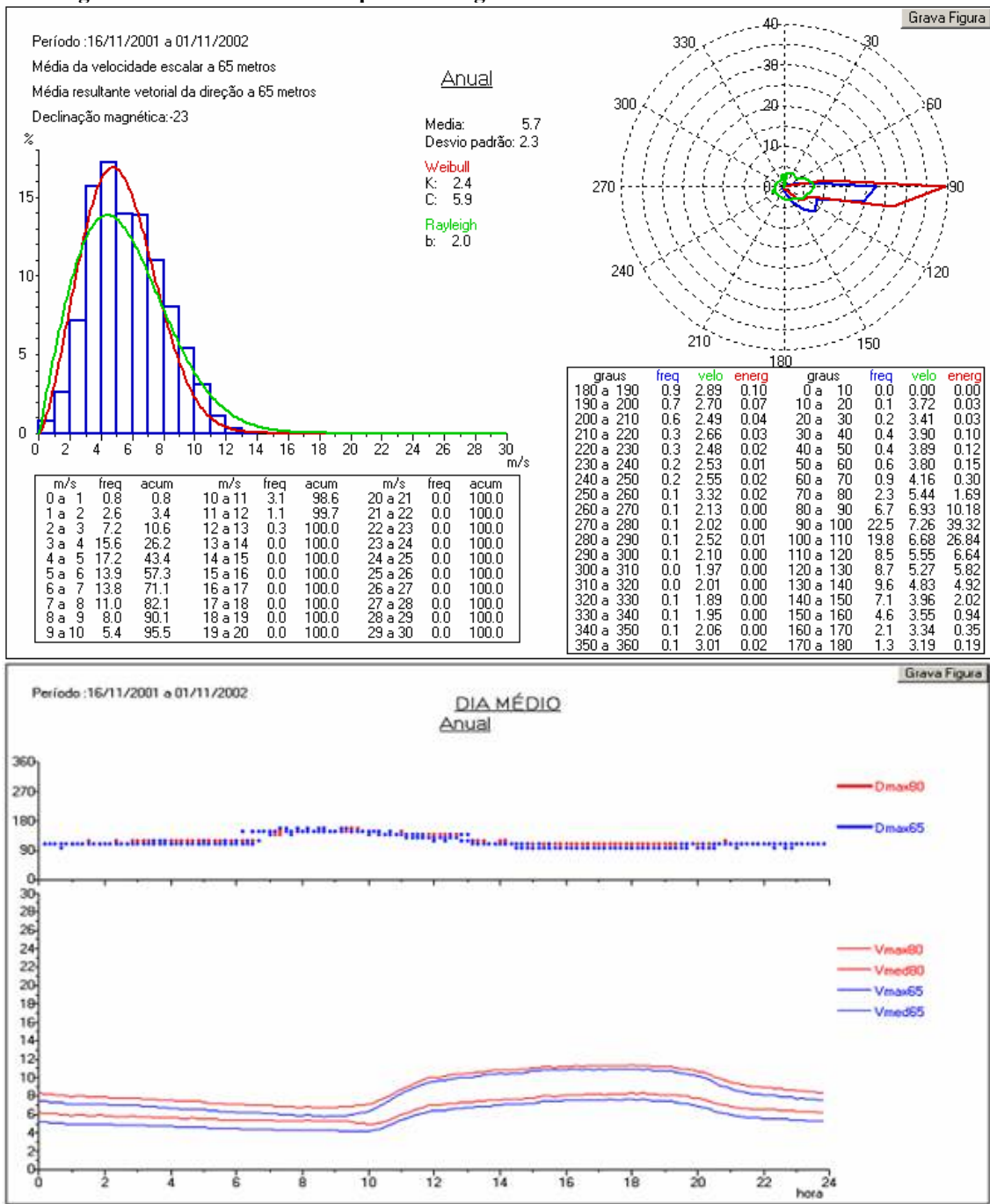
As figuras 4.4 e 4.5 apresentam valores médios de observações de velocidade, direção e energia tipicamente registradas no litoral nordestino (rosas dos ventos), já a

---

<sup>57</sup> Expressão usada para definir um vento que tem seu comportamento marcado pela constância de sua velocidade e direção, bem como pelo não registro de turbulências e baixa rajada de vento.

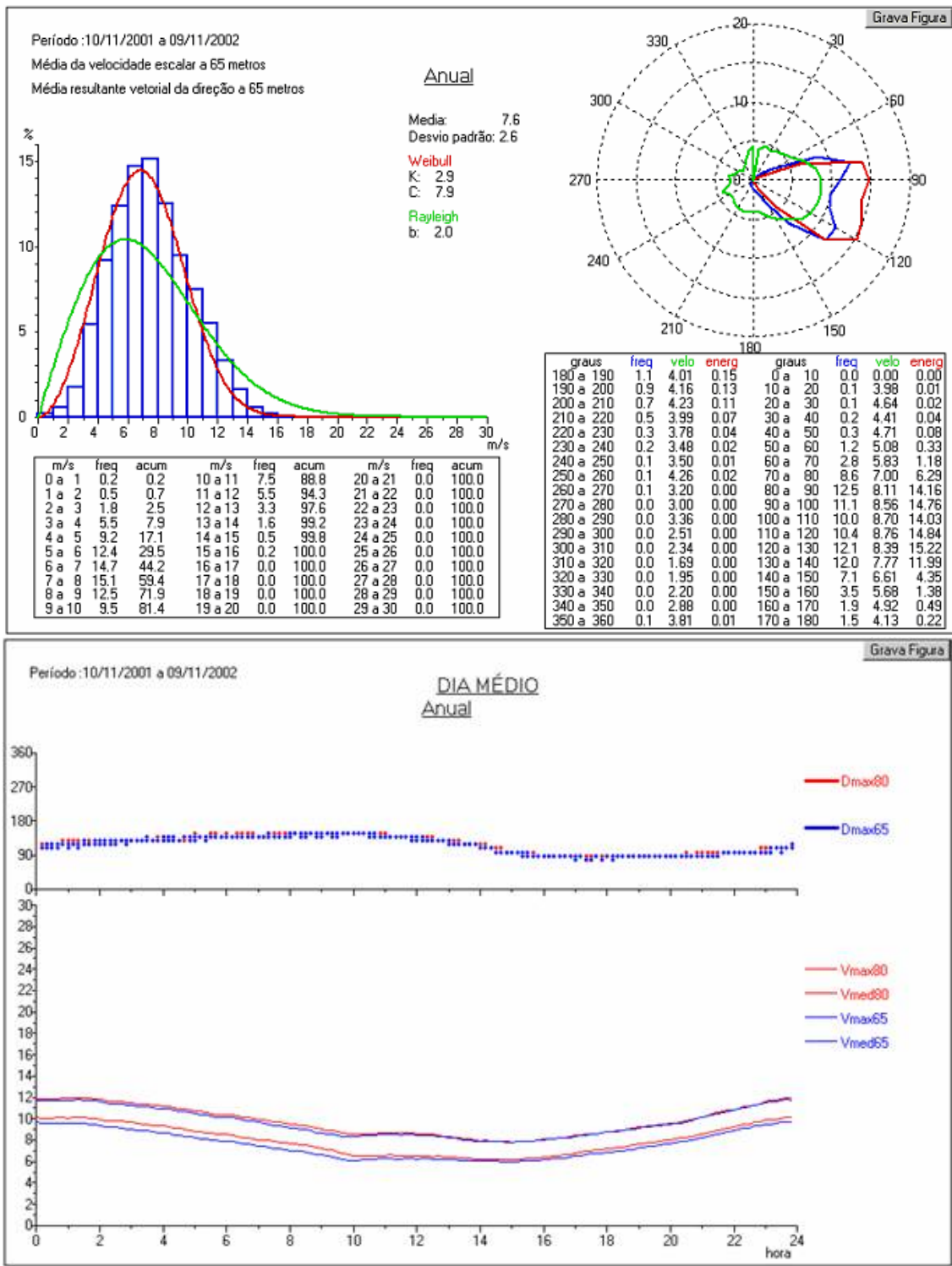
figura 4.6 mostra essas mesmas características, agora registradas nas cidades de Hannover, Helgoland, Frankfurt e Hamburg, na Alemanha, enquanto a figura 4.7 refere-se ao comportamento dos ventos nas cidades de Brest, Caen, Cambral e Carcassone, na França.

**Figura 4.4 - Características Típicas do Regime de Vento no Litoral Nordestino Brasileiro**



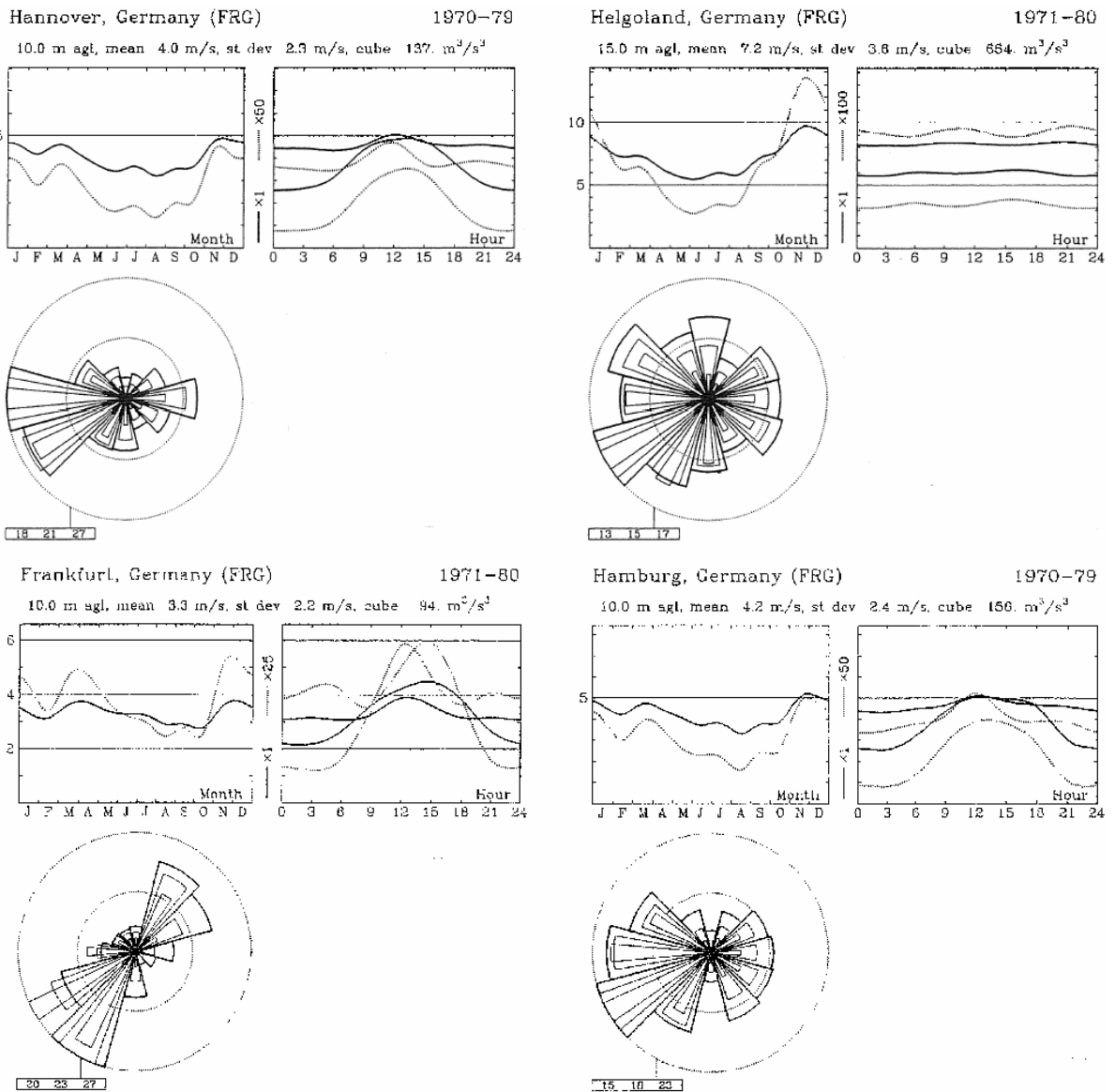
Fonte: Elaboração do autor a partir de dados fornecido pela Enerbrasil – Energias Renováveis do Brasil S.A.

Figura 4.5 – Características Típicas do Regime de Vento no Litoral Nordestino Brasileiro



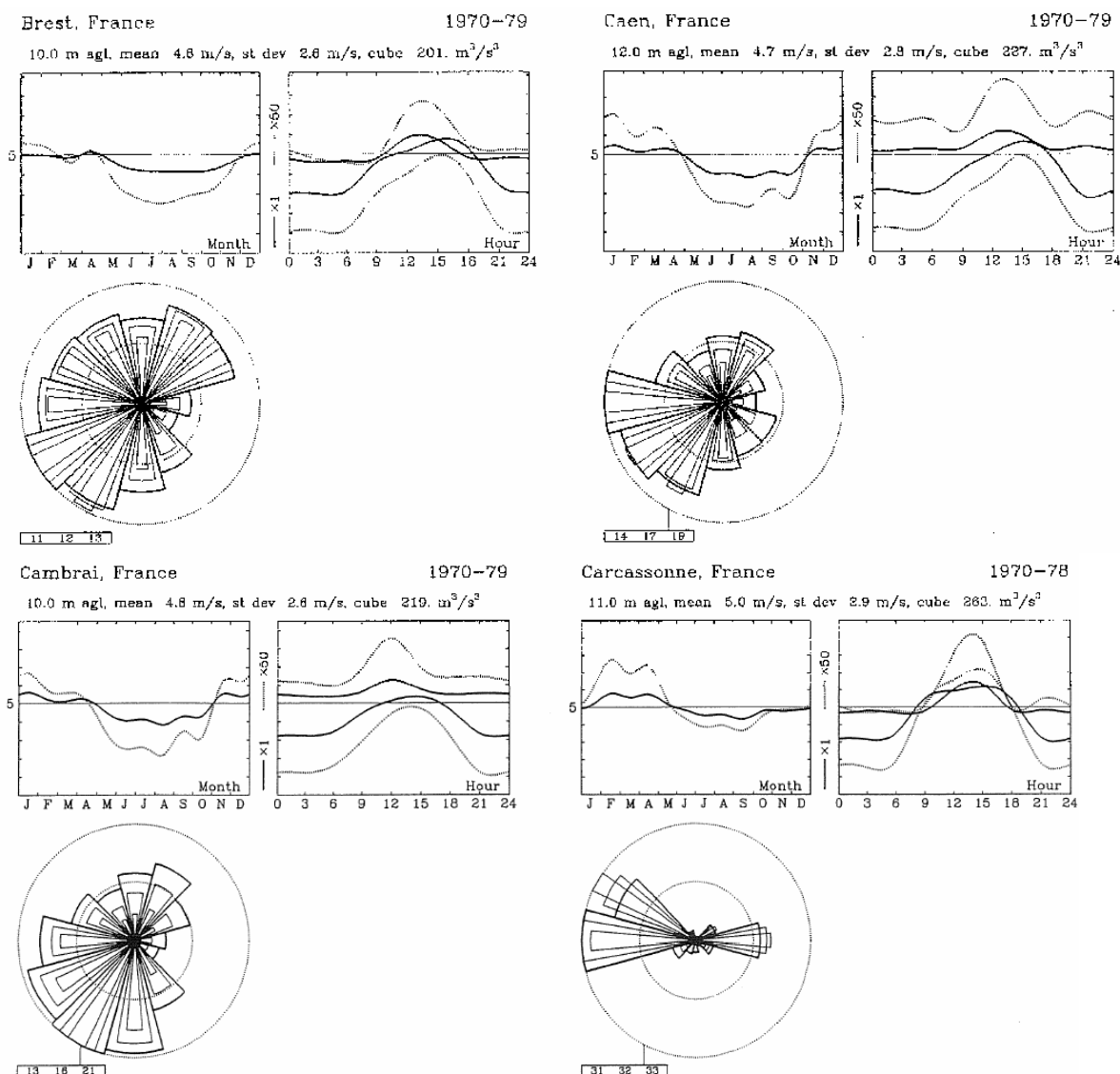
Fonte: Elaboração do autor a partir de dados fornecido pela Enerbrasil – Energias Renováveis do Brasil S.A.

**Figura 4.6 – Características Típicas do Regime de Vento na Alemanha**



Fonte: TROEN, 1999.

Figura 4.7 – Características Típicas do Regime de Vento na França



Fonte: TROEN, 1999.

Uma avaliação comparativa dos regimes de vento nas regiões representadas pelas figuras anteriores permite inferir que no litoral nordestino estes se apresentam com reduzidas observações de variações em sua direção e velocidade, o que condiciona uma maior produção de energia, uma vez que o aerogerador estará operando em um tempo maior que em regiões onde estas variações são mais significativas, como se verifica na Alemanha e França, mostradas nas cidades tomadas como exemplos acima, Helgoland e Aburgo, na Alemanha e em Brest, Caen e Cambrai, na França.

Parque com altas observações de mudança de direção exige que o aerogerador siga, em um único sentido, acompanhando as mudanças de direção observadas, de

forma que este se mantenha em condição de operação. O necessário ajuste às mudanças de direção imputa ao conjunto eletro-mecânico retiradas de operação, o que por consequência implica na redução da energia gerada pela turbina. Além disso, os mecanismos de acompanhamento da direção do vento somente permitem duas voltas em torno do eixo vertical da turbina, ou seja, a cada dois giros de 360° que a turbina faz, devido ao posicionamento necessário à captação do vento - que varia de direção, torna-se necessária uma parada da turbina para que a mesma seja novamente re-alinhada, implicando assim em novas perdas operacionais que reduzem a eficiência do conjunto.

Registros de elevadas frequências na mudança de direção do vento também implicam em agravamento do efeito de sombreamento nos parques eólicos, uma vez que o desconhecimento de uma direção predominante de vento acarreta em aumento da dificuldade de melhor ajustar as fileiras de turbinas, de forma a evitar interferências de um aerogerador em outro.

As vantagens comparativas verificadas no Brasil se ampliam quando adicionamos à análise o fato de que no litoral nordestino a diferença entre as velocidades máximas, médias e mínimas é pouco expressiva e também que as frequências de velocidades que estão abaixo do mínimo necessário para colocar o gerador em operação, bem como as velocidades superiores à velocidade de corte (velocidade acima da qual o aerogerador é retirado de funcionamento) também se mostram reduzidas, conformando assim uma região de elevado fator de capacidade e de menores requisitos de operação.

### **4.3 Complementaridade com o Regime Hídrico**

A estrutura de geração do sistema elétrico brasileiro é caracterizada essencialmente pela presença de grandes centros de geração, nos quais predominam sobremaneira unidades hidroelétricas. A estabilização sazonal da oferta de energia em sistemas interligados com essa estrutura de geração se configura em um grande desafio aos seus operadores. Isto ocorre porque os regimes hidrológicos têm caráter randômico com flutuações marcadamente sazonais.

Os recentes avanços pelos quais passou a indústria eólio-elétrica têm permitido configurar esta tecnologia como uma fonte auxiliar na busca pela estabilização sazonal da oferta. Buscando registrar essa assertiva, estudos conduzidos pela Universidade de

Roskilde na Dinamarca concluíram haver “*uma complementaridade no sistema hidráulico da Suécia e Noruega que permite firmar a oferta de energia nos meses secos daqueles países sem prejuízo aos níveis de segurança na estabilidade de fornecimento*” (BITTENCOURT et al, 2000).

Objetivando mapear a viabilidade da expansão do uso da tecnologia eólio-elétrica no sistema interligado nacional, foram feitas simulações para identificar as implicações dos aproveitamentos eólicos na regularização da vazão do Rio São Francisco, na região nordeste, e nos regimes hídricos dos rios da região sul e sudeste. Tais estudos, realizados pela Companhia Paranaense de Eletricidade – COPEL (COPEL, 1997) e pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF (BITTENCOURT, 1996), concluíram haver uma significativa contribuição à estabilização sazonal da oferta de energia através da complementaridade entre os regimes naturais eólicos e hidrológicos nessas bacias (ROCHA et al, 1999).

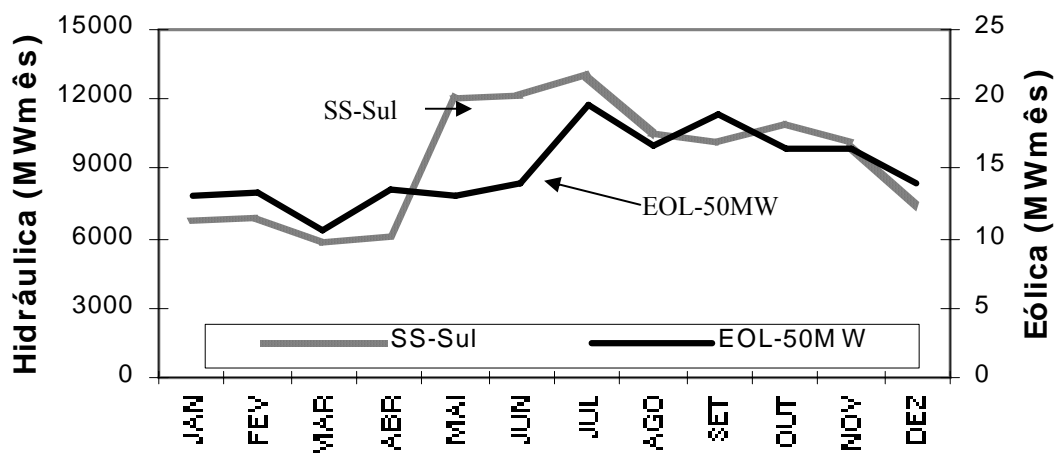
No que se refere ao comportamento do regime de vento na região sul, as simulações feitas em Palmas no estado do Paraná apontaram uma energia garantida a um fator de capacidade em torno de 30%, valor este muito próximo da média registrada nas usinas que estão interligadas no sub-sistema sudeste. Com base nesse estudo afirma BITTENCOURT (2000):

*A implantação de usinas eólicas em regimes de vento semelhantes ao da região de Palmas traz benefícios ao sistema elétrico interligado, uma vez que se adicionaria mais energia ao sistema justamente na época do ano em que ocorre redução nos regimes hídricos de sudeste, onde se concentram as maiores cargas.*

A Figura 4.8 apresenta os resultados das simulações feitas para as vazões naturais de todas as usinas hidroelétricas da região sul e a disponibilidade energética advinda de um aproveitamento eólico na região de Palmas. Tal estudo conclui haver uma forte similaridade entre o comportamento sazonal da geração hidráulica no subsistema sul e a disponibilidade de energia eólica (BITTENCOURT et al, 2000).



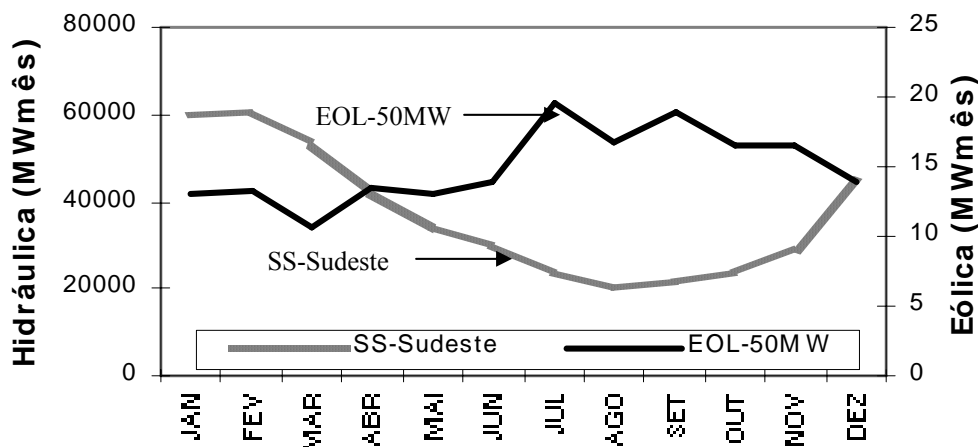
Figura 4.8 - Energia Eólica e Geração Hidroelétrica no Subsystema Hidráulico da Região Sul- 1979-1992



Fonte: Bittencourt et al, 2000, SEINFRA, 2001,

Já na figura 4.9, tem-se representados os resultados das simulações feitas para as vazões naturais de todas as usinas hidroelétricas da região sudeste e os dados anemométricos de geração eólica em Palmas, na qual é possível inferir a existência de uma forte complementaridade na escala sazonal entre essas fontes.

Figura 4.9 - Energia Eólica e Geração Hidroelétrica no Subsystema Hidráulico da Região Sul - 1979-1992



Fonte: Bittencourt et al, 2000, SEINFRA, 2001.

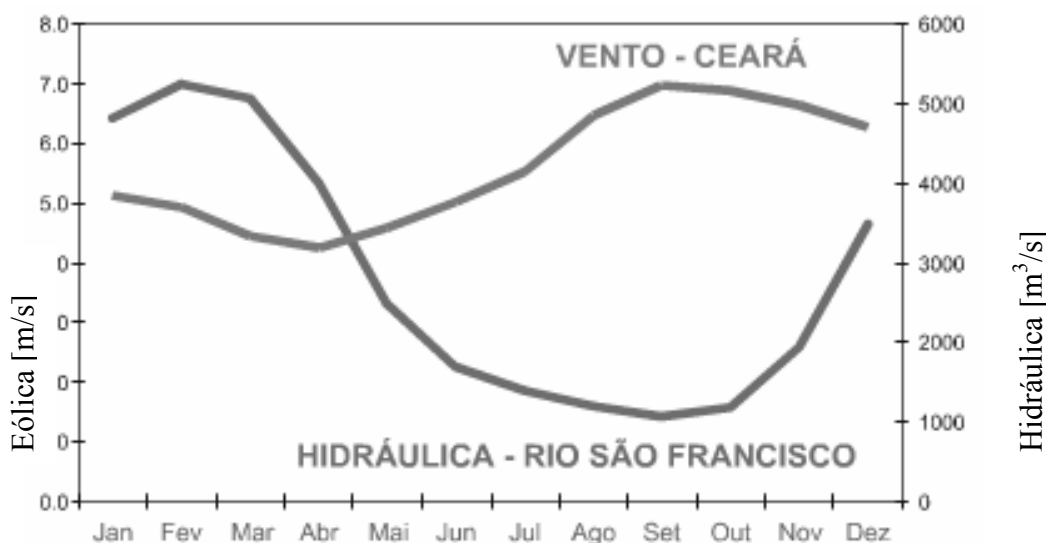
Em termos de região nordeste, as simulações foram feitas tomando como referência o potencial de geração de energia elétrica a partir de turbinas eólicas instaladas na costa litorânea do estado do Ceará, bem como as vazões naturais do rio

São Francisco, afluente no reservatório de Sobradinho. As análises desse estudo permitem considerar que a adoção da geração elétrica a partir de turbinas eólicas no subsistema nordeste pode colaborar de forma significativa para a regularização da vazão do rio São Francisco, uma vez que se registra uma acentuada complementaridade entre essas fontes.

Quando considerado o elevado potencial eólico da região nordeste pode-se induzir que a contribuição da energia eólica a estabilização sazonal da oferta de energia elétrica pode advir de vários Estados da região, principalmente no segundo semestre do ano, período em que o potencial eólico na região é mais elevado e registram-se as menores vazões no rio São Francisco.

A figura 4.10 apresenta uma comparação das vazões naturais dos afluentes no Rio São Francisco com a média mensal da velocidade do vento nas estações anemométricas instaladas no Estado do Ceará.

**Figura 4.10 - Energia Eólica e Geração Hidroelétrica no Subsistema Hidráulico da Região Nordeste.**



Fonte: Bittencourt et al, 2000, SEINFRA, 2001.

Os resultados destes estudos, reafirmados pelo trabalho “Avaliações sobre o uso de energia eólica e impactos na hidrologia da bacia do Rio São Francisco”, realizadas quando da elaboração do Atlas Eólico do Estado do Ceará (SEINFRA, 2001), creditam mais um ponto de atratividade aos futuros empreendimentos eólicos, uma vez que, sendo o Brasil predominantemente hidráulico em sua matriz de geração de energia elétrica, tem-se uma constante necessidade de armazenamento de energia nos reservatórios das usinas. Na medida em que a disponibilidade hídrica varia

sazonalmente, os períodos de poucas chuvas (período seco) demandam uma estratégia de gestão dos reservatórios de forma a garantir o abastecimento nos níveis de qualidade e segurança estabelecidos.

A comprovação da existência de uma grande complementaridade sazonal entre os regimes hidráulicos das principais bacias e o regime eólico, como apresentado nas figuras 4.8, 4.9 e 4.10, imputa significativos benefícios ao sistema interligado nacional, indicando ser possível adicionar maiores volumes de energia ao sistema exatamente nos períodos secos.

Cabe também adicionar que as regiões estudadas são aquelas em que o aproveitamento dos recursos hidroelétricos mais avançou no país, e hoje esta tecnologia encontra barreiras de caráter sócio-econômicos e ambientais à sua expansão. Tais restrições fazem repousar sobre a termelétricidade e/ou importação de energia via integração energética com outros países da região, as alternativas de cobertura do contínuo crescimento da demanda. Nesses termos a tecnologia eólio-elétrica amplia seus benefícios estendendo, portanto, sua atratividade via complementaridade com os regimes hídricos.

#### **4.4 Custos**

A expansão do parque gerador de base eólica é importante devido a seu apelo ambiental e geopolítico. Embora o combustível seja gratuito, a tecnologia ainda não atingiu uma fase de maturidade suficiente para torná-la atrativa no plano estritamente econômico. É consenso entre os planejadores e gestores públicos que a energia eólica pode contribuir para o abastecimento energético mundial de forma segura, limpa e economicamente viável, reduzindo os riscos de crises de fornecimento por motivações externas ou por exaustão das reservas.

A experiência mundial de desenvolvimento da tecnologia eólio-elétrica tem mostrado a existência de barreiras de ordem estrutural à sua ampliação. O sistema econômico e social foi pautado e desenvolvido de forma centralizada e dependente das fontes convencionais de energia, nominadamente: carvão, petróleo e gás natural. Na realidade, o maior problema enfrentado pela indústria eólica ainda recai sobre os seus custos, que ainda apresentam-se superiores aos praticados pelas tecnologias convencionais baseadas nos combustíveis fósseis. Dessa forma a expansão da indústria

eólica requer programas de incentivos financeiros e de um suporte institucional orientado a viabilizar a consolidação de seu mercado.

As estruturas mundiais de abastecimento energético existentes no mundo industrializado são resultado de quase dois séculos de desenvolvimento tecnológico em base de combustíveis de fóssil (e mais recentemente da indústria nuclear).

*Durante os últimos 40 anos ou mais, as estruturas de geração, transmissão e distribuição de eletricidade nos países industrializados e em desenvolvimento foram construídas, em grande parte, através do acesso das empresas energéticas a elevados subsídios disponibilizados pelo Estado.*

*Que estas tecnologias deveriam ter se estabelecido sob a base de modelos institucionais bastante específicos não é uma surpresa. No entanto, a imposição desta estrutura histórica impõe restrições de caráter econômico e financeiro à futura expansão das fontes renováveis no mercado mundial de energia (JACKSON, 1992).*

Ao compararmos a estrutura de custos da energia eólica, partindo estritamente das variáveis convencionais de mercado, ou seja, sem considerar, portanto, as externalidades ambientais positivas dessa tecnologia, verificamos que seus custos de geração ainda não são competitivos com as fontes convencionais de geração de energia elétrica predominantes no mundo. Isso ocorre porque o mercado de combustíveis fósseis se estruturou à base de uma forte estrutura de subsídios e seus custos externos não são computados nos preços dos combustíveis comercializados (CE, 2001).

Entre os custos que geralmente permanecem externos ao mercado mundial dos combustíveis fósseis, mas que se mostram relevantes para a formação dos preços desta indústria pode-se apresentar - JACKSON (1992):

- Impactos sobre a saúde humana: danos físicos, câncer, danos genéticos;
- Danos ambientais: Impactos sob a flora e fauna, terras, água, edificações, Mudanças climáticas globais;
- Custos de longo prazo referentes à depleção dos recursos naturais;
- Impactos macroeconômicos estruturais - desemprego;
- Subsídios: subsídios à Pesquisa e Desenvolvimento, subsídios via investimentos, e subsídios à formação da infra-estrutura necessária;
- Custos advindos de conflitos estratégicos (Guerra do Golfo, por exemplo).

Uma vez que as vantagens ambientais creditadas ao caráter limpo da energia eólica não são computadas na formação de seus custos, o que, por sua vez os tornam superiores aos valores apresentados pelas fontes convencionais, cria-se uma bolha impeditiva à atração de investimentos em tecnologia eólio-elétrica, como mostra PORTO (2002, p.25):

*o alto custo unitário inicial e a elevada percepção de riscos por parte dos potenciais empreendedores tem inibido os investimentos. Como o crescimento do mercado dessa fonte é reduzido nestas condições, não se obtém escalas adequadas de fabricação dos equipamentos e seus custos unitários de capital não diminuem em escala capaz de tornar estas tecnologias competitivas como uma indústria emergente. Este ciclo vicioso precisa ser rompido. Nestas condições, torna-se relevante a criação de um mercado inicial garantido, com porte suficiente para produzir ganhos de escala e reduções de custos unitário de capital significativos.*

Os argumentos de PORTO, Coordenadora Geral de Energia Renováveis da Secretaria de Energia do Ministério de Minas e Energia, em muito se aproximam das reivindicações feitas por BAGUENIER (2001) presidente da SIIF Énergies, o qual afirma:

Os custos de geração da energia eólica não são hoje competitivos em relação às principais formas de geração de energia elétrica (hidráulica e térmica), antes de tudo porque os custos ambientais destas não são pagos pelos produtores e consumidores desta eletricidade, mas ficam por conta da coletividade nacional.

*Muitos países, em particular os da União Européia, baseados nestas componentes estratégicas de segurança e de preservação do meio ambiente, implementaram políticas voluntaristas de desenvolvimento das energias renováveis em geral e da energia eólica em particular (BAGUENIER, 2001).*

Em sua opinião, as políticas voluntaristas passaram pela definição de um quadro institucional e legal definindo condições de compra de toda a eletricidade gerada a um preço suficiente, através de contratos de pelo menos 15 anos. Estas políticas foram desenvolvidas em contexto de abertura e liberalização do sistema elétrico Europeu sem conflitar com este ambiente de mercado, na medida que os sobre-custos foram repassados de forma isonômica entre todos os agentes deste sistema.

*Tendo em conta a não competitividade da geração eólica no Brasil, o desenvolvimento da energia eólica somente poderá prosperar se*

*houver uma decisão do Governo dentro da política energética do país.*

*Se a decisão política é o sim ao desenvolvimento da energia eólica então o Governo e a entidade reguladora do setor elétrico deverão criar as condições deste desenvolvimento (BAGUENIER, 2001).*

Dessa forma, as componentes principais de um quadro favorável ao desenvolvimento de um mercado eólico brasileiro apresentadas por BAGUENIER (2001) estariam assim enunciadas:

- Definir uma obrigatoriedade de compra de uma quantidade de eletricidade eólica (pelo menos 4.000 MW) dentro de um limite de tempo factível (5 anos) a um preço que seria o Valor Normativo a ser fixado pela ANEEL dentro da competência dessa agência.
- 4.000 MW a serem instalados em 5 anos, configuraria o mercado necessário para convencer vários produtores de equipamentos a implementar fábricas no Brasil. No mínimo 4.000 MW, são necessários para garantir a competição em termos de preço e de tecnologia. Um programa de dimensão reduzida, por exemplo, 1.100 MW a realizar-se num curtíssimo período de tempo, por exemplo 2 anos, não levaria nenhum novo fabricante sério a implementar uma unidade de produção no país”.

As referências feitas aos posicionamentos de PORTO (2002) e BAGUENIER (2001) quanto à necessidade de ações de governo como forma de promover a formação de um mercado eólico no Brasil são representativas de um reconhecimento explícito, tanto do Governo Federal, quanto do setor empresarial, de que os custos da energia eólica não a torna por si só uma tecnologia competitiva, daí urge a necessidade de adoção de programas de incentivos orientados a formar um mercado eólio-elétrico no qual as diferenças no preço da energia elétrica gerada em empreendimentos eólicos e disponibilizada no mercado sejam divididas com toda a sociedade.

Exceto pelo valor da potência instalada de 4.000 MW, reivindicada por BAGUENIER como sendo o valor mínimo capaz de atrair investidores, seus argumentos parecem ter sido contemplados na estruturação do PROINFA.

Os custos de um aproveitamento eólio-elétrico são basicamente de duas naturezas: custo de capital, que se registra como investimento por quilowatt instalado (US\$/kW), e os custos operacionais. Ambos os custos são principalmente determinados

em função da capacidade instalada. Tais custos também variam com a altura da torre, tamanho do rotor, número de turbinas, infra-estrutura e o preço da terra, entre outros.

Já o preço da energia gerada é função dos custos de instalação, das condições de vento (potencial eólico) na área de aproveitamento, das taxas de desconto e dos períodos de reembolso dos investimentos, e revela-se então, como a soma dos custos de capital e dos custos operacionais. O preço da energia é freqüentemente expresso US\$/kWh ou US\$/MWh.

A literatura mostra que, em média, os investimentos em aproveitamento eólico são da ordem de US\$ 1000/kW de potência instalada. Nos Estados Unidos, a *American Wind Energy Association* (AWEA) menciona como competitivo o aproveitamento eólico em regiões com regime de vento superior a 6,7 m/s, onde os preços da energia estejam na faixa de US\$ 40,00 a US\$ 50,00/MWh (AWEA, 2000).

Os custos de investimento em energia eólica vêm caindo substancialmente nestas duas últimas décadas e verifica-se a manutenção dessa tendência de redução para os próximos anos. Somente na década de 1990 os preços das turbinas registraram quedas de pelo menos três vezes (EWEA, 1997, CE, 2001).

Já os preços da energia apresentam quedas ainda maiores. Esta tendência é creditada a redução nos custos das turbinas, aos ganhos de eficiência obtidos com as modernas turbinas, maior disponibilidade de uso e menores gastos com operação e manutenção.

Os custos dos aproveitamentos eólicos também tendem a cair, na medida em que o tamanho das turbinas se eleva. Em realidade o preço da turbina varia pouco com o aumento da capacidade instalada da turbina, por outro lado existem outras variáveis que fazem com que o aumento da potência instalada por turbina seja visto como um fator redutor dos preços finais da energia<sup>58</sup>.

A utilização de máquinas com maior potência requer uma menor área de aproveitamento para uma determinada capacidade, uma vez que uma quantidade menor de turbinas é necessária. Por conseqüência, vários outros itens que pesam na formação

---

<sup>58</sup> Estudos conduzidos pelo Wind Energy Group Group (1992) mostram que a contribuição para a redução dos custos de uma planta em função da capacidade instalada por turbinas pode alcançar valores de cerca de 25% quando comparado os custos da utilização de turbinas de 1GW em substituição a turbinas de 300 kW, para uma mesma capacidade instalada total.

dos custos se reduzem sensivelmente, a exemplo dos custos com fundação, custos de interconexão elétrica com a rede e custos com abertura de vias de acesso.

De maneira geral os custos de investimentos em um aproveitamento eólico-elétrico sofrem acréscimos médios entre 15 e 40% sobre o custo da turbina. Esse valor depende da potência e quantidade de turbinas utilizadas, além das características do local de aproveitamento. Em áreas de maior potencial eólico, geralmente sítios isolados sem disponibilidade técnica de imediata conexão à rede ou em região litorâneas nas mesmas condições, estes custos tendem a se fixar acima da média. Outros fatores, a exemplo do custo da terra, também afetam essa estimativa.

Nos países onde o mercado eólico-elétrico já se encontra consolidado, as quedas nos custos dos projetos verificadas ao longo da última década são mais acentuadas. No entanto, verifica-se um significativo aumento no custo da terra, bem como restrições ao seu uso, o que tem elevado percentualmente a participação deste fator nos custos desses projetos.

O padrão médio dos custos apresentado pela experiência européia mostra que o valor da terra pode variar de um percentual nulo até 5.7% do custo da turbina. A tabela 4.5 mostra a composição percentual dos valores típicos de uma planta eólica.

**Tabela 4.5 – Composição Percentual dos Valores Típicos de uma Planta Eólica**

ITEM	CUSTOS % DO PREÇO DA TURBINA
Fundações	5 - 11
Instalações elétricas	5 - 11
Aquisição do terreno	0 - 5.7
Planejamento	1.5 - 3
Aprovação do projeto	3 - 8
Infra-estrutura	2 - 4
Administração	3 - 6
Conexão a rede de transmissão/distribuição	7.5 - 15
Diversos	2 - 4
Total	15 - 40

Fonte: EWEA, 1997.

Ao usarmos uma máquina de 600 kW em substituição a uma de 150 kW, os custos aproximadamente triplicam ao invés de quadruplicar. A razão disto reside no fato de haver economias de escala, uma vez que a quantidade de mão-de-obra empregada não difere significativamente, assim como os requerimentos em equipamentos eletrônicos, equipamentos de segurança e gastos com infra-estrutura (WIND POWER, 2003).



Os custos de instalação incluem a construção da fundação, normalmente feita em concreto armado, construção de estradas para o transporte da turbina e seções da torre, um transformador (para converter a tensão gerada ao nível da rede), sistema de telecomunicação e segurança. Tais custos variam em função da região, já que os custos da abertura de uma estrada dependem do tipo de solo e do relevo da região, dos custos de transporte e demais fatores relacionados. No entanto, ocorre economia de escala, já que é mais barato conectar muitas turbinas em uma mesma área. Por outro lado, o aproveitamento é limitado pela quantidade de energia elétrica que a rede local pode suportar.

Os aerogeradores modernos são projetados para trabalhar 120.000 horas ao longo de sua vida útil, que é estimada em 25 anos. Os custos de manutenção nos aproveitamentos eólicos apresentam-se muito baixos no início da operação do parque e aumentam conforme a turbina vai envelhecendo. Na realidade, a vida útil de um aerogerador depende tanto da qualidade da turbina como das condições climáticas da área aproveitada.

A experiência dos países com maiores aproveitamentos eólicos mostra que, para as máquinas novas, os custos de manutenção encontram-se entre 1,5% e 2% a.a dos investimentos iniciais feitos no parque, ou o equivalente a US\$ 0,01/kWh (WIND POWER, 2003).

A formação dos custos de operação e manutenção está fortemente vinculada às características geográficas e climáticas da área do aproveitamento. As previsões da vida útil, feitas para os parques eólicos tomam como referência a experiência Européia. No entanto, para o caso brasileiro, será imperativo acompanhar o comportamento dos aproveitamentos localizados na faixa litorânea do Nordeste, devido às condições de vento, salinidade e ocupação de áreas de dunas, já que as condições encontradas nestes empreendimentos apresentam-se de forma bem distinta das que ocorrem na Europa, podendo então apresentar custos distintos do verificado neste continente.

Há outros obstáculos que podem acrescentar custos na etapa inicial de expansão do mercado eólico nacional. Um desses gargalos reside na infra-estrutura necessária à implementação dos parques eólicos em regiões menos desenvolvidas que pode apresentar-se como uma dificuldade a ser superada, uma vez que parques projetados para instalar turbinas de grande porte (máquinas de 1 a 1,5 MW), requerem algumas

alterações no terreno, construção de estradas e necessidade de pesados equipamentos operacionais a exemplo de grandes guindastes.

No Brasil a formação de um mercado eólico encontra-se em uma fase ainda incipiente, o que se traduz em elevadas dificuldades de se estabelecer um padrão tradutor da média de seus custos. O Brasil possui um dos maiores potenciais eólicos do mundo para geração de eletricidade, mas por outro lado somente dispõe de pouco mais que 23 MW de geração eólio-elétrica instalada em seu território, sendo que 91% dessa capacidade pertence a uma única empresa.

Análises microeconômicas dos aproveitamentos eólicos no Brasil revelam que os custos da geração da energia eólica apresentam-se superiores aos praticados pelas formas convencionais de geração de energia (hidráulica e térmica). Pode-se creditar parte desse maior encargo das fontes renováveis ao fato de que os custos ambientais e externalidades gerados pelas formas convencionais de produção de energia não serem compensados pelos produtores, distribuidores e consumidores de eletricidade.

A Lei 10.438 de 2002 que estabeleceu a compra garantida da energia elétrica gerada anualmente por empreendimentos eólio-elétricos aprovados no PROINFA, que totaliza uma potência instalada de 1.100 MW, é hoje a referência da estruturação do mercado eólico no país. Os Valores Econômicos das Fontes contempladas no PROINFA (Eólica, Biomassa e PCH) foram definidos pelo Ministério das Minas e Energia através de uma metodologia de cálculo baseada no método de Fluxo de Caixa Descontado, adotando uma taxa mínima anual de atratividade, considerando também a relação entre custo e benefício de cada tipo de tecnologia, estímulo a projetos eficientes, fator de capacidade do aproveitamento e a quantidade de energia a ser contratada. A tabela 4.6 apresenta os Valores Econômicos da Tecnologia Específica por Fonte (VETEF) apresentados na portaria nº 45 de março de 2005 do Ministério de Minas e Energia (MME, 2005).

**Tabela 4.6 - Valores Econômicos por Fonte no Âmbito do Proinfa**

FONTE	ESPECIFICIDADE	– PROINFA 1ª ETAPA R\$/MWH	
		VETEF	Piso
Biomassa	Biogás	168,08	83,58
	Setor Arrozeiro	-	83,58
	Setor Madeireiro	101,35	83,58
	Setor Sucroalcooleiro	93,77	83,58
Eólica	$FCR \leq FCR_{min}$	204,35	150,45
	$FCR \geq FCR_{max}$	180,18	150,45
PCH		117,02	117,02

Fonte: MME, 2004.

FCR – Fator de Capacidade de Referência da Central Geradora de Energia Elétrica – CGEE.

FCR<sub>min</sub> - Fator de Capacidade de Referência mínimo da CGEE, ou seja 0,324041.

FCR<sub>max</sub> - Fator de Capacidade de Referência máximo da CGEE, ou seja 0,419342.

Os valores definidos pelo MME mostram que o custo da geração eólico-elétrica ainda é um dos mais caros entre as tecnologias renováveis comercial no Brasil. Apesar desta assertiva, os investidores do setor eólico-elétrico que se instalaram no país reclamam dos valores determinados para a energia eólica. Alegam que se faz necessário à adoção de um preço mais ‘justo’ para o MW gerado como condição básica para a consolidação de seus projetos, além da garantia de compra dessa energia, entendendo ser necessária a solidificação do marco legal existente em bases flexíveis, que viabilize o desenvolvimento das energias renováveis e garanta a manutenção dos aproveitamentos.

Sem essas garantias, afirmam que não haverá energias renováveis no Brasil, e tudo será simplesmente um esforço momentâneo. Nestes termos, a consolidação do PROINFA vai ao encontro, mesmo que parcialmente, dos requisitos dos investidores, governo e sociedade civil organizada na busca da estruturação de um esquema institucional que venha de fato promover, de maneira realmente justa e sustentada o estabelecimento de um mercado de energia eólica, sem que se penalize na tarifa o consumidor.

#### **4.5 Impactos Sobre o Sistema de Transmissão e Distribuição**

Os modernos sistemas de geração e transmissão de eletricidade se configuram em uma rede complexa em que diversos parâmetros são instantaneamente analisados de forma a garantir a denominada ‘qualidade de energia’. O termo qualidade de energia é empregado em uma vasta gama de fenômenos eletromagnéticos que se manifestam em sistemas elétricos de potência.

A qualidade de energia descreve, através de indicadores numéricos como se dá à interação entre os agentes produtores de eletricidades e os seus demandantes. Os efeitos sobre a qualidade de energia dizem respeito a todo distúrbio elétrico que venha operar de forma adversa no aproveitamento da energia elétrica disponibilizada nos sistemas elétricos, ou seja, prejuízos na relação entre ofertantes e demandantes.

Na atualidade, seja por razões econômicas ou por restrições ambientais verifica-se no mundo uma taxa crescente da participação de unidades de geração distribuída. Esse aumento na geração ampliará a importância da discussão dos temas vinculados à qualidade da energia de forma a garantir o ambiente competitivo estruturado a partir da abertura do mercado elétrico no mundo.

Nesse contexto, registra-se nas últimas duas décadas um contínuo aumento da participação das fontes renováveis de energia, mais marcadamente a biomassa e a energia eólica.

Uma característica diferencial da eletricidade é o fato da mesma não poder ser armazenada - sua produção ocorre no mesmo instante de seu consumo, exigindo, dessa forma, um constante equilíbrio entre produção e demanda. Tecnologias de armazenamento de eletricidade, a exemplo de baterias e pilhas têm como característica comum o fato de que a energia elétrica a ser armazenada é convertida em outras formas de energia, tal como substâncias químicas (baterias), energia potencial nos reservatórios das usinas hidroelétricas, hidrogênio nas células a combustível, entre outros.

Já os recursos renováveis apresentam a limitante de somente estarem aptos a produzirem eletricidade quando a fonte primária destes estiver disponível – para energia eólica é imperativa a existência de ventos. Esta limitação tem efeito reduzido quando a participação da fonte renovável é pequena em relação à capacidade instalada do sistema, por outro lado pode configurar-se em um obstáculo técnico se sua participação crescer de forma a cobrir uma significativa fração da demanda total para energia elétrica do sistema.

No nível local, as variações de tensão<sup>59</sup> dão forma ao principal problema associado à geração eólio-elétrica. Padrões de tolerâncias de variação dos níveis de tensão estão estabelecidos em  $\pm 10\%$ . Porém, variações pequenas rápidas e em redes

---

<sup>59</sup> Flutuação de tensão é a variação aleatória, repetitiva ou esporádica, do valor eficaz da tensão. Nas unidades eólio-elétricas as variações de tensão podem resultar da flutuação da potência nos aerogeradores em consequência das mudanças de velocidades do vento (Custódio, 2002, ONS, 2002).

fracas<sup>60</sup>, se tornam um incômodo a níveis tão baixo quanto 0,3%. Tal situação ocorre comumente em áreas remotas<sup>61</sup> onde as condições de vento são mais atrativas para aproveitamentos. A flutuação de tensão devido à variação na velocidade do vento pode se conformar em um fator limitador da capacidade instalada em energia eólica.

O aumento da potência por unidade dos aerogeradores conectados à rede, assim como a crescente expansão de sua utilização nos sistemas interligados, tem causado uma elevação da influência dos aerogeradores na qualidade da energia em diversos países. MOURA et al (2003) e SILVA (2003) sintetizam assim os principais efeitos dos aerogeradores sobre a qualidade da energia:

- Elevado consumo de energia reativa – os aerogeradores são em sua maioria geradores de indução<sup>62</sup>, que além de demandarem transitoriamente uma alta corrente de magnetização, necessitam de um constante suprimento de energia reativa;
- Variação no perfil da tensão entregue aos consumidores - o regime aleatório dos ventos, bem como o regime de operação das turbinas (entrada e saída dos aerogeradores) atuam sobre os fluxos de potência ativa e reativa provocando elevadas flutuações na tensão de saída dos aerogeradores;
- Injeção de harmônicos<sup>63</sup> na rede: diversas unidades eólio-elétricas usam conversores estáticos para regular a corrente de magnetização dos geradores ou para operação a velocidade variável. Estes dispositivos geram correntes harmônicas que podem amplificar as distorções harmônicas;

---

<sup>60</sup> O termo Rede Fraca não é precedido de nenhum rigor científico. É usado apenas para informar que o nível de tensão na rede não se apresenta de forma tão constante quanto em uma rede forte. “a definição de uma rede fraca é necessária quando se leva em conta o nível de tensão e flutuação de tensão devido a existir uma probabilidade de que os valores poderiam exceder as exigências dos padrões” (MOURA et al, 2003).

<sup>61</sup> Os aproveitamentos eólicos registrados no mundo encontram-se fortemente concentrados em áreas rurais que por sua vez apresentam-se ligadas, na maioria das vezes, a Redes Fracas.

<sup>62</sup> A conexão dos aerogeradores diretamente na rede em sistemas que operam a velocidade constante é feita, em sua maioria, através de geradores multipolos, uma vez que estes permitem cobrir uma faixa mais ampla de velocidade. Nesse tipo de conexão os geradores de indução tipo gaiola de esquilo são os mais indicados devido a seu melhor ajuste de sincronismo com a rede e pela menor contribuição a curtos-circuitos. Como efeito indesejável estes geradores são mais vulneráveis às variações de tensão e problemas de estabilidade (SILVA, 2003).

<sup>63</sup> Harmônicos são sinusóides de tensão e corrente cujas frequências são múltiplos inteiros da frequência fundamental de uma onda periódica. Os harmônicos distorcem a forma de onda senoidal e podem ser gerados por dispositivos não lineares.

- Flutuações de tensão – as variações registradas nas potências ativa e reativa, juntamente com o chaveamento aleatório dos aerogeradores podem permitir flutuações de tensão que geram flickers<sup>64</sup>.

Em termos nacionais o parque brasileiro de geração de eletricidade está suportado por grandes blocos de geração, predominantemente hidroelétrica, afastados dos centros de carga e interligados em um sistema nacional através de longas linhas de transmissão que apresentam restrições de carga em diversos pontos.

Os aproveitamentos descentralizados estão localizados, em sua maioria, nos sistemas isolados, não representando um volume considerável no fluxo de carga do sistema interligado nacional, uma vez que o total de unidades de geração e o volume gerado ainda são pequenos quando comparados ao fluxo total de carga disponibilizada no sistema pelas grandes unidades de geração. Isto significa que, no Brasil, o grau de penetração da Geração Distribuída – GP é pequeno.

$$GP (\%) = [PG/(P+PG)]. 100$$

Onde:

P – carga suprida por geração externa;

PG – nova carga, suprida por geração local.

A produção descentralizada de eletricidade, dependendo do valor do GP, tem o atrativo de poder atuar positivamente no sistema em virtude de estar localizada próxima aos centros de carga, possibilitando uma redução do perfil de carga dos sistemas de transmissão e favorecendo um controle na tensão da rede e uma redução das perdas presentes na transmissão. Tais benefícios são mais bem qualificados quando a geração descentralizada é feita através de unidades termelétricas, já que para estas tecnologias as possíveis restrições de oferta de geração não estão ligadas às variabilidades da fonte primária que movimentam a turbina. Este é o caso das turbinas eólicas, que apresentam

---

<sup>64</sup> *Flicker* é definido como uma impressão visual de oscilação induzido por um estímulo luminoso no qual a luminância ou a distribuição espectral flutua no tempo. Variações rápidas de tensão elétrica em baixa frequência são fontes de *flicker*.

um perfil de geração totalmente dependente do comportamento do vento, velocidade e direção, no local de exploração. Um aumento no GP pode introduzir no sistema uma maior complexidade do controle, proteção, e manutenção. Isto significa o surgimento de novas demandas técnicas no que concerne a problemas vinculados ao sistema de proteção, controle dos níveis de tensão na rede, controle de reativos e falhas nos sistemas automáticos de operação da rede de distribuição, o que favorece a efeitos indesejáveis como injeção de harmônicos e *flickers* (GOMES, 1999).

Nos aproveitamentos eólicos, a variação do perfil de vento imprime uma variação na potência gerada, registrando momentâneas quedas no volume da potência e até mesmo desligamento da unidade geradora por falta de vento, bem como por ocorrência de velocidades próximas ao valor de “Corte” (*cut-out*).

A ampliação da participação da geração distribuída eleva as dificuldades de estabelecimento do pré-despacho e dos despachos das usinas convencionais devido às flutuações da potência gerada nas unidades de geração distribuída. Para a geração de eletricidade a partir de aerogeradores essa dificuldade se eleva, já que o despacho futuro é função exclusiva da existência de ventos a velocidades e direções compatíveis com o perfil do aerogerador instalado, tornando imperativa a existência de uma reserva potencial de geração capaz de suprir a potência eventualmente não oferecida pelas unidades eólicas de geração.

A variabilidade do vento também produz maiores dificuldades no controle do perfil da tensão do sistema próximo à unidade de geração imputando quedas de qualidade de tensão e desempenho dinâmico, fruto das variações da potência disponibilizada pelo aerogerador (GOMES, 1999).

De maneira geral os impactos de uma maior penetração da energia eólica na matriz de geração elétrica brasileira estarão estreitamente relacionados com as características da rede na área de conexão, bem como a proximidade dos centros de cargas. Se tomarmos como base o volume da potência instalada prevista para entrar em operação no Brasil, verificamos que na região Nordeste estes valores somam 4,56 GW, representando 75,5% da carga projetada para a região (6.041 MW médios), tornando imperativa a execução de estudos que apontem o comportamento dos parques eólicos quanto aos quatro objetivos básicos das unidades de geração: controle e qualidade da energia gerada, manutenção do balanceamento do sistema, controle da tensão, suprimento da corrente de curto. Impera, portanto, o conhecimento dos impactos no

sistema de transmissão e distribuição regional, bem como seus efeitos no sistema interligado nacional. Dentre os estudos propostos pelos especialistas do setor é possível citar:

- Determinação do valor ideal do GP da geração eólica;
- Os alívios ou reforços necessários no sistema de transmissão, sub-transmissão e distribuição nas áreas circundantes aos parques eólicos;
- Estudos em regime permanente e em regime dinâmico abrangendo o desligamento dos aerogeradores, a ocorrência de curtos-circuitos e variações no total da energia gerada.

#### 4.6 A Variável Ambiental

Existe um consenso entre os planejadores do mercado mundial de energia de que, na composição dos preços de um combustível estão inclusos, não somente seus custos econômicos, mas também seus custos sociais e ambientais. Afirma GIPE (1995) e JACKSON (1992) que nenhuma forma de energia ou tecnologia de geração de eletricidade se realiza sem algum tipo de impacto ambiental ou custo social. O desafio reside em determinar tais custos e internalizá-los de maneira justa e racional na matriz determinante de seus preços.

Recai sobre os impactos ambientais resultantes do aproveitamento das fontes convencionais de energia - com acento naquelas derivadas dos recursos fósseis - bem como pelo caráter esgotável destas, as motivações prioritárias para a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias de aproveitamento dos recursos renováveis de energia. Nesse sentido JACKSON (1992) afirma que:

*...na ausência de uma avaliação econômica comparativa favorável às fontes renováveis de energia, estas permanecem sendo às razões principais da sua expansão e uso. As principais cores das energias renováveis são ambientais. Sem as supostas vantagens ambientais creditadas as fontes renováveis, a conveniência destas reduz-se dramaticamente.*

O aproveitamento energético do potencial eólico nacional através da tecnologia eólio-elétrica mostra-se acentuadamente positivo sob o ponto de vista das demandas



ambientais e sociais em curso no mundo. Certamente os maiores atrativos estão creditados ao caráter limpo, renovável e sustentável dessa tecnologia.

Esses atributos, na atualidade, revestem-se de maior importância em regiões econômicas onde seus parques geradores são predominantemente dependentes de combustíveis fósseis e suas capacidades instaladas já se encontram ajustadas a suas demandas projetadas. Nestes mercados, a expansão do uso das fontes renováveis de energia permite a parcial substituição da capacidade instalada em geração térmica. Com este objetivo vem-se estabelecendo um arcabouço legislativo no qual se prioriza os benefícios ambientais advindos da adoção de uma política de promoção das fontes renováveis de energia, legislação esta que se volta fortemente para estabelecimento de metas de redução dos gases intensificadores do efeito estufa.

Em mercados onde as fontes renováveis são preponderantes na composição da matriz de geração de eletricidade, como é o caso brasileiro, a vertente ambiental vinculada às emissões evitadas não é, por si só, o argumento determinante do estabelecimento de incentivos legislativos e de mercado à expansão da tecnologia eólica-elétrica, o que torna ímpar a contabilização de outros benefícios marginais de comprovada significância, no que concerne ao funcionamento do sistema elétrico e suas repercussões na tríade sócio-econômica-ambiental.

#### **4.6.1 Redução de Gases Intensificadores do Efeito Estufa**

Durante o último século, as concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera têm aumentado substancialmente. Isto ocorre, em grande parte, devido ao incremento do uso dos combustíveis fósseis ao longo do processo do desenvolvimento humano, bem como por outros fatores que estão relacionados com o aumento da população e ampliação do consumo de bens e serviços, além das mudanças registradas quanto ao uso do solo.

O terceiro relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC (2001)<sup>65</sup> apresenta evidências que confirmam que o clima do planeta está

---

<sup>65</sup> O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA, juntamente com a Organização Meteorológica Mundial - OMM, criaram no ano de 1998 o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima - IPCC, objetivando: i) analisar as informações científicas disponíveis sobre a mudança climática; ii) avaliar as possíveis repercussões sócio-econômico-ambientais decorrentes das mudanças do clima e iii) estabelecer estratégias de atuação sobre as mudanças climáticas e seus impactos sobre o planeta.

mudando como resultado das atividades humanas na terra, e majoritariamente devido ao uso dos combustíveis fósseis.

O relatório do IPCC mostra que a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico aumentou em 25% desde o período que antecedeu a revolução industrial, e é esperado que esta dobre de valor por volta de 2050. O IPCC estimou, em 1996, que a temperatura média global aumentou em torno de 0.3-0.6 °C desde 1900, e projetou uma elevação adicional relativa a 1990 de 1.0-3.5 °C (com uma melhor estimativa de 2.0 °C) até o ano de 2100. Como consequência se prevê que o nível do mar se eleve em 15-95 cm. Nesse cenário, os efeitos da denominada intensificação dos gases de efeito estufa, devido às emissões antropogênicas é um conceito aceito como fato, e os cientistas do IPCC orientam para a urgente necessidade de adoção de mudanças na estrutura econômica mundial e, principalmente no que se refere ao mercado de energia, bem como de câmbios no plano ambiental que devem ser postos em prática.

Nesse sentido, a Comissão Européia vem aglutinando esforços para reduzir as emissões provenientes de seus estados membros. Tais ações se coadunam com os pressupostos norteadores da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima<sup>66</sup> e o Protocolo de Quioto<sup>67</sup>.

A taxa de emissão de gases intensificadores do efeito estufa advindos da produção de eletricidade em uma unidade geradora é fundamentalmente definida pelo tipo de combustível usado. Tais taxas diferem entre países, uma vez que a mesma é função da eficiência das plantas, regime de operação, composição do combustível usado e das medidas mitigadoras adotadas.

---

<sup>66</sup> A resolução 45/212-1990, das Nações Unidas criou um Comitê Intergovernamental de Negociação com o objetivo de elaborar uma Convenção Quadro sobre Mudança do Clima. Após um ano e meio de negociações em cinco rodadas de negociação foi elaborada em maio de 1992 a Convenção Quadro sobre Mudança do Clima. Durante a Conferência das Nações Unidas, esta Convenção assinada por 155 Estados entrou em vigor em março de 1994.

A Convenção Quadro sobre Mudança do Clima em seu artigo 2º estabelece que o seu objetivo principal consiste em alcançar a estabilização das concentrações dos gases de efeito estufa na atmosfera a um nível que impeça interferências antropogênicas perigosas ao sistema climático. Os níveis de estabilização devem ser atingidos em um prazo tal que possa permitir que os ecossistemas se adaptem naturalmente às mudanças climáticas, garantindo assim segurança na produção de alimentos e o desenvolvimento econômico em bases sustentáveis.

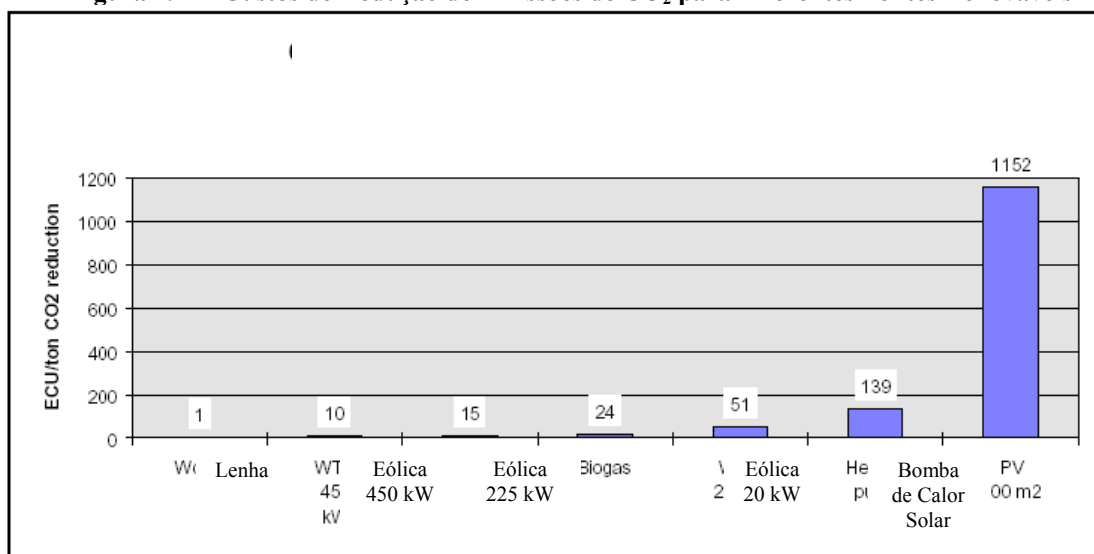
<sup>67</sup> Um protocolo é um acordo internacional autônomo, mas vinculado a um tratado já existente. Isso significa que o Protocolo de Quioto compartilha as preocupações e os princípios estabelecidos na Convenção Quadro sobre Mudança do Clima agregando compromissos mais enérgicos e detalhados que os estipulados na Convenção (Ministério del Medio Ambiente, 2004).

O Protocolo de Quioto, adotado em 1997 durante a terceira seção da Convenção das Partes – COP, entrou em período de vigência em março de 2005. Este protocolo estabelece um compromisso específico de redução de emissões líquidas de gases de efeito estufa para os principais países desenvolvidos e em economias de transição.

Na União Européia, aproximadamente um terço das emissões de CO<sub>2</sub> são produzidas em unidades de geração termelétrica. Uma vez que cada unidade de energia elétrica (kWh) advinda de uma central eólio-elétrica pode ser associada a uma igual unidade gerada em uma central termelétrica, é possível demonstrar que a adoção da energia eólica é uma alternativa viável ao alcance das metas de redução das emissões de CO<sub>2</sub>.

Estudo conduzido pela *European Wind Energy Association* (EWEA, 1997) mostra que, quando comparada a outras tecnologias renováveis a tecnologia eólio-elétrica tem se mostrado uma das alternativas mais baratas de redução das emissões de CO<sub>2</sub> emitido em centrais termelétricas convencionais. Tal assertiva pode ser verificada na figura 4.11 que apresenta uma comparação dos custos de redução de emissões de CO<sub>2</sub> feita para diferentes fontes renováveis de energia em relação à tecnologia termoelétrica convencional.

**Figura 4.11 - Custos de Redução de Emissões de CO<sub>2</sub> para Diferentes Fontes Renováveis**



Fonte: EWEA, 1997.

Estudos realizados na Europa mostram que o tempo necessário para a recuperação da energia utilizada em todo o processo de instalação de um parque eólico, quando do início de seu funcionamento, está em torno de 3 a 5 meses. Já as emissões de CO<sub>2</sub>, fruto, não de sua operação, que é livre de emissões, mas sim das emissões contabilizadas na produção dos equipamentos, transporte e instalação, estão calculadas entre 7 e 10g CO<sub>2</sub>/kWh (EC, 1997, HOLTINEN et al, 2004, LENZEN e MUNKSGAARD, 2002, WEC, 1993).

Uma turbina eólica de 600 kW comercialmente disponível, quando substitui unidades termelétricas convencionais, tem potencial de evitar, durante seus 20 anos de vida útil, emissões de CO<sub>2</sub> na ordem de 20.000 - 36.000 toneladas. Estes valores dependem imperativamente do regime de vento e, por consequência, do fator de capacidade no local de instalação. O Conselho Mundial de Energia em seu relatório “*Renewable energy resources: opportunities and constraints 1990-2020*”, publicou estudo comparativo das emissões de CO<sub>2</sub> oriundas da aplicação de distintas tecnologias de geração de eletricidade (WEC, 1993). A tabela 4.7 sintetiza os valores disponíveis no referido relatório, por ela se pode inferir que, dentre as tecnologias que apresentam emissões inferiores às registradas pela tecnologia eólio-elétrica (geotérmica, fotovoltaica, grandes hidroelétricas e solar térmica), apenas as grandes hidroelétricas apresentam-se estruturadas de forma competitiva.

No entanto, é importante frisar que diversos estudos têm sido conduzidos no Brasil e Canadá, com o objetivo de quantificar o quão significativas são as emissões de gases de efeito estufa oriundas dos grandes reservatórios, em especial as emissões de metano (ROSA et al, 2004).

**Tabela 4.7 - Emissões de CO<sub>2</sub> por Tecnologias de Geração Elétrica**

EMIÇÃO DE CO <sub>2</sub> – TON/GWH				
Tecnologia	Extração	Construção	Operação	Total
Coal-fired	1	1	962	964
Oil-fired	-	-	726	726
Gás-fired	-	-	484	484
Geothermal	<1	1	56	57
Small hydro	N/A	10	N/A	10
Nuclear	~2	1	5	8
Wind	N/A	7	N/A	7
Photovoltaics	N/A	5	N/A	5
Large hydro	N/A	4	N/A	4
Solar thermal	N/A	3	N/A	3
Wood	-1509	3	1346	-160

Fonte: WEC, 1993.

No que se refere às emissões de CO<sub>2</sub>, o Brasil apresenta índices bastante inferiores à média mundial de tonelada de carbono *per capita* advinda da indústria de energia elétrica. O fato é justificado pela forte presença da hidroeletricidade na sua matriz. No entanto, o planejamento da expansão do setor elétrico brasileiro, fruto do modelo concorrencial em fase de implementação, aponta para um incremento da participação da termeletricidade, com base no gás natural. Esta nova orientação

conduzirá necessariamente a um aumento das emissões associadas ao setor elétrico brasileiro.

Considerando o fato de que não há uma indústria eólica comercialmente estruturada no Brasil, faz-se necessário, em um primeiro momento, a importação da quase totalidade dos equipamentos a serem empregados nos futuros parques eólicos. Nesse contexto, o tempo de retorno da energia usada no processo de implementação destes parques e a contabilização de suas emissões de CO<sub>2</sub> terão comportamentos semelhantes aos verificados na Europa. Em um segundo momento, com o estabelecimento de um parque industrial eólico, estes índices tenderão a cair, uma vez que o cálculo destes fatores é feito a partir do tipo de combustível e tecnologia usada para a produção de energia e a Europa possui uma matriz energética bastante dependente dos combustíveis fósseis, ao contrário do parque elétrico produtor brasileiro que é marcadamente hídrico.

#### **4.6.1.2 Oportunidades dentro do Protocolo de Quioto**

O Protocolo de Quioto considera a possibilidade de uso de três instrumentos, conhecidos por mecanismos de flexibilização, a serem empregados, de forma complementar, pelos países para o alcance de suas metas de redução das emissões dos gases de efeito estufa: Comércio de Emissões – CE, Mecanismo de Implementação Conjunta - IC, e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL. Os dois últimos mecanismos são denominados de mecanismos baseados em projetos, pelo fato de que as unidades de redução das emissões são derivadas de investimentos em projetos ambientalmente adicionados. Tais projetos são estruturados de forma a reduzir as emissões antropogênicas por fontes, ou incrementar a absorção antropogênica por sumidouros de gases de efeito estufa.

A inclusão desse tipo de mecanismo de flexibilização é justificada pelo caráter global dos desafios postos ao planeta pelas mudanças climáticas, o que torna os efeitos das reduções das emissões dos gases de efeito estufa independente do seu local de origem. Nesse contexto, é facultado aos países com compromissos de redução e limitação de emissões, que considerem ser mais dispendioso reduzir suas emissões em

seu próprio território, optar por compensar essas reduções, através da compra de emissões evitadas em um outro país a um custo inferior.

Como determinado no Protocolo de Quioto, tais mecanismos de flexibilização estão orientados a dois objetivos: i) facilitar os países do Anexo I da Convenção (países desenvolvidos e países com economias de transição) o alcance de seus compromissos de redução e limitação de emissões; ii) contribuir para o desenvolvimento sustentável dos países em desenvolvimento, países não inclusos no Anexo I, via transferência de tecnologias limpas especialmente tecnologias renováveis de conversão de energia.

Os mecanismos de Comércio de Emissões – CE e Implementação Conjunta – IC, somente têm validade para implementação conjunta de projetos entre os países do Anexo I, e tem por objetivo a contabilização de reduções líquidas de emissões de gases de efeito estufa. O protocolo ainda prevê que a execução desses projetos ocorra nos próprios países que compõem o Anexo I. Aos países que estão fora do Anexo I só é permitido participar do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL.

Quando consideramos as oportunidades do uso da tecnologia eólio-elétrica no contexto do protocolo do MDL, a matéria se reveste de um alto grau de relevância na estruturação de políticas públicas orientadas à determinação de rotas tecnológicas que venham proporcionar redução nos custos de abatimento de CO<sub>2</sub>, uma vez que a adoção da geração eólica se mostra bem mais atrativa, quando comparada a outras medidas.

A eletricidade advinda das turbinas eólicas é livre de emissões de CO<sub>2</sub>, mesmo se forem contabilizada as emissões liberadas pelos materiais que compõem o sistema e pela construção das unidades de geração. As emissões de CO<sub>2</sub> para essa tecnologia ficam na ordem de 10 g CO<sub>2</sub>/kWh gerado (LENZEN e MUNKSGAARD, 2002). Quando a energia eólica está substituindo outras formas de geração que emitem CO<sub>2</sub>, as emissões são reduzidas em sua totalidade. A quantidade de CO<sub>2</sub> que será evitada pela unidade de geração eólio-elétrica depende substancialmente da tecnologia (e do seu combustível) que está sendo substituído pela unidade eólio-elétrica.

Tradicionalmente, para ser gerido de forma racional sob o ponto de vista das restrições econômico-financeiras, os mercados de energia elétrica, sejam eles regulados ou não, efetuam seus despachos diários de eletricidade considerando os custos marginais da próxima unidade de geração a ter seu despacho autorizado. Dessa forma o despacho é gerido de tal maneira que a nova unidade de geração que ingressar no

sistema apresentará custo marginal superior à última unidade que estava sendo despachada.

Em face dessa estrutura, se pode inferir que a energia advinda das unidades eólio-elétricas estará sempre substituindo as unidades de geração que apresentam custos marginais superiores aos atribuídos a estas. Isso, na maioria dos sistemas elétricos em funcionamento no mundo, se traduz na substituição de usinas termelétricas a carvão, o que, por consequência, resulta em considerar que as emissões evitadas de CO<sub>2</sub> pelas unidades eólio-elétricas alcançam valores iguais aos emitidos pelas termelétricas a carvão que são de cerca de 800-900 g CO<sub>2</sub>/kWh. Este valor é frequentemente apresentado na literatura como sendo o valor de referência de emissões de CO<sub>2</sub> evitadas pelas unidades eólio-elétricas (EWEA, 1996).

A assertiva anterior é válida para a maioria dos sistemas que fazem uso de termelétricas a carvão e a participação da energia eólica na matriz de geração é secundária. Nesse contexto, este valor de referência configura-se em uma estimativa racional para o CO<sub>2</sub> evitado por turbinas eólicas quando essa tecnologia é introduzida em um país com tais características.

A estimativa também é válida para sistemas que já contam com grandes blocos de geração eólica a ser despachado, mas que a geração de eletricidade segue sendo predominantemente advinda de termelétricas a carvão.

Em outros mercados, o aumento da participação da energia eólio-elétrica pode mudar substancialmente esta situação. Nesses casos, pode também ocorrer de não haver capacidade instalada em plantas termelétricas a carvão a ser substituída por toda a energia eólica disponível no despacho diário. Dessa forma, durante alguns períodos, as plantas eólicas estariam substituindo outras formas de geração, a exemplo de usinas termelétricas a gás natural (essas usinas apresentam emissões de CO<sub>2</sub> na ordem de 400-600 g CO<sub>2</sub>/kWh), ou ainda unidades de geração livre de emissões de CO<sub>2</sub>, como é o caso da hidroeletricidade, biomassa ou energia nuclear. Como forma de equacionar as dificuldades de se estabelecer um valor que contemple as características variáveis do abatimento de emissões de CO<sub>2</sub> por unidades eólio-elétricas, as estimativas de redução de CO<sub>2</sub> são feitas, em muitas situações, usando-se as médias de emissão do setor elétrico.

Em países com grande participação da energia nuclear, os valores de emissões evitadas por usinas eólicas se reduzem consideravelmente, quando comparados às estimativas que usam 800-900 g CO<sub>2</sub>/kWh como a medida de abatimento.

Alguns estudos consideram os efeitos de longo prazo da entrada da energia eólica no sistema como uma variável de análise que permite inferir como esta tecnologia irá substituir futuros investimentos necessários à expansão do sistema. Assim, a tecnologia eólio-elétrica passa a ser considerada como uma alternativa viável de substituição e/ou complementação a outras tecnologias, muito fortemente as tecnologias de uso do gás natural. Isso faz com que as emissões evitadas de CO<sub>2</sub> pelas usinas eólicas, quando considerado o deslocamento de plantas a gás natural de ciclo combinado, alcancem valores de 300-400 g/kWh (IEA e GHG, 2000).

Nesse tipo de análise, caso o sistema elétrico possua plantas a carvão, se está negligenciando as emissões evitadas pelas plantas a gás natural ao entrar no sistema. Nesse contexto os valores de 300-400 g/kWh evitadas pelas plantas eólicas melhor se enquadram em situação em que não haja nenhuma planta a carvão a ser substituída por unidades a gás natural.

Em sistemas com forte presença de hidroeletricidade, a avaliação dos efeitos da geração eólica na redução das emissões de CO<sub>2</sub> se complexifica, isto é dado pelo fato de que em situações de elevado potencial de geração eólica, devido à existência de altas velocidades de ventos em uma determinada hora do dia, não se garante o despacho da energia a ser gerada, uma vez que o sistema pode não responder instantaneamente a entrada desse bloco de energia: até mesmo se a produção advinda das unidades hidroelétricas estiver instantaneamente reduzida nesse instante, a energia armazenada no reservatório poderá ser produzida em um momento posterior, evitando assim o uso do combustível fóssil em outro período. Por esses motivos não é usual considerar que a energia eólica possa substituir a energia hidroelétrica, a menos que o sistema hidroelétrico seja sobremaneira dominante, como é o caso brasileiro. Em sistemas interconectados é racional planejar o uso da energia eólica em substituição a plantas a carvão ou gás natural em países vizinhos.

De maneira geral o estudo dos efeitos da geração eólica no abatimento do CO<sub>2</sub> mostra que em mercados que não são dependentes de unidades termelétricas a carvão e apresentam um elevado potencial de energia eólica disponível para o despacho, se faz imperativo simular os efeitos da adição da energia eólica. Comparando os resultados de



simulações com e sem a capacidade instalada em energia eólica é possível estimar o volume de emissões evitadas de CO<sub>2</sub> pela entrada da energia eólica.

No mundo não há muitos estudos disponíveis sobre tais simulações. Em um estudo de previsão feito para o sistema hidro-térmico da Finlândia PELTOLA e PET.AJ.A, apud HOLTTINEN et al (2004), apresenta resultados que mostram que ao se produzir de 1 a 6% do consumo anual de eletricidade a partir da energia eólica, mantendo os atuais níveis de rendimento do sistema, as emissões evitadas de CO<sub>2</sub> atingem valores de 900 g CO<sub>2</sub>/kWh. Para o sistema hidro-térmico egípcio, as simulações mostram ser possível evitar 640 g CO<sub>2</sub>/kWh através da geração eólica (EL-SAYED, 2002).

REIS (2002), ao propor metodologias para estimar o potencial de redução das emissões de gases de efeito estufa resultantes da implementação de projetos que utilizam fontes de energia renováveis não convencionais – eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs )- no Sistema Interligado Nacional (SIN), dentro do contexto do MDL, conclui que a implementação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (PROINFA) aportará relevante contribuição na redução das emissões totais (tCO<sub>2</sub>/ano) do SIN.

Em que pese a predominância da hidroeletricidade na matriz elétrica, registra-se que o Plano Decenal da Expansão do setor elétrico nacional PDE-2001/2010 prevê um significativo crescimento da termoeletricidade convencional na matriz elétrica brasileira. Esse aumento de participação estará prioritariamente pautado no crescimento do consumo do gás natural. Como resultado desta tendência será registrado um considerável aumento no nível de emissões do setor.

REIS (2002) alerta para a necessidade de o Brasil inserir-se de forma competitiva no mercado internacional do carbono, ponderando também que o mais importante é reconhecer a existência de um espaço para o desenvolvimento desse tipo de projeto e trabalhar para definir políticas e programas no Brasil capazes de contribuir para a redução dos GEEs no setor elétrico brasileiro. Não se pode descartar a possibilidade de que, no médio prazo, após o 1º período de compromisso, o Brasil passe a ter obrigações com metas de redução quantificada de emissões. Os estudos já desenvolvidos sobre as emissões de GEEs das hidrelétricas recomendam que o país se prepare efetivamente para enfrentar a possibilidade de reduzir emissões, após 2012.

#### 4.6.2 Impacto Sobre o Uso do Solo

Ao contrário do que ocorre com as fontes convencionais de energia, a produção de energia eólica não implica em nenhuma alteração do lençol freático por consumo, contaminação, geração de resíduos ou lançamentos, bem como não são feitos grandes movimentos de terras ou impedimento de seu uso.

Os arranjos das turbinas, adotados em um projeto de aproveitamento eólico-elétrico, obedecem a determinados padrões geométricos que visam minimizar os efeitos de um conjunto torre/turbina sobre outros. Dessa forma, os padrões de espaçamento entre as turbinas são dependentes do relevo do terreno e do perfil de vento quanto à sua direção predominante.

Em áreas onde o vento apresenta elevadas variações em sua direção, as turbinas são espaçadas de tal forma que a distância entre elas fica em torno de 8 a 10 vezes o diâmetro do rotor. Já em sítios onde o vento é unidirecional ou bidirecional as distâncias entre as turbinas podem ser compactadas para 1,5 a 3 vezes o diâmetro do rotor para as turbinas alinhadas em uma mesma fila. No entanto, prevalece o distanciamento de 8 a 10 diâmetros de rotor para as turbinas que ficam na fila atrás, ou para a distância entre filas.

Em geral os parques eólicos comerciais ocupam algo em torno de 4 ha por megawatt quando instalado em arranjos lineares de disposição das turbinas e até 32 ha por megawatt em sítios com arranjo de distanciamento de 10 por 10 vezes o diâmetro do rotor em locais de grande variações na direção do vento.

Um dos principais fatores inerentes à indústria da energia eólica é, sem dúvida, a ocupação da terra. A valoração deste fator decorre, em uma visão clássica, da estrita produtividade da terra, devendo-se considerar sua vocação e predominância de uso, além dos custos sociais e ambientais.

Verifica-se nos países com organização territorial concluída o impedimento de usos desregrados do solo, evitando a adoção de iniciativas que comprometam direta ou indiretamente a vocação de seu território. O que reflete na estruturação dos empreendimentos eólicos. No Brasil o território encontra-se em processo de organização, o que contribui para a ocupação irregular do solo imputando menores custos e restrições ao uso da terra.

Os futuros aproveitamentos eólicos no Brasil estão fortemente concentrados na Região Nordeste (76%), esta considerada uma região de baixo desenvolvimento econômico-social o que facilita a ocupação desordenada do solo favorecida pela baixa participação da sociedade civil organizada no processo de planejamento do espaço. Este quadro aliado à carência de oportunidade consolidada nessa região impõe aos gestores públicos a busca de empreendimentos de cunho econômico sem considerar fatores como a ocupação do solo.

Em que pese o pouco e recente desenvolvimento da energia eólica no Brasil os custos de aproveitamento e uso do solo ainda encontram-se em processo de formação. No entanto, é previsível que em caso extremo os mesmos venham a se compor como estruturado na Europa. O que se verifica no momento é que a oportunidade de acesso à terra tem se mostrado uma aliada aos investidores, quer pela desvalorização financeira da terra, quer pela quase inexistente intervenção da sociedade. Dessa forma é imperativo que os projetos de aproveitamento eólico em estudo no Brasil incorporem externalidades e demandas vinculadas à cultura local de uso e ocupação do solo.

Quando da instalação de um parque eólico apenas 1% da área ocupada se torna fisicamente indisponível para as atividades antes existentes ou para adoção de uma nova atividade no local. Em se tratando de aproveitamentos eólicos situados em área rural não se registra na literatura nenhuma evidência de que um parque eólico possa vir interferir nas atividades agrícolas e de criação de gado (EWEA, 1997, GIPE 1995).

#### **4.6.3 Impactos Sobre a Paisagem**

Excetuando o ponto de vista estético (valoração altamente subjetiva), os aproveitamentos eólicos produzem um impacto visual inevitável, já que, devido às suas características técnicas, estão normalmente instalados em locais que os evidenciam (morros, colinas, litoral, dentre outros). Dessa forma, a implantação de turbinas eólicas em grande escala pode produzir uma alteração clara sobre a paisagem, o que deverá ser avaliado em função da situação prévia existente em cada localização, cabendo à população local uma intervenção direta no processo de valoração desse impacto.

As unidades de geração eólio-elétrica devem preferencialmente ser instaladas em áreas comercialmente viáveis. Na maioria dos projetos eólicos estas áreas dão ampla exposição ao empreendimento. A reação dos comunitários à intrusão visual advinda das

fazendas eólicas é um elemento carregado de elevada subjetividade. Muitos cidadãos as vêem com bons olhos, creditando a estas um signo de uma tecnologia limpa e visualmente atrativa. Já uma outra parcela considera a introdução das fazendas eólicas uma intervenção danosa à paisagem natural.

Esta natureza subjetiva da reação dos comunitários impede a determinação, de forma imperativa, do real valor do dano visual causado pelas fazendas eólicas. Uma tentativa de quantificar tais custos é referenciada na pesquisa conduzida pelo *Research Institute of the Counties & Municipalities in Dinmark* – AKF. Nesta pesquisa foi estimado como sendo pouco significativo, na ordem de ECU 0.0012 por kWh de energia gerada, os custos referentes ao impacto sonoro e visual de um aproveitamento eólico-elétrico<sup>68</sup> (AFK, 1996).

Uma melhor compreensão dos benefícios ambientais advindos da ampliação do uso da energia eólica para o sistema de distribuição de energia elétrica e suas repercussões positivas sobre o meio ambiente tende a amortizar ainda mais as rejeições a esta tecnologia, quanto a seu impacto sobre a paisagem. A indústria eólica tem ampliado os esforços com vista a melhor integrar os parques eólicos à paisagem. No atual estágio de desenvolvimento das turbinas eólicas registra-se que uma turbina de 1.5 MW apresenta uma pequena diferença em relação a uma unidade de 500 de kW. Dessa forma, caso seja seguida a tendência de ampliação da capacidade das turbinas, se registrará uma também contínua redução dos efeitos visuais de uma determinada capacidade instalada.

Uma turbina eólica típica usada para grande geração de eletricidade conectada à rede tem potência em torno de 1,5 MW. Esta é montada em uma torre de 60 a 80 m, tendo um rotor de três pás com um diâmetro de 60 a 70 m. Embora a ampliação da capacidade instalada por turbina seja uma tendência, é factível que esta configuração permaneça como sendo a mais popular em áreas de elevada densidade populacional pelas razões seguintes:

---

<sup>68</sup> A pesquisa estruturou-se em 342 entrevistas feitas com moradores da região próxima ao empreendimento. Os moradores foram argüidos de quanto estariam dispostos a pagar para que fosse desativada a unidade de geração eólica em sua área de moradia. Os resultados foram refinados pela comparação das respostas apresentadas por 74 entrevistados que moravam muito perto das turbinas com outros, de mesmo padrão habitacional, que residiam em áreas mais afastadas da unidade de geração (AFK, 1996).

- Turbinas de três pás giram mais lentamente que as turbinas de 02 pás, dessa forma o efeito visual e sonoro é reduzido;
- Turbinas de 03 pás parecem girar de forma mais harmônica, sendo consideradas então mais agradáveis à visão;
- A opinião pública é mais tolerante a uma padronização das turbinas.

A maioria dos novos empreendimentos eólicos está instalando suas turbinas sobre uma torre de aço tubular afilada, o que, para a maioria das pessoas torna-se mais agradável esteticamente que as torres em treliça largamente usadas nas primeiras fazendas eólicas espalhadas pelo mundo.

Os efeitos da reflexão da luz solar ou de seu sombreamento (*Shadow Flicker*)<sup>69</sup> pelas pás das turbinas eólicas vêm sendo tratados de forma muito cuidadosa pelos projetistas e tal cautela visa minimizar tais efeitos. Estes efeitos, facilmente previsíveis, só ocorrem durante certos períodos em que se tem a luz solar diretamente orientada às pás, e deixam de existir quando a luz do sol é difusa pelas nuvens. As ações que induzem a minimização desses efeitos são facilmente exeqüíveis através de avaliações que melhor determinem o posicionamento das turbinas (EWEA, 1997; GIPE 1995).

#### 4.6.4 Impactos Sonoros

A produção de ruído está presente em todas as formas dinâmicas de conversão de energia. Em se tratando de energia eólica, este tema permaneceu até o início da década de 1990 carreando um extenso debate centrado na questão de quão geradora de ruído são as turbinas eólicas. A geração eólio-elétrica não ocorre na ausência total de ruídos. Todas as turbinas eólicas geram sons indesejados. Algumas turbinas são mais ruidosas que outras e isso ocorre devido às distintas tecnologias e gerações de turbinas que foram sendo postas no mercado ao longo do desenvolvimento da indústria eólio-elétrica.

---

<sup>69</sup> O efeito *Shadow Flicker* ocorre quando as pás do rotor projetam sombras que se movem rapidamente através da área do solo próxima à torre. Este efeito pode criar distúrbios quando a sombra atinge construções ocupadas, tornando-se mais evidentes quando estas construções têm suas portas ou janelas abertas diretamente orientadas na direção dos raios solares. Os europeus reclamam que o *shadow flicker* pode desorientar ou causar apreensão em 2% da população circunvizinha que sofrem de epilepsia (Gipe 1995).

Os ruídos gerados são produzidos pelo movimento das pás através do ar (emissão de vórtices), pelo movimento de troca nas engrenagens dentro da caixa de transmissão, além do barulho gerado pelo movimento do gerador elétrico. O som resultante produzido pela turbina eólica será sempre intruso à paisagem, em especial nas áreas rurais onde predominam os empreendimentos eólio-elétricos.

Os sons lançados por uma turbina eólica não são danosos, sob o ponto de vista fisiológico, aos homens e animais: não são prejudiciais ao sistema auditivo e tampouco interferem nas atividades diárias daqueles que habitam a área de influência do parque eólico. Segundo GIPE (1995) os sons advindos de uma turbina eólica não diferem de outros sons comuns aos subúrbios. O problema reside no fato de que tais ruídos são novos, e assim sendo são diferentes e por serem diferentes geram polêmicas.

Os fabricantes estimam que o nível de ruído a uma distância de 40 metros de uma turbina eólica típica encontra-se entre 50 e 60 dB(A). Um domicílio localizado a 500 metros da turbina registra um nível de ruído de cerca de 35 dB(A) quando o vento sopra na direção do rotor para o referido domicílio. Este nível de ruído, de acordo com os padrões internacionais, encontra-se na faixa tolerável de uma residência comum. Em um aproveitamento eólico composto de 10 turbinas e considerada também uma moradia a 500 m de distância da torre, o registro dos ruídos atinge um valor de cerca de 42 dB, níveis semelhantes aos registrados em um escritório. Em situações em que o vento sopra do domicílio em direção à turbina, os níveis de ruído decrescem significativamente, atingindo valores inferiores a 10 dB (EWEA, 1997, GIPE 1995).

A etapa de projeto de um aproveitamento eólico tem, na atualidade, considerado como sendo de alta relevância os estudos e a efetiva minimização de qualquer ruído que possa ser perceptível pelos moradores da região próxima do empreendimento. Todas as simulações que objetivam antever quais os níveis de ruído a serem produzidos pelos parques eólicos são realizadas, tomando como referência a situação mais conservadora, ou seja, tomam como base os efeitos sonoros observados quando o vento sopra na direção do rotor das turbinas para as edificações assentadas na área de abrangência do parque em estudo.

Os ruídos produzidos pelas turbinas eólicas se ampliam ligeiramente com o aumento da velocidade do vento. O som provocado pelo vento ao atingir árvores, construção ou outras barreiras topográficas existentes na área de aproveitamento, também aumenta com a velocidade de vento, mas normalmente ocorre a uma taxa

superior ao verificado no rotor, o que freqüentemente mascara o ruído provocado exclusivamente pelas turbinas.

Até o final da década de 1980 as turbinas eólicas eram significativamente mais promotoras de ruídos do que as atuais turbinas. Muitos estudos foram conduzidos de forma a ser possível ampliar a capacidade instalada por turbina reduzindo seu nível de ruído. Isto foi possível devido a diversas intervenções feitas no desenho das pás, bem como pela adoção de novas tecnologias de controle de velocidade, uso de geradores múltiplos e eliminação da caixa de multiplicação. Como resultado, os parques modernos já não listam a questão sonora como um resultado negativo a ser introduzido pela instalação de uma fazenda eólica.

#### **4.6.5 Impactos Sobre a Avifauna**

Os aproveitamentos eólio-elétricos revelam-se de pouco impacto sobre a flora e fauna sitiadas nas áreas de influência de seus empreendimentos. No entanto, registram-se mortes de algumas espécies de pássaros por colisão com a torre ou pás do rotor. Dentre todos os temas referentes a possíveis danos ambientais motivados pelo aproveitamento elétrico da energia dos ventos, a morte de pássaros por colisão tem sido, ao longo da história da indústria elétrica, o alvo maior de intensos debates entre os defensores dessa tecnologia e ambientalistas.

É fato que as aves freqüentemente colidem com estruturas postas em suas rotas de deslocamento. Registram-se consideráveis acidentes em linhas de transmissão, mastros, postes e fachadas de edifícios, dentre outros obstáculos. As aves também são abatidas por veículos em alta velocidade nas auto-estradas. Estudo feito nos Países Baixos (EWEA, 1997) e na Califórnia (Gipe, 1995) mostra que as mortes de pássaros por colisão com turbinas eólicas encontram-se em índices muito abaixo daqueles resultantes da prática da caça, colisão com linhas de transmissão e tráfego de veículos.

A proposta de instalação de um parque eólico de 60 MW através de 600 turbinas a serem instaladas no município de Solano no Estado da Califórnia, dentro da área de dois santuários ecológicos: Grizzly Island Wildlife, e Lower Sherman Island Wildlife Área, fez com que a associação de caçadores de aves da região suscitasse o debate que levou a promoção de um estudo, objetivando avaliar quais os impactos desse parque sob a população das aves da região.

Durante quatro anos de pesquisa foram observados os comportamentos de quinze mil pássaros através do monitoramento de 234 turbinas. O trabalho concluiu que *"O projeto Solano não apresenta nenhum impacto biológico de algum significado sobre a população de aves. As turbinas não têm qualquer efeito sobre o número de patos que futuramente os caçadores irão atirar"* (HOWELL and NOONE, 1992). O estudo também permitiu estimar a taxa de mortalidade de aves na Região de Solano e verificar que estas assumem índices semelhantes aos verificados no município de Altamont. A tabela 4.8 apresenta o número estimado de pássaros mortos em decorrência das fazendas eólicas no Norte da Califórnia.

**Tabela 4.8 - Número estimado de pássaros mortos em decorrência das Turbinas Eólicas no Norte da Califórnia**

MUNICÍPIO	ALTAMONT		SOLANO			
	Gaviões (Raptors)		Todas as Espécies		Gaviões (Raptors)	
Estimativa	Baixa	Alta	Baixa	Alta	Baixa	
Pássaros/ano	164	403	17	44	11	20
Turbinas	6.800	6.800	600	600	600	600
Pássaros/turbinas/ano	0,024	0,059	0,029	0,074	0,018	0,04
Potência MW	700	700	60	60	60	60
Pássaros/MW/ano	0,23	0,58	0,29	0,74	0,18	0,4

Fonte: Gipe, 1995 e Howell and Noone, 1992.

Outras pesquisas<sup>70</sup> também esclarecem que a presença de turbinas eólicas não molesta significativamente a avifauna. O radar instalado em um parque eólico de 2 MW e turbinas de 60 metros de diâmetro de rotor, situado em Tjaereborg, região ocidental da Dinamarca, mostrou que as aves tendem a mudar suas rotas de vôo para um afastamento de 100 a 200 m em relação a turbina, bem como passar por cima ou ao redor da torre a uma distância segura. Tal comportamento foi observado independente do horário do dia ou estação climática. Registra-se também na Dinamarca a existência de inúmeros ninhos de falcões construídos na parte superior das torres.

Estudos feitos pelo Ministério do Meio Ambiente Dinamarquês são taxativos em afirmar que há maiores riscos de colisão de pássaros em linhas de transmissão do que em turbinas eólicas (EWEA, 1997). No entanto, a questão da mortalidade de aves por

<sup>70</sup> Estudos financiados pela Califórnia Energy Commission – CEC, no ano de 1989, determinou o número exato de pássaros mortos nas áreas próximas das fazendas eólicas instaladas no Estado da Califórnia, sua *causa mortis* e as ações mitigadoras a serem implementadas nos parques sob estudos e futuros empreendimentos. Os estudos concluem que as fazendas eólicas instaladas em Altamont Pass respondem pela morte de 160 a 400 pássaros por ano (Flannery, 1992).



colisão com as turbinas eólicas é um tema seriamente conduzido pelos projetistas e ambientalistas ligados à indústria eólica. Especialistas recomendam que sejam amplamente examinados os efeitos das turbinas em regiões nas quais a presença de aves seja mais intensa ou esteja situada na rota de migração de determinadas espécies. As áreas de proteção e preservação de espécie em extinção devem ser excluídas de futuros aproveitamentos. Recomenda-se também a promoção de minuciosos estudos de localização do parque para que se evite a ocupação de áreas em *habitats* críticos: de características topográficas que possam causar concentração de pássaros ou onde as influências de severos regimes climáticos que possam provocar uma baixa visibilidade, o que torna o tráfego dos pássaros mais vulnerável a colisões.

## Capítulo 5 – Considerações Finais

Atualmente, o ambiente favorável ao desenvolvimento das fontes renováveis de energia, em particular a tecnologia eólio-elétrica, resulta de um processo amplo de conformação da indústria elétrica que vai além dos progressos técnicos e suas articulações. Assim, responde a um conjunto de interesses gerados pelo sistema produtivo, bem como de disputas travadas no interior desse mesmo sistema.

As crescentes demandas energéticas impostas pelo modelo de produção em voga na sociedade são o vetor propulsor de ânsia por novas garantias de provisão. Agem nutrindo, ajustando e retro-alimentando a indústria elétrica, uma vez que resultam de um processo de produção que se corporifica, mantém e se reproduz graças a um incessante apetite energético. A energia, necessária à reprodução de bens, estrutura-se em um mercado, que do mesmo modo, se corporifica, mantém e se reproduz graças a um incessante apetite de consumo.

Desta forma, o desenvolvimento de novos conversores é, então, resultado de escolhas sócio-políticas e econômicas, estas delimitadas por barreiras de caráter natural e pelos conflitos inerentes ao modelo internacional de circulação de mercadorias. Desse movimento resulta que o mercado elétrico influi e é influenciado em todas as suas dimensões no que concerne à adoção de alternativas tecnológicas voltadas ao suprimento das demandas fixadas pelo mercado.

Nesse contexto, a discussão concernente à adoção de uma política de suporte ao desenvolvimento eólio-elétrico na expansão do setor elétrico brasileiro, nessa tese, encontra-se inserida em um ambiente de análise mais ampla, contemplando as determinantes históricas no processo de escolha e ajustamento tecnológicos às condicionantes político-institucionais e econômicas da indústria elétrica e seus desdobramentos.

Para estabelecer o contorno necessário às análises, buscou-se assinalar os referenciais que moldaram o paradigma de expansão do setor elétrico no mercado mundial e em particular suas repercussões no Brasil. Buscou-se também contextualizar o processo de evolução do uso dos recursos energéticos e os correspondentes procedimentos de adoção de distintas tecnologias de conversão que culminaram no estabelecimento de uma regularidade tecnológica pautada na termelétricidade,

hidroeletricidade e mais recentemente na energia nuclear. Estas tecnologias se firmaram no mercado por permitirem a solidificação de um paradigma técnico-econômico que se manteve orientado a garantir uma contínua exploração de economias de escala possíveis de serem realizadas por meio de crescentes avanços tecnológicos, permitindo assim uma constante ampliação do módulo conversor, adicionando a estes maiores eficiências e rendimento.

Adere-se à análise feita os elementos condutores do esgotamento do modelo virtuoso de expansão do setor elétrico. É a partir da falência deste modelo que se põe em tela a pesquisa e o desenvolvimento das fontes renováveis complementares de energia. Nesse sentido, se faz necessária a compreensão dos fatores determinantes do estabelecimento desse ponto de inflexão no processo de manutenção da regularidade tecnológica vitoriosa no modelo de expansão do setor elétrico. Para tanto, é imperativo o entendimento dos ideários condutores dos diversos estilos de desenvolvimento adotados pelos estados nacionais. As distintas sendas do desenvolvimento percorridas pelos Estados Nacionais apresentam em comum o fato de orientar a sua estrutura produtiva à permanente exploração e utilização intensiva dos recursos naturais não renováveis. O avanço sobre as fontes de energia esteve permanentemente gerenciado de forma a possibilitar a obtenção de crescentes ganhos de eficiência, aumento de produtividade e, como resultado, redução de custos.

A lição fornecida pelo paradigma vitorioso de expansão do setor elétrico submete a garantia do provisãoamento elétrico a ganhos na ampliação do módulo conversor e expõe que este é sujeito de um sistema maior que se nutre pelo incessante apelo ao consumo perdulário, onde a cada momento novas demandas são geradas sem que se amplie sua utilidade marginal. Um sistema que negligencia seus impactos sócio-ambientais e acaba sendo incapaz de reduzir as desigualdades sociais e regionais e evitar o crescente nível de produção de desperdício, o que, por conseqüência, conformou uma relação descompassada entre o homem e o ambiente natural.

O rompimento do ciclo virtuoso de expansão do setor elétrico é creditado, portanto, à confluência de diversos fatores correlacionados: i) limitações tecnológicas à ampliação do módulo conversor em bases econômicas justificáveis; ii) instabilidade nos preços dos combustíveis derivados do petróleo; iii) mudanças no contexto macroeconômico mundial, este demarcado por um avanço inflacionário que fez com que os custos de ampliação do parque gerador fossem realizados a custos crescentes; iv)

a tomada de consciência da esgotabilidade dos recursos naturais não renováveis e suas conseqüências sobre o funcionamento do sistema produtivo. Tais fatores favoreceram a instalação do debate em torno das repercussões ambientais advindas da expansão do setor elétrico através das tecnologias convencionais.

Nesses termos, registra-se que a síntese do debate esteve sobremaneira amarrada à ocorrência de que o processo de expansão dos sistemas elétricos se realizou à custa de uma vertiginosa dependência dos combustíveis fósseis. É nesse ambiente orientado pela sombra da escassez e/ou restrições de acesso de ordem financeira ou conjuntural às fontes de origem fóssil que se estruturam os marcos norteadores de uma nova rota de expansão do setor elétrico. Estes marcos normalizam e/ou impõem barreiras à ampliação do uso dos recursos fósseis. Como resultado, verifica-se que as tecnologias renováveis de conversão de eletricidade encontraram espaço para o seu desenvolvimento.

É a partir das análises feitas sobre a estrutura que deram forma ao setor elétrico e do conhecimento das variáveis que o condicionam e retro-alimentam que se faz possível revelar a lógica articuladora dos elementos intrínsecos aos fatores tecnológicos, econômicos, institucionais, políticos, sociais e ambientais que determinam as oportunidades e obstáculos de uma verdadeira ampliação do uso das tecnologias renováveis complementares no mercado interligado brasileiro de energia elétrica. As condicionantes que possibilitam a proposição da adoção de um suporte para alavancar as tecnologias renováveis complementares como alternativa de provisão são, portanto, marcadamente determinadas por diversos eventos registrados na dinâmica de funcionamento dos mercados energéticos, bem como por novos valores e elementos de análise inseridos no processo.

Um dos elementos abrange o registro de limitações tecnológicas frente ao exame estrito das análises de custo benefício, orientadas exclusivamente pelas cobiças do mercado através de seus austeros indicadores econômicos. Se por um lado estas limitações obstaculizaram a ampliação dos ganhos de escala do módulo conversor, por outro colaboraram consideravelmente para a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias orientadas à geração distribuída. É da contradição nascente das negativas apreciações do custo-benefício que se ampara a necessidade de outras ferramentas de suporte.

Verifica-se também um conjunto de eventos de caráter político-sócio-econômico que põe por terra o ciclo virtuoso do crescimento econômico pautado na profusão dos

recursos energéticos. Nesse aspecto, as restrições impostas pelos denominados “choques do petróleo” dos anos 1970 traduzem-se em um fator determinante da disponibilidade de recursos para pesquisa e desenvolvimento das fontes renováveis complementares.

Vale aqui registrar a contradição existente no apelo ao uso eficiente dos recursos naturais, imposto no pós-crise petrolífera e o padrão de desenvolvimento regulado pela produção de bens a uma taxa decrescente de utilidade – a sociedade dos descartáveis. A contradição se registra no fato de que passada a fase mais aguda da crise do petróleo e seus reflexos no instável jogo conflituoso de interesses determinados pela cólera da apropriação dos excedentes e garantia do livre acesso às reservas, o pensamento norteador das ações de garantia do aprovisionamento energético desloca o feixe de atenção, até então posto sobre o módulo conversor, para o culto do uso eficiente dos recursos naturais. Importa agora instaurar um novo ideário que denomine um outro estilo de desenvolvimento, muito embora nenhuma ação concreta de agir sobre a sociedade do desperdício tenha sido efetivamente conduzida.

Cabe então dar relevo ao fato de que o planejamento da expansão do aproveitamento das fontes renováveis complementares segue sendo adotada como um recurso necessário à manutenção do modelo de produção de bens e serviço em curso. Dessa forma, importa compreender como seguirá esse processo para então conferir os reais potenciais de ajuste das fontes renováveis ao funcionamento dos sistemas econômicos, bem como os efeitos de sua ampliação em uso, no médio e longo prazo.

Nesse cenário o que deve estar no cerne da discussão é a aceção de que a adoção de tecnologias limpas de geração de energia não venha simplesmente servir como um amortecedor do agravamento da crise “energética-ambiental” em curso. Há que se evitar que o incentivo a uma maior participação dessas fontes possa configurar-se no espírito prometício - na promessa de garantia de uma incessante corrida pela maior produção de energia limpa - dirigido a justificar o *status quo* dos padrões de produção e consumo ora vigentes. O cenário permite antever que, caso não sejam modificados os padrões de produção e consumo do mundo industrializado, a adoção das tecnologias renováveis complementares de energia não garantirá os benefícios ambientais prometidos para as gerações futuras.

Nesse sentido, caso se intensifique sobremaneira a exploração de uma “nova regularidade tecnológica”, pautada agora no pressuposto da melhor gestão econômica dos recursos energéticos renováveis, é possível que no longo prazo se registrem

dificuldades de ampliação do parque gerador, passando as gerações futuras a enfrentar barreiras e restrições de acesso às fontes primárias de energia, curiosamente não pelo esgotamento destas, mas sim por limitações de origem sócio-econômicas e ambientais, ou seja, por obstáculos análogos aos vivenciados hoje pela indústria de energia sustentada pelas tecnologias convencionais.

Em termos do desenvolvimento da tecnologia eólio-elétrica, as projeções do seu avanço nos sistemas energéticos estruturados no mundo são bastante promissoras. A mesma estrutura-se sobre uma fonte de recurso inesgotável e conta com uma base tecnológica amadurecida e cujas eficiências de conversão seguem aumentando a taxas consideráveis, o que permite assegurar um melhor aproveitamento dos recursos utilizados nos locais de uso. Os custos econômicos da energia eólica seguem em largo ritmo de queda, permitindo, no médio prazo, a sua competitividade com as tecnologias que fazem uso dos combustíveis fósseis, caso se flexibilize a lógica estrita da avaliação pelo custo benefício.

Este ambiente é ainda favorecido pelos apelos por mudanças de atitude por parte da sociedade, a serem refletidas na adoção de novas políticas orientadas a edificar uma melhor relação entre o processo de desenvolvimento e o avanço sobre os recursos naturais. Isto se deve em parte por uma consciência ambiental que vem germinando e pelo desenvolvimento de acordos internacionais relativos às mudanças climáticas, mas também por causa de uma frouxa tomada de consciência dos crescentes custos econômicos e sociais demandados pela imperativa necessidade de segurança estratégica associada às importações motivadas pela dependência dos combustíveis fósseis da maioria dos estados nacionais.

Paralelamente à fertilidade tecnológica atualmente vivida pela indústria eólica, verifica-se a existência de inúmeros obstáculos institucionais a um efetivo processo de ampliação da sua utilização. Algumas dessas barreiras têm matriz especificamente econômica, gerando dificuldades competitivas em relação aos combustíveis convencionais em função do quadro estrutural do mercado energético moldado historicamente. Enquanto estes obstáculos econômicos e institucionais se mantiverem, os promotores da tecnologia eólio-elétrica serão forçados a ganhar mercado através de um intenso esquadramento que leve a uma contínua redução de seus custos através da promoção de melhorias em sua eficiência.

Os obstáculos impostos ao desenvolvimento da tecnologia eólio-elétrica serão minimizados caso os custos ambientais decorrentes do mercado convencional de energia sofram crescentes valorizações. A manutenção de uma estrutura institucional e econômica que não internaliza os impactos ambientais promovidos pelo mercado convencional de energia, poderá não só significar a redução do potencial de ampliação da utilização da energia eólica, como também ampliar a exposição da integridade ambiental do planeta.

As tomadas de decisão que lançam mão de pressupostos pautados somente nos ganhos de curto prazo podem bloquear soluções que apresentem menores custos quando analisadas pela ótica da garantia de sua sustentabilidade de longo prazo, caso próprio da indústria eólio-elétrica. O desafio dos defensores de princípios estritos do mercado energético liberalizado é demonstrar que este dilema pode ser resolvido de um modo satisfatório considerando as regras de mercado. Caso contrário, se uma saída não for encontrada, toda a base de pensamento que conduz o liberalismo de mercado elétrico deve ser reconsiderada.

Nesse sentido, verifica-se em diversos mercados a estruturação de uma variedade de iniciativas de caráter político institucional, empreendidas por governos dispostos a promover o desenvolvimento da tecnologia eólio-elétrica. Estas iniciativas incluem:

- estabelecimento de rígidos controles e taxaço das emissões provenientes do uso dos combustíveis convencionais;
- adoço de metas de participação da energia eólica no médio e longo prazo;
- desenvolvimento de esquemas de subsídios e suporte institucional de modo a viabilizar a instalação de um mercado eólio-elétrico sustentável.

O trabalho deu relevo a aspectos que demandam uma imperativa abordagem quando da formatação de políticas destinadas a dar suporte à tecnologia eólio-elétrica. A referência é posta no reconhecimento da necessidade de elaboração de instrumentos políticos e sócio-econômicos destinados a tornar viável a internalização dos custos externos do mercado de energia. Chama-se também a atenção do indispensável desenvolvimento de uma estrutura de regulação balizada na imparcialidade. As hipóteses condutoras dessa estrutura regulatória devem ser complexificadas de forma a

serem capazes de assegurar a equidade nas condições financeiras de todas as tecnologias de provisão energético. Estas formulações devem contemplar de forma adequada os riscos de curto e longo prazo presentes no mercado elétrico e transferidos a toda a sociedade.

Assim, adotar um programa de expansão do uso de uma tecnologia de conversão que tem como característica marcante a flutuação da energia disponibilizada ao sistema, devido ao caráter estocástico da fonte primária de conversão - a exemplo do vento na tecnologia eólico-elétrica - é um projeto que abrange uma larga complexidade. Em termos tecnológicos, verifica-se que a viabilização de um projeto técnico de um sistema de conversão eólico-elétrico é uma tarefa que requer habilidades e competências interdisciplinares. Dessa forma, é necessário uma interação de conhecimentos presentes na engenharia civil, mecânica, eletro-eletrônica, geografia, meteorologia, e ciências ambientais, dentre outras.

Por outro lado, registra-se também que os padrões técnico-construtivos praticados pela indústria eólica mundial é marcadamente assentado nas condicionantes de seus mercados matriz, ou seja, traz impressas as balizas determinadas pelas restrições e atrativos do mercado Europeu ou Norte-americano. Nesses termos, é ímpar a adoção, pelos gestores dos sistemas energéticos dos distintos Estados Nacionais, de instrumentos normativos e econômicos que possibilitem o amoldamento das características construtivas dos sistemas eólico-elétrico às condições regionais, incluindo, além das variáveis de caráter técnico - mais facilmente mensuráveis pela moderna engenharia - as características de ordem sócio-cultural e ambiental.

No Brasil, a tecnologia eólico-elétrica demonstra ter um elevado potencial de desenvolvimento. No entanto, os custos apresentados por essa tecnologia, aliados às condições estruturais do mercado de energia elétrica brasileiro, contribuem para que a mesma encontre dificuldades em competir com outras tecnologias convencionais de geração elétrica.

Cabe aqui pontuar um agravante de tais dificuldades. A maioria das nações do mundo tem seu parque gerador elétrico assentado em uma base predominantemente termoelétrica. Essa assertiva afiança mais facilmente a adoção de uma nova tecnologia, a qual traz como apelo de mercado o fato de se tratar de uma conversão limpa sob o ponto de vista ambiental e do debate referente às mudanças climáticas globais, além de não incorrer em custos com combustível. O Brasil, por sua vez, já apresenta uma matriz



elétrica limpa, uma vez que o provisionamento dessa forma de energia advém, em quase sua totalidade, de recursos hidrelétricos. Como resultado, verifica-se que os preços do kWh gerado nas usinas hidroelétricas brasileiras mostram-se inferiores aos mesmos custos previstos para a tecnologia eólico-elétrica. Nos países de base térmica tais diferenças de custos são menos acentuadas.

Com isso, é de suma importância dar forma a um racional ambiente político-institucional de suporte a tecnologia eólico-elétrica. A exemplo do que vem ocorrendo em muitos outros países, o Governo Federal brasileiro está estruturando uma política destinada a promover o avanço do desenvolvimento e disseminação da energia eólica. Este arcabouço político-institucional repousa prioritariamente na lei que regulamenta o PROINFA. Por outro lado, também se verificam ações conduzidas pelos governos estaduais, as quais contemplam deduções tributárias, isenção de impostos e outros incentivos.

Como resultado, se pode inferir que enquanto o mercado eólico brasileiro não contar com uma sólida indústria nacional - estruturada de forma a contemplar as etapas de produção de equipamentos, construção e implementação de seus parques - o seu desenvolvimento estará dependente de um efetivo suporte governamental. Nesse contexto, os investidores do setor ainda não demonstram segurança quanto à garantia da estabilidade e continuidade das políticas públicas definidas no marco brasileiro de incentivo as fontes renováveis. Mantêm-se cautelosos, alegando que ainda é arriscado efetivar seus investimentos em energia eólica, creditando também esses riscos à existência de barreiras institucionais que entravam a consolidação de um projeto duradouro que permita solidificar a indústria eólica no país.

Em termos de atratividade a ampliação da participação da energia eólica na matriz elétrica nacional, o Brasil conta com um surpreendente potencial eólico que, segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, totaliza um potencial estimado de 143,47 GW, o que permite considerar uma geração anual de 272,220 TWh/ano a partir de ventos de velocidade média anual igual ou superior a 7,0 m/s, sendo para tanto necessário a disponibilização de uma área equivalente a 0,8% do território nacional (cerca de 71.735 km<sup>2</sup>). No entanto, o aproveitamento deste vasto potencial demanda algumas avaliações no que diz respeito ao ajuste das características da tecnologia eólico-elétrica e a estrutura do sistema elétrico brasileiro. A ampliação do uso da energia eólica através de aerogeradores conectados a rede poderá repercutir negativamente sobre a

‘qualidade da energia’, sendo que a razão para tal afirmativa encontra suporte em duas rotas de análise.

A primeira delas diz respeito ao caráter intermitente da energia proveniente do vento, que faz com que ocorram flutuações na potência dos aerogeradores, o que, por consequência, provoca variações aleatórias, repetitivas ou esporádicas no valor eficaz da tensão. Um outro alvo de análise recai sobre a estrutura do sistema elétrico nacional de geração e transmissão. Este sistema é assentado sobre centros geradores de grande porte localizados a grandes distâncias dos centros de carga. Dessa forma, a conexão das fazendas eólicas ao sistema interligado assume característica de centros de geração centralizada, o que exige a existência de um *back up* em potência capaz de suprir as variações de potência do parque gerador eólico. A necessidade de *back up*, bem como os efeitos do caráter aleatório da potência disponibilizada pelos aerogeradores carecem de maior aprofundamento de estudos no Brasil, uma vez que interferem na qualidade da energia despachada bem como se conforma como um importante variável do planejamento da expansão do setor.

Os atrativos sócio-ambientais da adoção de uma política de incentivo ao uso da tecnologia eólio-elétrica no Brasil são incontestes. Através de sua ampliação será possível contribuir para a manutenção do caráter limpo da matriz elétrica nacional, que representará uma apreciável contribuição no sentido de reduzir as emissões dos gases de intensificadores do efeito estufa no sistema nacional interligado, considerando que o planejamento da expansão do setor elétrico nacional prevê o alargamento da participação termelétrica e o acréscimo do uso da energia eólica caso sejam vencidas as etapas do PROINFA nos moldes determinadas pela Lei nº Lei no 10.438.

Algumas outras vantagens adicionais da tecnologia eólica elétrica podem assim ser apresentadas de forma conclusiva:

- Através da tecnologia eólio-elétrica é possível contribuir para o suprimento das demandas emergenciais do setor com maior rapidez, uma vez que o tempo requerido para a construção dos parques eólicos é bem menor que o das tecnologias convencionais e seu processo de licenciamento ambiental é mais simplificado, além da área a ser disponibilizada para os empreendimentos não obstruir a continuidade das atividades econômicas antes existentes;

- Os maiores mananciais de vento no Brasil encontram-se em áreas de menor desenvolvimento econômico. Dessa forma, a difusão da tecnologia eólio-elétrica nessas regiões se configurará em um vetor de desenvolvimento regional, além de contribuir para a geração de emprego e renda;
- O PROINFA prevê a nacionalização de no mínimo 60% dos equipamentos na primeira fase e 90% na segunda fase. Tal medida, prevista em Lei, agrega impulso a geração de postos de trabalho bem como ao desenvolvimento da tecnologia nacional;
- Estudos comprovam a existência de uma significativa complementaridade entre os regimes hidráulicos e de ventos no Brasil. Isso se traduz em um atrativo relevante para a adoção da tecnologia eólio-elétrica, uma vez que permite melhor configurar essa tecnologia em seu caráter de geração descentralizada complementar, contribuindo para aumentar o nível de confiabilidade e estabilidade do sistema.

## Referências

- ACKERMANN T, SODER L., 2002, *An Overview of Wind Energy-status 2002*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 6, pp 67-128.
- AKF - Research Institute of the Counties & Municipalities in Denmark, 1996, “Social Assessment of Wind Power Report”, AKF, Denmark, 1996.
- ALVEAL CONTRERAS, EDELMIRA CARMEN, 1990, “Energia no Brasil dos Anos 90: Notas Exploratórias”, *Anais do V Congresso Brasileiro de Energia*, Rio de Janeiro.
- ALVEAL CONTRERAS, EDELMIRA D. C., 1982, *A questão Energética do Terceiro Mundo. Proposta Metodológica, dissertação de mestrado*, Programa de Planejamento Energético – PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2005, *Acompanhamento das Centrais Geradoras Eólicas*, [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). Site visitado em Dezembro de 2005.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002, *Panorama do Potencial Eólico no Brasil: Projeto Bra/00/029 - Capacitação do Setor Elétrico Brasileiro em Relação à Mudança Global do Clima*, Brasília.
- ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2003. [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). Site visitado em Março de 2003.
- ANEEL- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2002, *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*, Brasília.
- ARAÚJO, JOÃO LIZARDO R. H., 2002, *Regulação de Monopólios e Mercados: Questões Básicas*, (Mimeo).
- ARAÚJO, MARIA REGINA O. P., 1989, *Estudos Comparativos de Sistemas Eólicos Utilizando Modelos Probabilísticos de Velocidade do Vento*. Dissertação de Mestrado, Programa de Engenharia Mecânica, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- AWEA - AMERICAN WIND ENERGY ASSOCIATION, 2000, In: *Global Wind Energy Market Report*.
- BAGUENIER, HENRI, 2001, *A Experiência Brasileira e a Atratividade da Energia Eólica*, Seminário Energia Eólica: Uma Alternativa de Superação da Crise. Promoção Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais. IVIG/ COPPE/URFJ e PETROBRÁS, Rio de Janeiro.
- BANCO MUNDIAL, 1994, *Relatório Sobre desenvolvimento Mundial – Infra-estrutura para o desenvolvimento*, Banco Mundial, Edição Fundação Getrúlio Vargas, Rio de Janeiro.
- BANSAL, R.C., BHATTI, T.S., KOTHARI, D.P, 2002, “On Some of Design of Wind Energy Conversion Systems”. *Energy Conversion & Management*, v. 43, pp. 2175-2187.

- BEN – “Balanço Energético Nacional”, 2001, Ministério das Minas e Energia, Brasília.
- BEN – “Balanço Energético Nacional”, 2002, Ministério das Minas e Energia, Brasília.
- BEN – “Balanço Energético Nacional”, 2003, Ministério das Minas e Energia, Brasília.
- BEN – “Balanço Energético Nacional”, 2004, Ministério das Minas e Energia, Brasília.
- BENJAMIM, CÉSAR, 2001, “Foi Loucura, mas Houve Método Nela: Gênese, Dinâmica e Sentido da Crise Energética Brasileira”. In: *O Brasil a Luz do Apagão*, Organizado por Carlos Lessa, Editora Palavra e Imagem, pp. 57–72.
- BICALHO, RONALDO GOULART, 1997, *A Formação de Regularidades Tecnológicas na Indústria de Eletricidade*. Tese de Doutorado, Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- BITTENCOURT, ROGÉRIO MOTTA et al, 2000, “Sistemas Complementares de Energia Eólica e Hidráulica no Brasil”, *Comisión de Integración Eléctrica Regional. Comité Nacional Área de Generación & Transmisión. Congreso CIER*, Buenos Aires.
- BITTENCOURT, ROGÉRIO MOTTA et al, 1996, “Potencial Eólico no Litoral do Ceará e Rio Grande do Norte para Geração de Energia Elétrica”. In: *Relatório CHESF - DEFA-EO-RT-002/96*. Recife.
- BOA NOVA, ANTONIO CARLOS, 1985, *Energia e Classes Sociais no Brasil*. Edições Loyola, São Paulo.
- BRAVERMAN, HARRY, 1987, *Trabalho e Capital Monopolista: A Degradação do Trabalho no Século XX*. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, Rio de Janeiro.
- BTM CONSULT APS, 2003. *World Market Update 2002*. Ringkøbing.
- BWEA - BRITISH WIND ENERGY ASSOCIATION. OFFSHORE WIND WORLDWIDE. Site visitado [www.bwea.com/offshore/worldwide.html](http://www.bwea.com/offshore/worldwide.html), Março de 2005.
- CALABI, ANDRÉA SANDRO, 1983, “O Papel Ordenador do Estado no Setor Energético”. In: *A Energia e a Economia Brasileira: Interações Econômicas e Institucionais no Desenvolvimento do Setor Energético no Brasil*, Livraria Pioneira Editora, São Paulo, pp. 95-179.
- CANO, WILSON, s/d, *Brasil: Crise e Alternativas ao Neoliberalismo*, UNICAMP, Campinas, (Mimeo).
- CE - Comissão EUROPÉIA, 2001, “Para uma Estratégia Européia de Segurança do Abastecimento Energético”. In: *Livro Verde*, Bruxelas.
- CMMAD - COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1988, *Nosso Futuro Comum*, Editora da Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro.

- COELBA - COMPANHIA DE ELETRICIDADE DO ESTADO DA BAHIA, 2002, *Atlas do Potencial Eólico do Estado da Bahia*, Salvador.
- COPEL - COMPANHIA PARANAENSE DE ELETRICIDADE, 1997, *Estudos Energéticos para a Usina Eólica de Palmas*. In: Relatório CNPG 22/97, Paraná.
- COSTA, DARC, 2001. “A Estratégia Nacional e a Energia”. In: *O Brasil A Luz do Apagão*, Organizado por Carlos Lessa. Editora Palavra e Imagem, Rio de Janeiro, pp. 37-56.
- CUSTODIO, RONALDO DOS SANTOS, 2002, *Parâmetros de Projetos de Fazendas Eólicas e Aplicações Específicas no Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – PUCRS, Porto Alegre.
- D’ARAÚJO, ROBERTO PEREIRA, 2001, “Previsibilidade, Razões e Desafios da Crise de Suprimento de Energia Elétrica no Brasil”. In: *O Brasil a Luz do Apagão*, Organizado por Carlos Lessa, Editora Palavra e Imagem, Rio de Janeiro, pp. 141-162.
- DAVIDOFF CRUZ, P., 1982, “Notas Sobre o Endividamento Externo Brasileiro nos Anos Setenta”. In: *Desenvolvimento Capitalista no Brasil: ensaios sobre a crise*, Organizado por Beluzzo, L. G. & Coutinho, R., v. 1, Brasiliense, São Paulo.
- DELGADO, MARCO ANTONIO DE PAIVA, 2003, *A Expansão da Oferta de Energia Elétrica pela Racionalidade do Mercado Competitivo e a Promessa da Modicidade Tarifária*. Tese de Doutorado, Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- DEWI - DEUTSCHES WINDENERGIE-INSTITUT, 2005, *Wind Energy Use in Germany - Status 31.12.2004*. Site Visitado [www.dewi.de](http://www.dewi.de), em Março de.
- DEWI - DEUTSCHES WINDENERGIE-INSTITUT, 2004. *Windenergie 2004: Onshore-Markt entwickelt sich erwartungsgemäß - Offshore-Markt muss an Fahrt gewinnen*. Site visitado [www.dewi.de](http://www.dewi.de), em Dezembro de 2004.
- DORIVAL JUNIOR, GONÇALVES, 2002, *Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro: Estratégia de Retomada da Taxa de Acumulação do Capital?* Dissertação de Mestrado, Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo – PIPGE-EP/FEA/IEE/IF. São Paulo.
- DRAIBE, SÔNIA, 1985, *Rumos e metamorfoses: Estado e industrialização no Brasil: 1930 a 1960*, Paz e Terra, São Paulo.
- DUTRA, RICARDO MARQUES, 2001, *Viabilidade Técnico-Econômica da Energia Eólica Face ao Novo Marco Regulatório do Setor Elétrico Brasileiro*, dissertação de Mestrado, Programa de Planejamento Energético - PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- EGLER, PAULO CÉSAR GONÇALVES. 1987, *Estruturação do Setor Energético no Brasil*. Dissertação de Mestrado, Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

- EL-SAYED, MOHAMED A.H., 2002, “Substitution Potential of Wind Energy in Egypt Energy”, *Energy Policy*, v. 30, pp. 81–687.
- PREBISCH, R., 1994, “O Desenvolvimento Econômico da América Latina e os Seus Principais Problemas”, *Revista Brasileira de Economia Política*. Rio de Janeiro.
- ENZENSBERGER, N., 2002, “Policy Instruments Fostering Wind Energy Projects – A Multi-perspective Evaluation Approach”, *Energy Policy*, v. 30, pp. 93-801.
- ESPEY, SIMONY, 2001, “Renewable Portfolio Standard: A Means for Trade with Electricity from Renewable Energy Sources?”, *Energy Policy*, v. 29, pp. 557-566.
- EWEA - EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION, 1997, *A Plan for Action in Europe - Wind Energy: The Facts*, European Commission - Directorate General for Energy, London.
- FIORI, JOSE LUIS, 2001, *60 Lições dos 90 - Década de Neoliberalismo*, Editora Record, São Paulo.
- FITZGERALD, JHON, 2000, *Strategy for Intensifying Wind Energy Deployment*, Government of Ireland, Dublin.
- FREUD, APUD GIANNETTI, EDUARDO, 1983. “Energia: Seu Conceito Histórico”. In: *Energia e a Economia Brasileira: Interações Econômicas e Institucionais no Desenvolvimento do Setor Energético no Brasil*, pp. 1-31, Livraria Pioneira Editora, São Paulo.
- GIPE, PAUL, 1995, *Wind Energy Comes of Age*, John Wiley & Sons, Inc., USA, New York.
- GOMES, P. *et al.* “Geração Distribuída: Vantagens, Problemas e Perspectiva”. In: *XV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*, pp. 17-22, Foz do Iguaçu.
- GUERRA, SINCLAIR M. GUY, 2002, “Energias Alternativas e a Liberação do Mercado no Brasil”. In: *Fontes Alternativas de Energia e Eficiência Energética: Opção Para uma Política Energética Sustentável no Brasil*, Coalizão Rios Vivos, pp. 89-96, Campo Grande.
- HAAS, R., EICHHAMMER W., HUBER C., *et al*, 2004, “How to Promote Renewable Energy Systems Successfully and Effectively”. *Energy Policy*, v.32, pp. 833-839
- HÉMERY, D., DEBIER, JEAN-CLAUDE., BELÉAGE, JEAN-PAUL., 1993, *Uma História da Energia*, Editora Universidade de Brasília, Brasília.
- HOLTTINEN, H., *et al*, 2004, “The Effect of Wind Power on CO2 Abatement in Nordic Countries”, *Energy Policy*, v. 32, pp. 1639-1652.
- HIRATA, MIGUEL H., ARAUJO, MARIA REGINA O. P., 2000, “Os ventos: Origens e Mecanismos”. In: *Curso: Introdução ao Aproveitamento da Energia Eólica*, Eólica Engenharia/Carl Dusisberg Gesellschaft, Rio de Janeiro.

- HOWELL, J, JENNIFER N., 1992, “Examination of Avian Use and Mortality at a U.S. Windpower”. In: *Wind Energy Development Site, Montezuma Hills, Solano County, Califórnia*, Solano Count, Fairfield, Califórnia, USA.
- HVELPLUND, FREDE, 2001, *Renewable Energy Governance Systems*, Institute for Development and Planning, Aalborg University, Aalborg.
- IDAE - INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACION Y AHORO DE LA ENERGÍA, 2000, *Impactos Ambientales de la Producción Eléctrica: Análisis de Ciclo de Vida de Ocho Tecnologías de Generación Electrica*, IDEA, Madrid.
- IEA - GHG INTERNATIONAL ENERGY AGENCY GREENHOUSE GAS R&D PROGRAMME, 2000, *The potential of Wind Energy to Reduce CO<sub>2</sub> Emissions*. In: Report Number PH3/24, UK.
- INSTITUTO DA CIDADANIA, 2002, *Diretrizes e Linhas de Ação Para o Setor Elétrico Brasileiro*. Instituto da Cidadania, Rio de Janeiro, 2002.
- IPCC – THE INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1997, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse GAS Inventories, IPCC.
- IPCC – THE INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2001, *Summary for Policymakers – The Scientific Basis*. In: Report of Working Group I, IPCC, WMO/UNEP.
- JACKSON, TIM, 1992, “Renewable Energy - Summary Paper for the Renewables Series”, *Energy Policy*, Series of 25 Papers, pp. 861-882, September.
- LEDERER, P.; BOUTTES, J., 1991, “Electricity Monopoly x *Competition*”, *Utilities Policy*, v.1, pp. 212-219.
- LEITE, A. D., 1997, *A Energia do Brasil*, Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro.
- LENZEN, M., MUNKSGAARD, J., 2002, “Energy and CO<sub>2</sub> Life-cycle Analyses of Wind Turbines-review and Application”, *Renewable Energy*, v. 26, pp. 339-362,
- LIMA, JORGE HENRIQUE GRECO, 2001, “Potencial Eólico no Brasil”. In: *Seminário Energia Eólica: Uma Alternativa de Superação da Crise*. Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais - IVIG/COPPE/URFJ e PETROBRÁS, Rio de Janeiro.
- MARQUES, MARCELO SANTOS, 2003, *A Crise do Trabalho, A (Des)Qualificação dos Trabalhadores e o (Não) Trabalho Como Princípio Educativo*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza.
- MARTIN, JEAN-MARIE, 1992, *A Economia Mundial de Energia*, Editora Unesp, São Paulo.
- MARX, KARL, ENGELS, FRIEDRICH, 2002, *A Ideologia Alemã*, Editora Martins Fontes, 2ª Edição - 3ª tiragem, São Paulo.



- MARX, KARL, 1975, *O Capital*, Civilização Brasileira, Livro 1, Volume 1, São Paulo.
- MARX, KARL, 1975, *O Capital*, Civilização Brasileira, Livro 1, Volume 2, São Paulo.
- MARX, KARL, 1972, *Elementos Fundamentales para la Crítica de la Economía Política (Grundrisse)*, vol. 2, Editora Siglo Veintiuno, Espanha.
- MELLO, HENRIQUE, 2001, “Evolução Histórica”. In: *O Brasil a Luz do Apagão*, Organizado por Carlos Lessa, Editora Palavra e Imagem, Rio de Janeiro, pp. 227-264.
- MEYER, NIELS I., 2003, “European Schemes for Promoting Renewable in Liberalised Markets”, *Energy Policy*, v. 31, pp. 665-676.
- MÉZÁROS, ISTVÁN, 2004, *O Poder da Ideologia*, Boitempo Editorial, primeira edição, São Paulo.
- MÉZÁROS, ISTVÁN, 2002, *Para Além do Capital*, Boitempo Editorial, Editora da Unicamp, primeira edição, Campinas.
- MME – MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2001, *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*. Brasília 2001.
- MME – MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2003, *Modelo Institucional do Setor Elétrico*. Brasília.
- MME - MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2005, *Portaria nº 45 de 30 de março de 2004*, Brasília.
- MME - MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2002, *Relatório de Progresso Nº 4 do Comitê de Revitalização do Modelo do Setor Elétrico*, CGSE/CNPE/MME. Brasília.
- MOLLY, J. P., 2004, “Economics of Wind Farms in Brasil”, *DEWI Magazin*, nº 25, August.
- MOURA, A. P., FILGUEIRAS, A. R., ROCHA, F. W. M., 2003, “Impactos da Geração Eólica-Elétrica no Sistema Elétrico da COELCE”. In: *Anais do II Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica*, pp. 232-237, Fortaleza.
- PISTONESI, HÉCTOR, 1994, *Políticas de Precios de la Energía: Esquema Teórico- Metodológico para su Analise y Evaluacion*, Instituto de Economía Energética – IDDE, San Carlo de Bariloche.
- PORTO, LAURA CRISTINA DA FONSECA, 2002, “O Papel da Energia Alternativa na Política Energética do Brasil. In: *Fontes Alternativas de Energia e Eficiência Energética: Opção Para uma Política Energética Sustentável no Brasil*, Coalizão Rios Vivos, pp. 23-30, Campo Grande.
- PORTO, LAURA CRISTINA DA FONSECA, 2005, “Visão Geral da Energia Eólica: Situação no Brasil”. In: *Encontro Internacional de Energia Eólica*, Natal, 22 a 23 de Setembro

- REIS, TEREZA V. MOUSINHO, 2002, *Emissões Gases de Efeito Estufa no Sistema Interligado Nacional: Metodologia para Definição da Linha de Base e Avaliação do Potencial de Redução das Emissões do PROINFA*, Dissertação de Mestrado. Mestrado em Regulação da Indústria de Energia, Universidade Salvador – UNIFACS, Salvador.
- ROCHA, NELSON ANDRADE et al, 1999, “Estabilização Sazonal da Oferta Através da Complementaridade Entre os Regimes Hidrológicos e Eólicos”. In: *XV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica*, Foz do Iguaçu.
- ROHATGI, J. S., NELSON, V., 1994, *Wind Characteristics: Analysis for the Generation of Wind Power*, Alternative Energy Institute West Texas, A&M University, Texas.
- ROSA, LUIZ PINGUELLI, 1998, *A Reforma do Setor Elétrico no Brasil e no Mundo - Uma Visão Crítica*, Relume Dumará, Rio de Janeiro.
- ROSA, LUIZ P., TOMASQUIM, M., D’ARAÚJO, ROBERTO & SOARES, S., 2000, *Os Riscos de Déficit de Energia e a Privatização de FURNAS*, Rio de Janeiro, (mimeo).
- ROSA, LUIZ P., et al, 2004, “Greenhouse Gas Emissions from Hydroelectric Reservoirs in Tropical Regions”, *Climatic Change*, v. 66, pp. 9-21.
- SANTOS, MARIA HELENA DE CASTRO, 1993, *Política e Políticas de uma Energia Alternativa: O Caso do Proálcool*, ANPOCS, Notrya Editora, Rio de Janeiro
- SEINFRA - Secretaria da Infra-Estrutura do Estado do Ceará, *Atlas do Potencial Eólico do Estado do Ceará*, Fortaleza, 2001.
- SHIKHA, BHATTI, T. S., KOTHARI D. P., 2003, “The Evolution of Wind Power Technology – A Review”, *IE(I) Journal*, v. 84, pp. 4:9.
- SILVA, NEILTON FIDELIS, 2005, “The Utilization of Wind Energy in the Brazilian Electric Sector’s Expansion” *Renewable & Sustainable Energy Reviews* v. 9, pp. 289-309.
- SILVA, SELÊNIO ROCHA, 2003, *Energia Eólica*, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, (mimeo).
- THRESHER, R., DODGE D., 1998, “Trends in the Evolution of Wind Turbine Generator Configurations and Systems”, *Wind Energy*, v. 1, pp. 70–85.
- TOLMASQUIM, MAURICIO TIOMNO; PIRES, JOSÉ CLÁUDIO LINHARES, 1996, “Reformas Institucionais e Força de Mercado: Lições da Indústria de Eletricidade Européia”. In: *Revista Brasileira de Energia*, V. 5, nº 1, Sociedade Brasileira de Planejamento Energético, Rio de Janeiro
- TORRES, J. L., GARCIA, E. PRIETO., A. DE FRANCISCO, 1998, “Characterization of Wind Speed Data According To Wind Direction”, *Solar Energy*, v. 66, nº 1, pp. 57-64.

- TROEN, I., PETERSEN, E. L., 1999. *European Wind Atlas*, Riso Nacional Laboratory, Roskilde.
- VAROL, ASAF., ILKILIÇ, CUMALI., VAROL, YASIN., 2001, “Increasing the Efficiency of Wind Turbines”. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, v.89, pp. 809-815.
- VILLELA, LAMOUNIER ERTHAL, 1996, “As Mudanças Institucionais no Setor Energético Brasileiro Segundo os Diferentes Referenciais Sócio-Econômicos”. In: *VI Congresso Brasileiro de Energia*, Rio de Janeiro.
- WEC – WORLD ENERGY CONCIL, 1993, *Renewable Energy Resources: Opportunities and Constraints 1992-2020*, WEC, London.
- WELKE, MEREIKE, 2002, “Energias Renováveis em Mercados Liberalizados In: *Fontes Alternativas de Energia e Eficiência Energética: Opção Para uma Política Energética Sustentável no Brasil*, Coalizão Rios Vivos, pp. 69-88, Campo Grande.
- WIND POWER - DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION, 2004, “Guided Tour on Wind Energy”, [www.windpower.org](http://www.windpower.org), Site visitado em Dezembro.
- DEA - DANISH ENERGY AGENCY, 1999, *Wind Power in Denmark: Technology, Policies and Results*, DEA, Denmark, 1999.
- WIND POWER, 2003, [www.windpower.org](http://www.windpower.org), Site visitado em dezembro de 2003.
- WINDPOWER MONTHLY, 2003, “Industry Magazine, Monthly”, Edition 1997 – 2003, Denmark.
- WISER, R., PICKLE S., GOLDMAN, C., 1998, “Renewable Energy Policy and Electricity Restructuring: A Califórnia Case Study”, *Energy Policy*, v. 26, pp. 465-475.