



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

**MURILO VILL MAGALHÃES**

**ESTUDO DE UTILIZAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA COMO FONTE GERADORA DE  
ENERGIA NO BRASIL**

Florianópolis – Novembro/2009



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

**ESTUDO DE UTILIZAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA COMO FONTE GERADORA DE  
ENERGIA NO BRASIL**

Monografia submetida ao Departamento de Ciências Econômicas para obtenção de carga horária na disciplina CNM 5420 – Monografia

**Por:** Murilo Vill Magalhães

**Orientador:** Prof.º. João Randolfo Pontes, Msc

**Área de Pesquisa:** Economia da Energia

Palavras Chaves: 1. Energia Eólica

2. Matriz Energética

Florianópolis – Novembro /2009



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

**ESTUDO DE UTILIZAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA COMO FONTE GERADORA DE  
ENERGIA NO BRASIL**

A Banca Examinadora resolveu atribuir a nota \_\_\_\_\_ ao aluno Murilo Vill Magalhães na disciplina CNM 5420 – Monografia, pela apresentação deste trabalho.

Banca Examinadora: .....

Professor:

Presidente

.....

Professor:

Membro

.....

Professor:

Membro

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais que me proporcionaram acesso ao conhecimento.

## RESUMO

A utilização de energia elétrica é um fator indispensável ao crescimento econômico de um país. Deparamos-nos nos últimos anos com uma situação nova em que os recursos tradicionais para geração de energia elétrica ou se tornaram escassos ou os efeitos de sua utilização passaram a ser questionados pelo seu efeito negativo nas condições da natureza. Frente a esta situação coloca-se o desafio de suprir as necessidades energéticas inerentes ao processo de crescimento econômico com a maximização da utilização de fontes tradicionais limitadas à sua disponibilidade e de seu impacto ambiental, bem como da utilização de novas fontes, renováveis, com baixo impacto ambiental e com custo de produção aceitável.

Neste contexto a utilização na energia eólica como fonte de geração de energia elétrica tem sido colocada como uma das alternativas para a composição da matriz energética do país. Este trabalho procura explorar como esta fonte de energia vem sendo utilizada no Brasil e quais as perspectivas de incremento do uso desta fonte como compositora da matriz energética do país na perspectiva de suprir as necessidades do aumento da demanda estimada para os próximos anos.

## LISTA DE SIGLA E ABREVIATURAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

DEWI – German Wind Energy Institute (Instituto Alemão de Energia Eólica)

ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

GCOI – Grupo Coordenador para Operação Interligada

GW – Giga-Watt

IPEA – Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas

kW – Quilo-Watt

MME – Ministério de Minas e Energia

MW – Mega-Watt

ONS – Operador Nacional do Sistema

PAC – Plano de Aceleração do Crescimento

PCH – Pequena Central Eólica

PIB – Produto Interno Bruto

PND – Programa Nacional de Desestatização

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia

PROINFRA – Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica

TWh – Tera-Watt hora

UNESP – Universidade Estadual Paulista

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Estrutura de Regulação .....	<b>18</b>
<b>Figura 2:</b> Evolução do Marco Legal do Sistema Elétrico Brasileiro .....	<b>20</b>
<b>Figura 3:</b> Evolução do Consumo de Eletricidade .....	<b>24</b>
<b>Figura 4:</b> Oferta de Energia Elétrica GW e % .....	<b>26</b>
<b>Figura 5:</b> Projeção da Matriz Energética Elétrica 2005 -2030 .....	<b>27</b>
<b>Figura 6:</b> Tipos de Aerogeradores .....	<b>29</b>
<b>Figura 7:</b> Aspectos da utilização da energia eólica .....	<b>31</b>
<b>Figura 8:</b> Mapa Eólico Brasileiro .....	<b>35</b>

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1:</b> Variação do PIB e variação do consumo de energia (1998 – 2007).....	<b>17</b>
<b>Gráfico 2:</b> Potencial Hidráulico Brasileiro.....	<b>25</b>
<b>Gráfico 3:</b> Complementaridade - Velocidade do Vento e Vazão do Rio.....	<b>32</b>
<b>Gráfico 4:</b> Energia eólica – Distribuição da capacidade instalada no mundo.....	<b>33</b>
<b>Gráfico 5:</b> Energia Eólica como Percentual do Consumo de Eletricidade.....	<b>34</b>
<b>Gráfico 6:</b> Composição média de custos de implantação de um parque .....	<b>41</b>
<b>Gráfico 7:</b> Relação Velocidade do Vento x Custo da Energia Gerada.....	<b>44</b>
<b>Gráfico 8:</b> Comparativo de custo de geração entre diversas fontes.....	<b>45</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Características das Fontes Geradoras de Energia Elétrica.....	<b>22</b>
<b>Tabela 2:</b> Capacidade Instalada.....	<b>27</b>
<b>Tabela 3:</b> Taxa Anual Média de Crescimento de Energia (%) – 2005 - 2030.....	<b>28</b>
<b>Tabela 4:</b> Classificação de Aerogeradores.....	<b>30</b>
<b>Tabela 5:</b> Energia Eólica - Capacidade Instalada no Mundo (MW).....	<b>33</b>
<b>Tabela 6:</b> Empreendimentos em fase de outorga.....	<b>36</b>
<b>Tabela 7:</b> Empreendimentos em operação, construção e outorgados.....	<b>37</b>
<b>Tabela 8:</b> Emissão de CO <sub>2</sub> de diferentes tecnologias de geração de energia ....	<b>49</b>
<b>Tabela 9:</b> Avaliação da Competitividade entre fontes.....	<b>42</b>
<b>Tabela 10:</b> Custos Operacionais da Fazenda Eólica.....	<b>43</b>

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>IV</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS .....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1 Problemática .....	11
1.2 Objetivos .....	13
1.2.1 Objetivo geral .....	13
1.2.2 Objetivo específico .....	14
1.3 Metodologia .....	14
1.4 Estrutura do trabalho .....	14
<b>CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>15</b>
2.1 Considerações gerais .....	15
2.2 Desenvolvimento econômico.....	15
2.3 Energia .....	16
2.4 Energia e desenvolvimento.....	17
2.5 Regulação do setor elétrico.....	18
2.6 Impacto ambiental do processo de geração de energia.....	20
<b>CAPÍTULO 3 - HISTÓRICO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.....</b>	<b>23</b>
3.1 Histórico do sistema elétrico brasileiro .....	23
3.2 A matriz energética .....	26
3.3 Plano de expansão .....	28

<b>CAPÍTULO 4 - A ENERGIA EÓLICA .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1 Energia eólica e seu aproveitamento .....</b>	<b>29</b>
<b>4.2 A energia eólica no mundo .....</b>	<b>32</b>
<b>4.3 A energia eólica no brasil .....</b>	<b>34</b>
<b>4.3.1 Potencial eólico brasileiro .....</b>	<b>35</b>
<b>4.3.2 Capacidade instalada .....</b>	<b>36</b>
<b>4.3.3 Regulação do setor.... ..</b>	<b>38</b>
<b>4.4 Aspectos ambientais .....</b>	<b>38</b>
<b>4.5 Aspectos sócio-econômicos .....</b>	<b>40</b>
<b>4.6 Custos de implantação .....</b>	<b>41</b>
<b>4.7 Custos de operação .....</b>	<b>42</b>
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>

# CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

## 1.1 Problemática

Desde a revolução industrial, principalmente a partir da segunda metade do século XX com a introdução da energia elétrica como força motriz para as máquinas, as inovações tecnológicas aplicadas à produção vem crescendo e aumentando a dependência deste importante insumo. Por consequência o “crescimento econômico” está cada vez mais atrelado a disponibilidade desta fonte de energia.

Já é de longa data a preocupação dos países com a necessidade de suprimento de energia elétrica para atendimento as atividades econômicas que cada vez mais dependem deste insumo para se desenvolverem. Mais recentemente esta preocupação se acentuou, pelo avanço tecnológico das indústrias necessitando maiores suprimentos de energia e, a partir dos anos setenta com as crises do petróleo e a escassez de recursos para investimentos em infra-estrutura.

A produção de energia em quantidade suficiente e com custos médios reduzidos consistem uma das condições para a sustentabilidade da produção e por consequência a expansão do mercado. Esta expansão é um fator determinante no aumento da renda e do emprego e como consequência do crescimento econômico (SMITH, 1776).

As políticas energéticas no mundo sempre foram baseadas na utilização de combustíveis fósseis como principal componente da matriz energética. Com o início da escassez destes recursos e a concentração destes em um pequeno grupo de países produtores fez com que estas políticas começassem a sofrer uma revisão no sentido de buscar fontes alternativas que pudessem suprir a escassez destas fontes fósseis.

Nos países mais desenvolvidos esta mudança na política se deu de forma mais rápida e por soluções tecnologicamente mais avançadas. Nos países componentes do bloco dos subdesenvolvidos esta mudança vem ocorrendo de forma muito mais lenta principalmente pela escassez de recursos para investimento em pesquisa e desenvolvimento. O estabelecimento de políticas públicas para o setor, visto que a geração de energia depende de investimentos privados é primordial. O papel do governo está cada vez mais restrito ao gerenciamento e

direcionamento dos investimentos, no sentido de definir caminhos condizentes com o interesse da sociedade que nem sempre é o mesmo da iniciativa privada (GOLDENBERG, MOREIRA, 2005).

Por outro lado é cada vez mais crescente a preocupação mundial com a degradação do nosso meio ambiente como resultado do modo de produção e consumo vigente. No seu livro Eco-Economia, Lester Brown afirma que “Criou-se uma economia fora de sincronia com o ecossistema do qual ela depende” (BROWN, 2003). Isto constatado, o mesmo autor coloca como desafio desta geração a reversão deste quadro, evitando uma queda no crescimento de longo prazo pela deterioração ambiental.

No sentido desta preocupação com a deterioração do ecossistema mundial o Protocolo de Kyoto, oficialmente vigorando desde 2005 mas ainda em discussão, tem como objetivo estabelecer metas para que os países reduzam sua emissão de gases poluentes com a intenção de no longo prazo reduzir o efeito estufa que vem alterando significativamente o clima da terra. A substituição de combustíveis “sujos” por fontes “limpas” e renováveis é uma questão central neste acordo mundial.

No Brasil, não distante dos fatos colocados anteriormente, verifica-se nos últimos anos uma preocupação cada vez maior com relação ao descompasso entre as previsões de ritmo de crescimento e os investimentos na área de fornecimento de energia elétrica (geração, transmissão e distribuição), hoje condição básica para dar suporte ao crescimento econômico. Nas últimas duas décadas o consumo de energia elétrica apresentou índices de crescimento superiores ao do PIB brasileiro, resultado do crescimento da concentração da população em áreas urbanas e o desenvolvimento de uma indústria intensiva em eletricidade (RODRIGUES, 2003).

Em 2001 o país passou pelo seu pior momento relacionado ao descompasso entre a oferta e demanda de energia denominada a “Crise do Apagão”. As causas desse descompasso podem ser divididas em momentâneas e estruturais. Neste período, segundo o Operador Nacional do Sistema – NOS (2008), os reservatórios das usinas hidrelétricas brasileiras registraram sua cota mínima em função do extenso período de estiagem ocorrido nas cabeceiras dos rios formadores dos reservatórios. Estruturalmente, o foco dos investimentos na geração de energia elétrica no Brasil foram sempre voltados para a transformação de energia hidráulica

em elétrica (CASTRO, 2009) e, portanto nenhuma definição regulatória e estímulo a produção de energia elétrica através de outras fontes primárias.

Na conjunção dos aspectos apresentados encontra-se a necessidade de se garantir uma produção de energia compatível com as necessidades de crescimento econômico de uma forma sustentável, aproveitando os recursos disponíveis, que tenham menor impacto possível sobre o meio-ambiente e com custos de produção compatíveis com a realidade econômica. É aí que se coloca a utilização de fontes alternativas e renováveis como forma de resolver o descompasso entre a demanda, oferta e a capacidade de investimento no setor elétrico.

É dentro deste contexto que a geração de energia elétrica através da transformação de energia eólica, como fonte de energia alternativa e renovável, está sendo cada vez mais difundido no mundo e os investimentos no aprimoramento desta tecnologia tem se elevado de ano para ano.

No Brasil a utilização da energia eólica como fonte para geração de energia elétrica ainda é recente tratando-se de produção em larga escala. No entanto já existem estudos para adoção de sua utilização e o plano de investimento do setor já contempla o incremento desta fonte na matriz energética brasileira. A tecnologia para tal já existe e se encontra em estágio avançado, visto que em alguns países, especialmente na Europa, já é utilizada em larga escala (ANEEL, 2008).

O que cabe neste momento é avaliar até que ponto a utilização desta forma de geração de energia elétrica é relevante e possível no Brasil e pode auxiliar a resolver no médio e longo prazo a necessidade de oferta de energia para sustentar o crescimento econômico almejado para as próximas décadas.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Avaliação dos impactos da utilização da energia eólica na matriz energética brasileira.

### **1.2.2 Objetivo específico**

- Avaliar o atual quadro de utilização da energia eólica como fonte geradora de energia elétrica no Brasil;
- Impacto ambiental relativo a utilização desta fonte geradora de energia elétrica;
- Avaliar as políticas públicas relacionadas a utilização da energia eólica

## **1.2 Metodologia**

O método visa garantir a exeqüibilidade e qualidade do processo de pesquisa (BOCCHI, 2004). Para desenvolvimento deste trabalho foi utilizada a pesquisa bibliográfica como fonte de dados. Por se tratar de um tema relativamente novo, além de livros, foram utilizados principalmente informações de órgãos governamentais, artigos e publicações no mais das vezes disponibilizados na Internet.

## **1.3 Estrutura do trabalho**

Este trabalho está estruturado em cinco partes. No primeiro capítulo estão colocados a problematização, os objetivos da pesquisa e o método a ser utilizado. No segundo capítulo o referencial teórico, que apresenta os conceitos e todo o arcabouço teórico relativo ao tema. No capítulo terceiro um breve histórico do desenvolvimento do setor energético no Brasil. No quarto capítulo objeto de estudo é apresentado relativo às suas características técnicas, ambientais, econômicas na sua utilização no Brasil e os seus principais aspectos e a perspectiva de incremento da fonte de energia eólica como parte da solução para o suprimento de energia neste período. No capítulo final são apresentadas as conclusões tiradas do desenvolvimento do tema em análise.

## **CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Considerações gerais**

A energia que hoje movimenta as nossas indústrias, hospitais, comércio, escolas e nos dá o conforto em nossas casas é a energia elétrica. No entanto a energia nesta forma não está disponível na natureza de forma aproveitável para as finalidades mencionadas. Para a obtenção da energia nesta forma é preciso um processo de transformação que aproveita de outras formas de energia disponíveis na natureza convertendo esta em energia elétrica, e esta através de linhas de transmissão, subestações e redes de distribuição chega ao local onde será consumida. Por meio de estruturas específicas e adequadas transforma-se a energia cinética da água, a energia térmica do carvão e do gás, a energia cinética dos ventos entre outras em energia elétrica.

Esta energia é hoje um insumo de vital importância para o sistema produtivo e por conseqüência a sua disponibilidade em quantidades suficientes é ponto crucial para a manutenção do crescimento e desenvolvimento econômico e social de uma nação.

### **2.2 Desenvolvimento econômico**

O conceito de desenvolvimento econômico pode ser definido por várias correntes diferentes e explicado também por conceitos diferentes. Uma dessas visões é que pode ser caracterizado pelo “aumento sustentado da produtividade ou da renda por habitante, acompanhado por sistemático processo de acumulação de capital e incorporação de progresso técnico” (PEREIRA, 2006). Dentro desta visão a explicação do crescimento econômico está pautada na acumulação de capital e no progresso técnico. As instituições formais tem papel relevante como direcionadores dos recursos disponíveis no sentido crescimento econômico.

Uma outra forma de ver o crescimento econômico, mas também muito próxima do conceito anterior, é o enfoque neo-schumpeteriano do desenvolvimento econômico pautada na inovação gerando o desenvolvimento, cujo principal destaque

e a chamada “economia da mudança técnica e dinâmica econômica” (CÁRIO, AREND, 2004).

Quando hoje se discute desenvolvimento econômico voltado para a necessidade de acumulação de capital, a inserção de novas tecnologias segundo os conceitos apresentados é de suma importância.

Quando colocada na visão neo-schumpeteriana a firma como motor propulsor do progresso econômico e a sua inovação tecnológica como explicação, fica subentendido a necessidade também de infra-estrutura capaz de suprir as suas necessidades de insumos. E no foco desta discussão o fornecimento de um insumo básico hoje para o setor produtivo que é a energia elétrica.

### **2.3 Energia**

Da definição da física, energia é a capacidade de gerar trabalho. Com relação ao objeto em análise esta definição se torna um pouco mais abrangente, ela também é considerada um fator de produção e como tal um insumo importante para impulsionar o desenvolvimento econômico do país (KAEHLER, 2000).

Para completo entendimento do desenvolvimento a ser dado ao tema se faz necessário estabelecer e definir dois grupos de fonte de energia: as renováveis e as não renováveis.

As energias renováveis são aquelas provenientes de ciclos naturais de conversão da radiação solar, fonte primária de quase toda energia disponível na Terra e, por isso, são praticamente inesgotáveis e não alteram o balanço térmico do planeta (PACHECO, 2006). São exemplos de fontes de energia renovável a energia hidrelétrica, solar, eólica, do mar e geotérmica. Já energia não renovável é a aquela que quando da sua transformação, a matéria-prima utilizada já não se aplica mais ao seu uso. Como exemplo dessas fontes temos o petróleo, o carvão e o gás.

Também se faz necessário a separação e definição de uma outra classificação das fontes pela maneira com que vem sendo utilizadas: as fontes convencionais e as não convencionais.

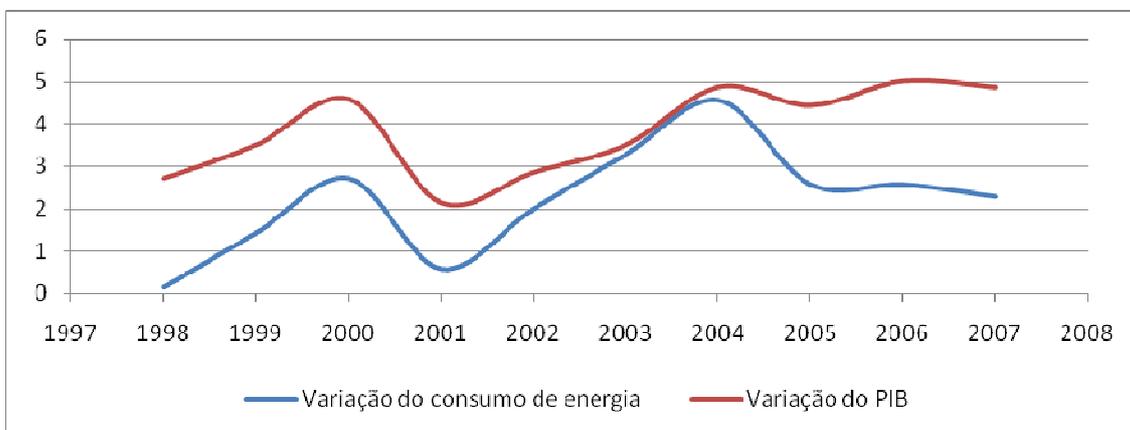
As fontes consideradas convencionais são aquelas que tradicionalmente têm sido utilizadas, sua tecnologia já está bem desenvolvida e aceita pela sociedade e representam a maior parte da matriz energética mundial. Neste grupo encontram-se

o petróleo, o carvão, a hidráulica e o gás natural. As consideradas não convencionais são aquelas que passaram a ser utilizadas recentemente, sua tecnologia ainda está em desenvolvimento e os seus custos de produção ainda num patamar acima da média, ou ainda não tiveram sua utilização em larga escala. Neste grupo estão a energia dos ventos, das marés, do lixo, do bagaço de cana dentre outras (PACHECO, 2006).

Outro conceito importante é o de Matriz Energética que vem a ser a representação quantitativa da oferta de energia discriminada pelo tipo de fonte.

## 2.4 Energia e desenvolvimento

O consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de vida de qualquer sociedade (Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2008). O Brasil conhece bem esta relação e de uma maneira traumática pôde comprovar a importância do insumo energia no resultado do PIB, como pode ser visto no Gráfico 1, demonstrado a seguir:



**Gráfico 1 – Variação do PIB e variação do consumo de energia (1998 – 2007)**  
**Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2008**

Como resultado da “Crise do Apagão” ocorrido em 2001, a obrigatoriedade de redução no consumo de energia teve peso importante na queda do crescimento do país naquele ano.

## 2.5 Regulação do setor elétrico

No final do século passado o mundo passou por consideráveis transformações políticas e econômicas e um resultado importante dessas transformações foi a incapacidade de investimento do estado fazendo com que este passasse de Estado empreendedor para Estado regulador, delegando a condição de prestação da grande maioria dos serviços públicos para a iniciativa privada (SANCHES, 2002).

Neste novo cenário, a importância do papel do Estado como ente regulador é de através de um conjunto de regras aplicadas ao setor corrigir as imperfeições de mercado.

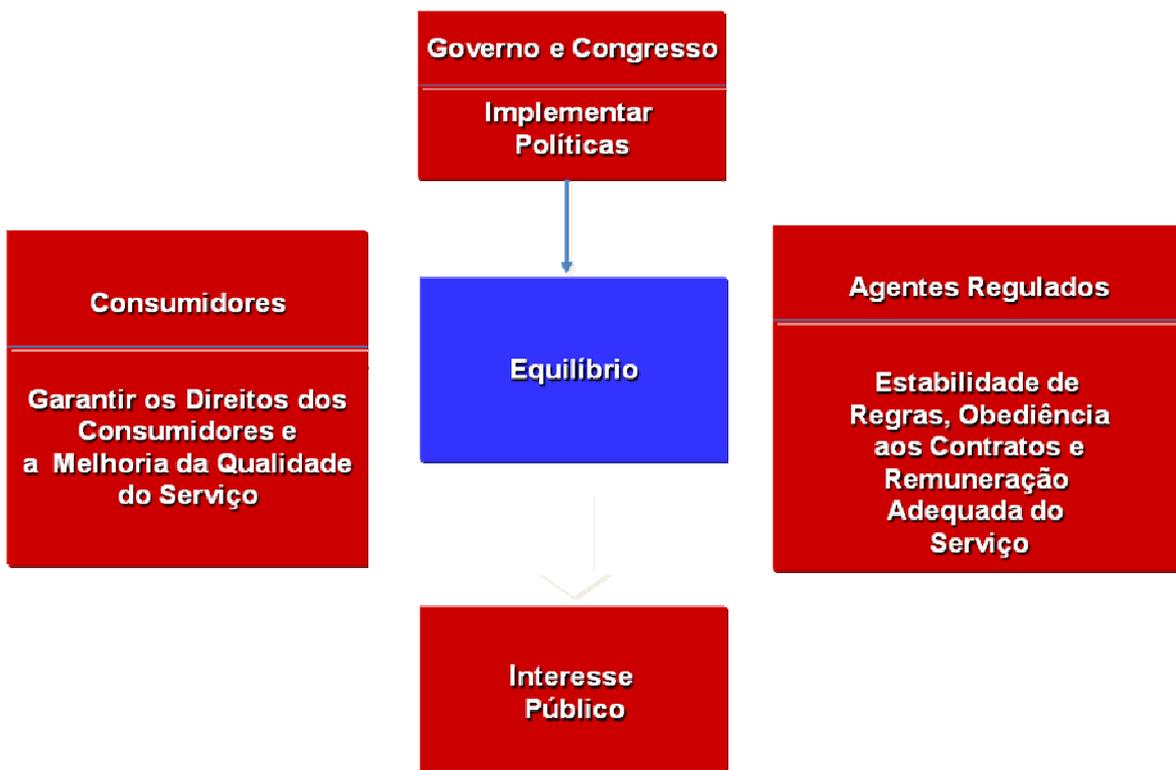


Figura 1 – Estrutura de Regulação  
Fonte: ANEEL, 2004

A situação em que a capacidade de investimento por parte do governo se esgotou determina a necessidade de participação de investimento privados nas atividades antes totalmente atendidas pelo Estado como no caso da infra-estrutura. No ano de 2005 os gastos do governo consumiam aproximadamente 42% do PIB e ficou evidenciada a impossibilidade de haver recursos suficientes para investimento

em infra-estrutura. Com uma necessidade de investimento anual em torno de R\$ 20 bilhões e uma capacidade de superávit fiscal em torno de R\$ 4 bilhões deixou muita clarificada a necessidade de atrair investimento privado para a área de infraestrutura (PEDROSA, 2005).

Para essa nova condição aparece um novo ator no cenário da atividade que econômica que é a “Agência Regulatória”. O papel desta instituição é a de definir regras claras para o funcionamento de cada setor específico e também atuar no acompanhamento e na fiscalização da obediência das regras estabelecidas. Este órgão deve ter um caráter estritamente técnico.

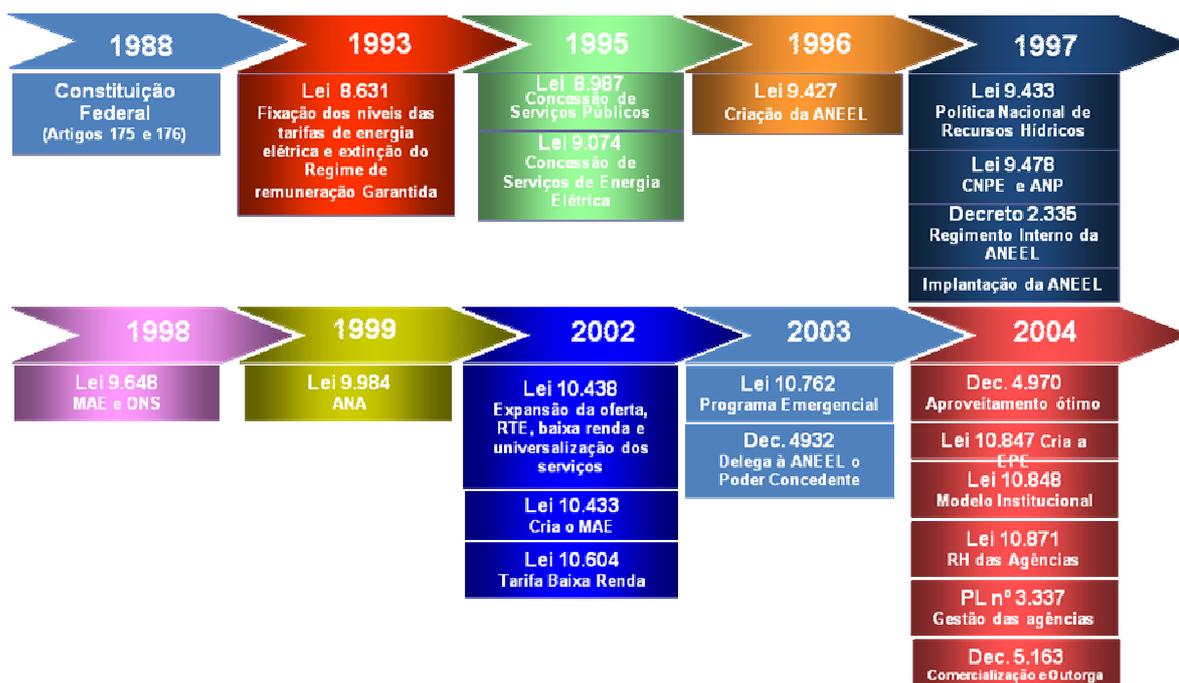
Essa condição de não haver um viés político no funcionamento da agência reguladora é de fundamental importância para atrair a confiança e os investimentos da iniciativa privada. Especificamente para o setor elétrico foi criada a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, que teve como sua primeira e principal missão coordenar o processo de privatização do setor. Nesta transição do parque produtivo do setor das mãos do Estado para a iniciativa privada, uma atuação importante da agência foi garantir o acesso a todos quando da existência de monopólio natural<sup>1</sup>.

Apesar de um parcial sucesso no processo de transição, com o passar do tempo começaram a aparecer algumas dificuldades no processo, especialmente ligados a um número enorme de estruturas sobrepostas que dificultam na clareza de entendimento pelos demais agentes econômicos das regras vigentes, o que levou a uma estagnação nos investimentos vista a incerteza nas regras do setor.

Agora além dos desafios já postos a Agência para a correção e simplificação do entendimento da política regulatória, existe a necessidade de fazer discriminação com relação às diversas fontes de energia e propiciar uma diversificação e um crescimento da matriz elétrica no sentido de atender tanto as expectativas dos agentes econômicos investidores como as expectativas sociais.

---

<sup>1</sup> Situação de Mercado em que os investimentos necessários são muito elevados e os custos marginais são muito baixos. Caracterizado também por serem bens exclusivos e com pouca ou nenhuma rivalidade



**Figura 2 – Evolução do Marco Legal do Sistema Elétrico Brasileiro**  
 Fonte: ANEEL, 2004

A evolução do marco legal ocorreu de forma muito lenta no Brasil, gerando muitas incertezas para os agentes econômicos. Atualmente o Novo Modelo do Setor Elétrico<sup>2</sup> procura reordenar e prover novamente a capacidade de planejamento e clareza nas regras o que exige uma atuação firme do agente regulador (PEDROSA, 2005).

## 2.6 Impacto ambiental do processo de geração de energia

O resultado de anos e anos de um padrão de consumo pautado na utilização indiscriminada de recursos naturais começou a ser percebido de uma forma bastante preocupante desde a última década. As mudanças climáticas estão sendo percebidas de forma bastante desastrosa, com a ocorrência de desastres naturais que por muitas vezes além do impacto direto na atividade econômica de regiões inteiras tem ceifado um enorme número de vidas.

Estudos feitos pela *US National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA*, apontam como resultado do aquecimento global, e expectativa que no verão de 2037 toda a capa de gelo do Oceano Ártico terá derretida. Essa é apenas uma

<sup>2</sup> Conjunto de medidas de alteração institucional e regulatória visando garantir a segurança no suprimento de energia elétrica, promover a modicidade tarifária e a inserção social no setor elétrico

das mudanças radicais que o planeta deve sofrer nos próximos anos fruto do aquecimento global.

A agressão que o nosso ecossistema vem sofrendo assinala que “uma relação cada vez mais estressada entre a economia e o ecossistema da Terra, estão causando prejuízos econômicos cada vez maiores” (BROWN, pág. 4, 2003).

Existe uma divergência grande entre duas correntes de pensamentos que precisam ser corrigidas. Por um lado a dos economistas focados somente no crescimento econômico e por outro lado a dos ecólogos com um excesso de zelo pelo ecossistema. Para Brown (op cit), um novo conceito deve ser estabelecido de forma que os recursos naturais devem ser explorados mas de forma que possibilitem o desenvolvimento econômico sem a destruição o meio ambiente.

E nessa perspectiva de realinhamento do desenvolvimento econômico com a preservação do meio ambiente, o consumo de combustíveis está colocado como tema central. O advento do Protocolo de Kyoto vem ao encontro desta perspectiva com o estabelecimento de metas de redução da emissão de gases poluentes e meios de compensação para países mais compromissados com a preservação do meio ambiente, por exemplo, através dos créditos de carbono.

Das formas de transformação para geração de energia elétrica conhecidas até os nossos dias, nenhuma delas é totalmente limpa. O que tem sido alvo de pesquisas é o desenvolvimento de fontes que causem o menor impacto possível no meio ambiente. Dentro desta perspectiva o que tem se buscado é um ponto ótimo entre o custo de produção, a quantidade a ser produzida e o menor impacto ambiental.

O principal componente da matriz energética brasileira é a fonte hidráulica. Em termos de poluição ela está considerada entre as fontes mais limpas, mas o seu impacto no meio ambiente é de grande monta vista a necessidade do alagamento de grandes áreas e a interferência direta na fauna e na flora e deslocamento de comunidades (PEDROSA, 2005). Já as fontes de geração térmica são consideradas fontes importantes de poluição e com forte peso na emissão de CO<sub>2</sub> responsável pelo aquecimento global.

Das fontes de energia consideradas mais limpas, a energia eólica se destaca por ter mínimo impacto no meio ambiente, não emite nenhum resíduo e tem contra si apenas um nível de ruído de baixa frequência que pode se tornar incômodo.

A tabela abaixo apresenta um resumo das principais características das fontes geradoras de energia elétrica:

<b>FONTES RENOVÁVEIS</b>		
<b> FONTE</b>	<b> VANTAGENS</b>	<b> DESVANTAGENS</b>
Hidrelétrica	Energia limpa	Área para construção é enorme, afeta a fauna e a flora em função do alagamento de grandes áreas. Geralmente estão distantes do centro de carga
Biomassa	Custo de aquisição relativamente baixo	Baixo poder calorífico
Eólica	Energia limpa	Alteração de paisagem e emissão de ruído
Solar	Energia limpa, não influencia em nada no meio ambiente	Baixa eficiência das placas armazenadoras
<b>FONTES NÃO RENOVÁVEIS</b>		
<b> FONTE</b>	<b> VANTAGENS</b>	<b> DESVANTAGENS</b>
Termoelétrica a Carvão Mineral	Possibilidade de instalação próxima ao centro de carga reduzindo custos de transmissão	Poluição ambiental com emissão de gases e resíduos sólidos
Termoelétrica a Óleo Combustível	Possibilidade de instalação próxima ao centro de carga reduzindo custos de transmissão	Poluição ambiental com emissão de gases e resíduos sólidos
Termoelétrica a Gás Natural	Possibilidade de instalação próxima ao centro de carga reduzindo custos de transmissão	É das fontes não renováveis e que causa menos impacto no ambiente mas ainda há a emissão de gases na atmosfera

**Tabela 1 – Características das Fontes Geradoras de Energia Elétrica**  
**Fonte: Elaboração própria a partir de biodieselbr, 2008**

A opção pela utilização de cada fonte envolve uma série de variáveis. Mas existe uma tendência hoje de aumentar o peso da questão ambiental nas decisões dos investimentos. Neste contexto a utilização de fontes renováveis e com baixo impacto ambiental tem levado ao crescimento nos investimentos nas plantas geradoras que utilizam a energia eólica como fonte.

## **CAPÍTULO 3 - HISTÓRICO DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL**

### **3.1 A História do sistema elétrico brasileiro**

A história da energia elétrica comercial no Brasil remonta o final do século XIX com a construção das primeiras usinas hidrelétricas e os primeiros trechos de iluminação pública.

Na década de trinta o governo pela primeira vez atua no sentido de regular o mercado a fim de sanear os primeiros problemas de suprimento de energia.

Na década de cinquenta o Brasil passa pela sua primeira crise de energia que culminou no racionamento, na época os motivos para tal foram quatro eventos sucessivos, a seca de 1951 a 1956, o crescimento da industrialização, a urbanização dos grandes centros e a insuficiência de investimentos. Em 1957 o presidente Juscelino Kubtsicheck determina a construção da primeira grande usina hidroelétrica, a de Paulo Afonso, e a primeira grande termoelétrica, a usina de Piratinga.

Em 1962, no governo João Goulart, foram criados a Eletrobrás e o Ministério das Minas e Energia. Na década de sessenta e início dos anos setenta foi o momento de consolidação do sistema com o início da construção das maiores usinas hidroelétricas, com destaque para as usinas de Itaipu e Furnas.

Na década seguinte o destaque foi a entrada em operação da usina de Itaipu e a primeira etapa da usina termonuclear de Angra. Mesmo com o lançamento do Programa Nacional de Conservação de Energia – PROCEL em 1985, o país enfrentou o seu segundo período de escassez de energia, e nos anos de 1987 e 1988 as regiões Norte e Nordeste foram obrigadas a reduzir o consumo inicialmente em 15% e posteriormente em 10%.

A década de noventa foi o período da privatização do sistema, sendo lançado pelo governo do presidente Fernando Collor de Mello o PND – Programa Nacional de Desestatização. Nesse período foi criada a ONS – Operador Nacional do Sistema que veio a substituir o Grupo Coordenador para Operação Interligada – GCOI e entrou em operação a primeira etapa do sistema de interligação norte-sul.

Um marco na história do setor elétrico brasileiro é a publicação da Lei n.º 8.631 editada em março de 1993. Esta lei põe fim a equalização das tarifas que vigorara

por vinte anos e que não contemplava as diferentes características e custos de produção de cada área de concessão. O fim da tarifa única encerra o mecanismo que assegurava o retorno financeiro das concessionárias sem qualquer esforço por eficiência operacional e econômica (RELATÓRIO ANEEL 10 anos, 2008).

Com a estabilização econômica a partir de 1994 e a transferência dos ativos do sistema elétrico do Estado para a iniciativa privada um novo cenário se instala com a mudança do “Estado investidor” para o “Estado regulador”. Em 1996 foi criada a ANEEL que tinha como missão “proporcionar condições favoráveis para que o mercado de energia elétrica se desenvolva com equilíbrio entre os agentes e em benefício da sociedade” (RELATÓRIO ANEEL 10 anos, 2008). No entanto o primeiro leilão dos empreendimentos do setor elétrico só ocorreu em 1998.

Em 2000 foi editado o Decreto 3.371 que incentiva a produção termoeletrica através da utilização do gás natural como principal fonte de termoeletricidade. No entanto em 2001 o país conheceu sua pior crise de energia com corte no consumo em 20% nas regiões Sul e Sudeste e 10% nas regiões Norte e Nordeste. A principal causa deste racionamento: a escassez de investimento no setor (RELATÓRIO ANEEL 10 anos, 2008) combinada com a situação hidrológica crítica. Este evento teve reflexos importantes no endividamento das empresas geradoras e distribuidoras e a retração do PIB nacional.

### CONSUMO DE ELETRICIDADE - TWh

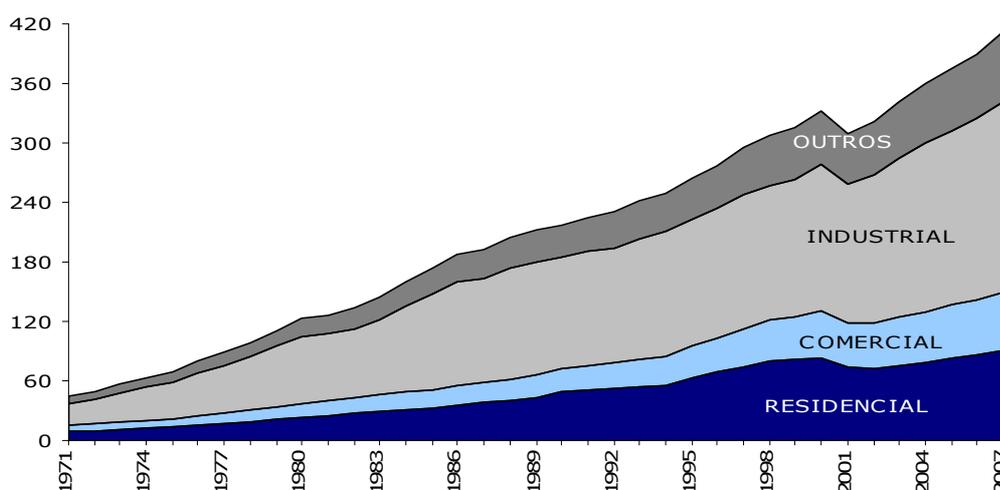
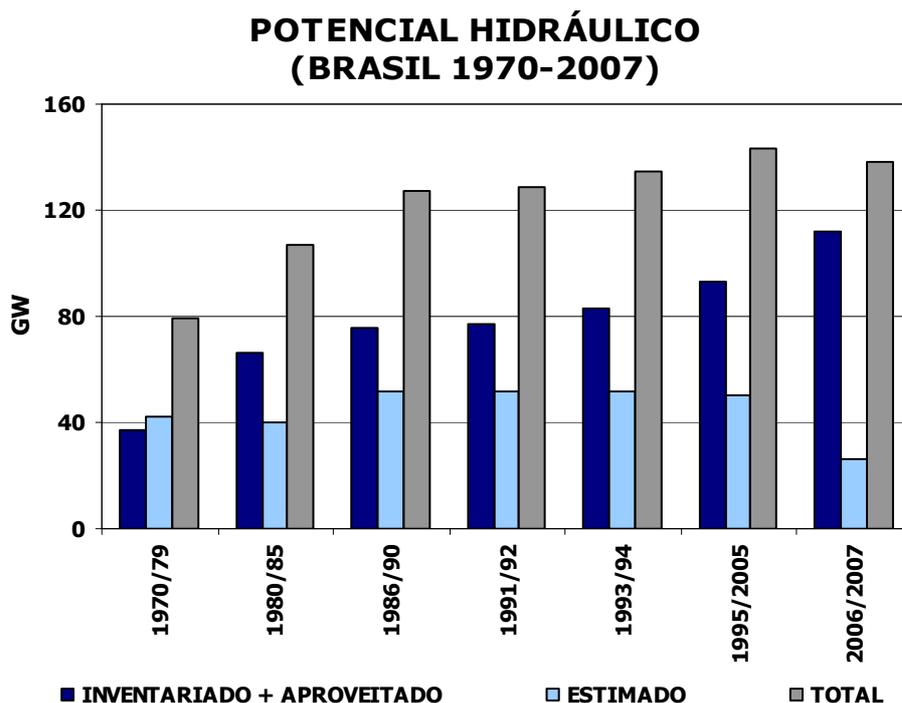


Figura 3 - Evolução do Consumo de Eletricidade  
Fonte: MME, 2008

Além do impacto negativo nas empresas do setor, é possível verificar claramente o impacto do racionamento ocorrido em 2001 no consumo dos setores e por consequência a redução no nível de produção do setor industrial.

Com a crise de 2001 ficou clara a necessidade de redução da dependência do parque gerador dos recursos hídricos. No gráfico abaixo está representada a evolução do potencial hidráulico nos últimos trinta e sete anos:



**Gráfico 2 - Potencial Hidráulico Brasileiro**  
Fonte: ONS, 2008

A solução adotada foi o investimento maciço na geração termoeétrica a partir do gás natural como forma de diversificação da matriz energética. Da mesma forma que a dependência dos recursos hídricos se mostrou perigosa, a dependência do gás natural não sendo o Brasil autosuficiente na sua produção a longo prazo (GOLDENBERG, MOREIRA, 2005), também demonstrou a necessidade de uma diversificação maior na matriz.

Dentro desta filosofia de diversificação da composição da matriz energética elétrica do país o plano de investimento governamental no setor sofreu uma mudança de foco.

Em 2004 o decreto n.º 5.025 instituiu o PROINFRA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica com o objetivo de aumentar a participação

da energia elétrica produzida por fontes renováveis como a Eólica, Biomassa e pequenas centrais hidrelétricas – PCH's.

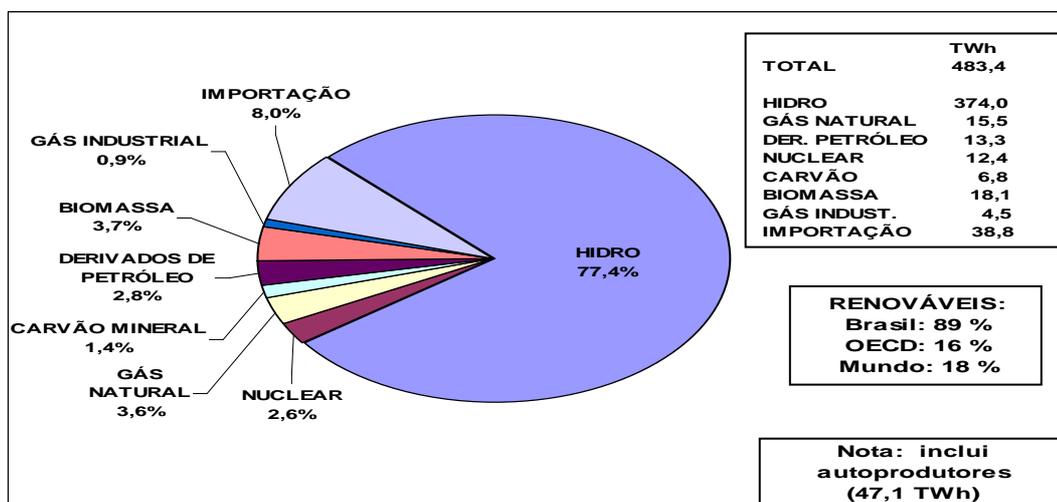
### 3.2 A Matriz energética

Pela sua própria condição hidrográfica, o país optou pela utilização de energia hidroelétrica como sua principal fonte de produção. Mas a visão de que essa forte dependência de uma única fonte fez com que nas últimas décadas o planejamento energético brasileiro também se voltasse na busca de outras fontes para geração. No ano de 2007 assim era a composição da matriz energética brasileira:

**MATRIZ DE OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA  
(GWh e %)**

ESPECIFICAÇÃO	GWh		07/06 %	Estrutura (%)	
	2006	2007(a)		2006	2007
HIDRO	348.805	374.015	7,2	75,7	77,4
NUCLEAR	13.754	12.350	-10,2	3,0	2,6
GÁS NATURAL	18.258	15.497	-15,1	4,0	3,2
CARVÃO MINERAL	7.222	6.792	-6,0	1,6	1,4
DERIVADOS DE PETRÓLEO	12.374	13.333	7,8	2,7	2,8
BIOMASSA	14.959	18.104	21,0	3,2	3,7
GÁS INDUSTRIAL	3.964	4.492	13,3	0,9	0,9
IMPORTAÇÃO	41.164	38.832	-5,7	8,9	8,0
<b>TOTAL</b>	<b>460.500</b>	<b>483.415</b>	<b>5,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Notas: (a) inclui autoprodutores - 47,1 TWh; (b) biomassa inclui 559 GWh de eólica em 2007



**Figura 4 - Oferta de Energia Elétrica GW e %**  
Fonte: MME, 2008

A matriz apresentada mostra claramente a utilização do potencial hídrico com principal fonte geração de energia elétrica no país. Com relação a potência instalada temos a seguinte situação:

Fonte	Nº Usinas	kW	% Cap. Disp.
Hidrelétrica	812	78.196.329	74,13%
Gás	122	11.850.285	11,23%
Biomassa	336	5.825.443	5,52%
Petróleo	798	5.606.177	5,31%
Nuclear	2	2.007.000	1,90%
Carvão Mineral	8	1.455.104	1,38%
Eólica	35	547.684	0,52%
Solar	1	20	<0,01
<b>Capacidade Disponível</b>	<b>2.114</b>	<b>105.488.042</b>	<b>100%</b>

Tabela 2 – Capacidade Instalada  
Fonte: ANEEL, 2008

Num horizonte mais amplo as estimativas sinalizam para um aumento na participação de energia renováveis e nuclear na matriz energética reduzindo a dependência da hidrologia e uma redução na participação de termoeletricas a gás.

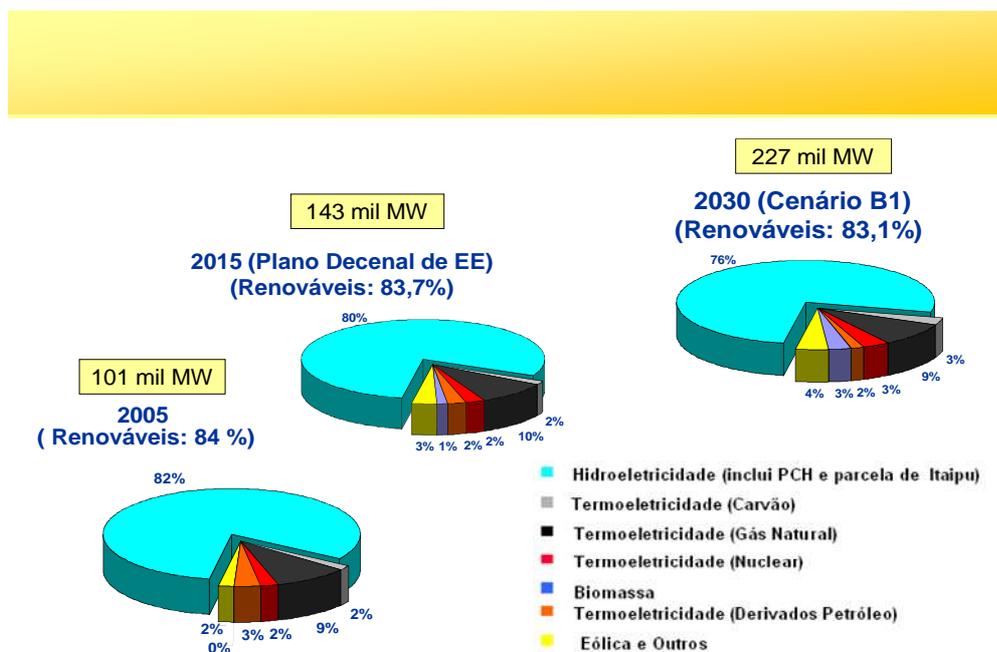


Figura 5 – Projeção da Matriz Energética Elétrica 2005 -2030  
Fonte: MME, 2007

### 3.3 Plano de expansão

No Plano Nacional de Energia 2030 (MME, 2007) o grupo de estudo estabeleceu quatro cenários diferentes para elaborar o plano de expansão do sistema até o ano de 2030. Foram traçadas quatro trajetórias com taxas anuais de crescimento entre 2,2% e 5,1%.

Relacionadas a estas taxas de crescimento foram definidas as taxas de crescimento da oferta de energia elétrica como segue na tabela abaixo:

	Cenário A	Cenário B1	Cenário B2	Cenário C
PIB % a.a.	5,1 %	4,1%	3,2%	2,2%
Energia Elétrica	5,1 %	4,1%	3,9%	3,5%

**Tabela 3 – Taxa Anual Média de Crescimento de Energia (%) – 2005 -2030**  
**Elaboração do Autor – Fonte: Plano Nacional de Energia 2030 (MME 2007)**

Na elaboração do plano de expansão, os resultados apresentados, levam em consideração não só o aumento da capacidade de geração, mas também pelo lado da demanda, uma melhor utilização da energia elétrica com o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem o aumento da eficiência energética com um impacto na redução da elasticidade renda na faixa de 4%.

O plano de expansão em consonância com a visão de necessidade de diversificação da matriz energética considera que o crescimento projetado do setor reconfigurará a matriz energética elétrica com a participação mais sólida das energias renováveis e uma dependência relativa menor da fonte hidráulica de geração.

## CAPÍTULO 4 - A ENERGIA EÓLICA

### 4.1 Energia eólica e seu aproveitamento

A energia eólica é a energia obtida pelo movimento do ar, ou seja, o vento. Esta energia pode ser aproveitada de várias formas como a moagem de grãos (sua utilização mais antiga), bombeamento de água e também a geração de energia elétrica entre outras aplicações menos conhecidas. Especificamente para este estudo o interesse principal é a sua utilização como fonte geradora de energia elétrica.

A transformação da energia dos ventos em energia elétrica ocorre através da utilização de equipamento eletromecânicos cujo seu componente principal é o aerogerador. Este equipamento é basicamente composto por uma torre de sustentação, um gerador elétrico e um conjunto de pás que são responsáveis pela captação do vento e acionamento do gerador elétrico. Além desses equipamentos principais há uma série de outros componentes elétricos e mecânicos que compõem o conjunto, mas esta composição é variável dependendo do tipo de aerogerador utilizado.

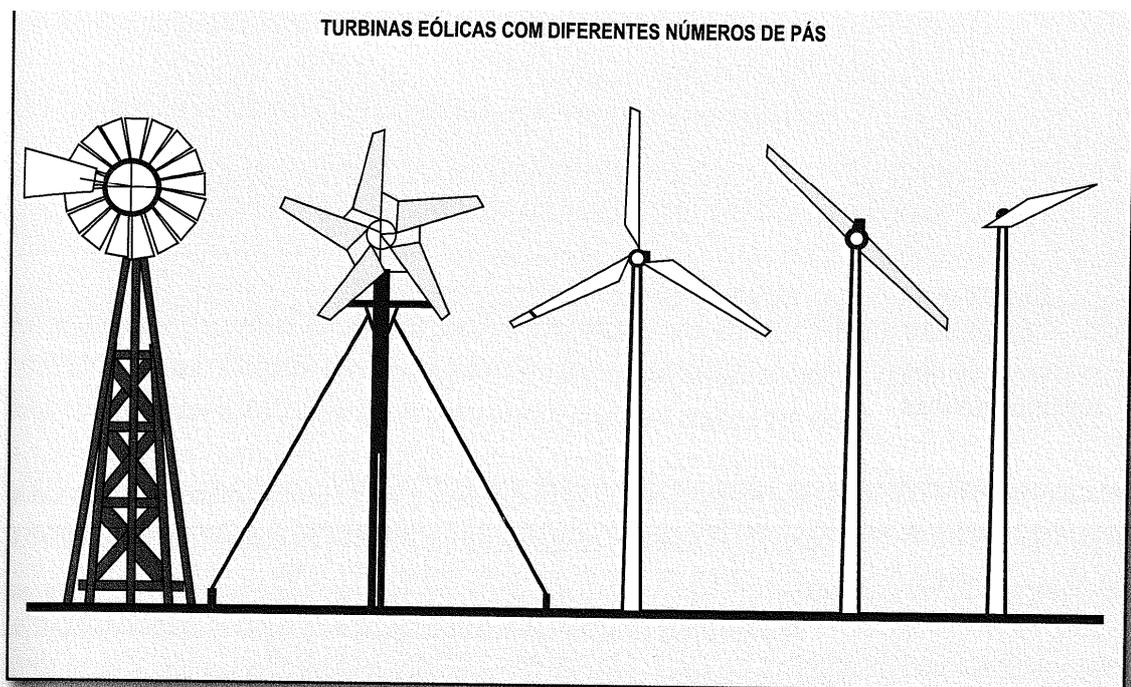


Figura 6 – Tipos de Aerogeradores  
Fonte: (Santos, 2009)

A escolha do tipo de aerogerador depende de uma análise de vários fatores que envolvem desde a condição climática da região a aplicação a qual se destina. A utilização desta fonte tem sua aplicabilidade a uma vasta gama de categorias de consumo final. Esta tecnologia pode ser aplicada desde uma necessidade de consumo residencial isolado com utilização de geradores com potência em torno de 1kW, para o atendimento de pequenas comunidades com geradores de alguns kW e também para a geração em larga escala e integração ao sistema elétrico com geradores com potência acima dos 100kW.

<b>Classificação</b>	<b>Diâmetro (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Potência, até (kW)</b>
Pequeno	0,0 a 8,0	0,00 a 50,0	20
	8,1 a 11,0	50,1 a 100,0	25
	11,1 a 16,0	100,1 a 200,0	60
Médio	16,1 a 22,0	200,1 a 400,0	130
	22,1 a 32,0	400,1 a 800,0	310
	32,1 a 45,0	800,1 a 1.600,0	750
Grande	45,1 a 64,0	1.600,1 a 3.200,0	1.500
	64,1 a 90,0	3.200,1 a 6.400,0	3.100
	90,1 a 128	6.400,1 a 12.800	6.400

**Tabela 4 – Classificação de Aerogeradores**  
**Fonte: DEWI, 2002**

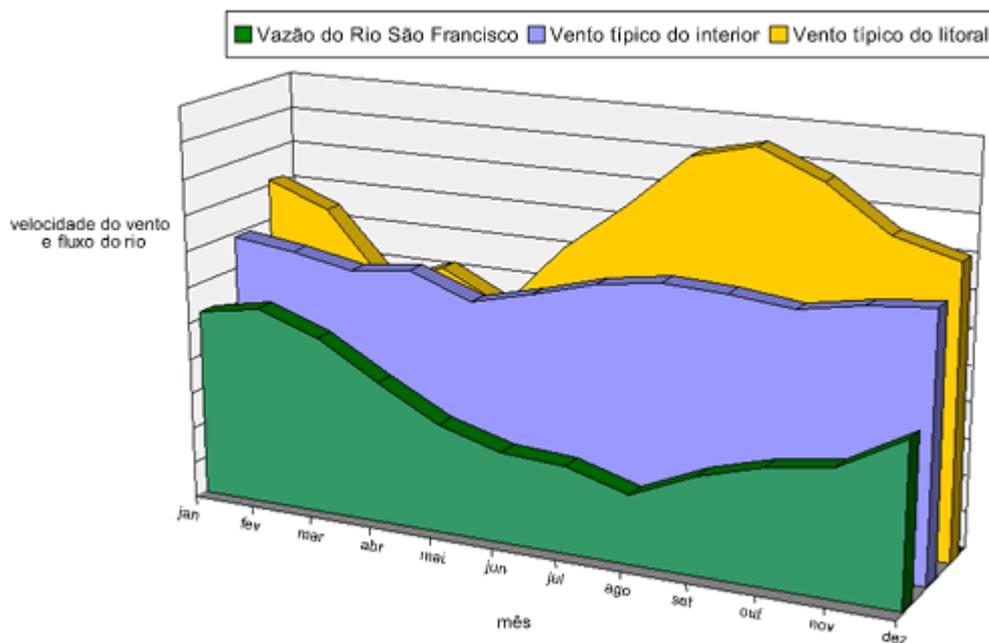
A Tabela 4 acima apresenta a classificação e a capacidade dos geradores comerciais existentes no mercado. Por ter sua utilização para uma grande diversidade de aplicações a faixa de potência disponível é bastante ampla.

Como toda tecnologia de geração de energia tem seus prós e seus contras, a geração de eletricidade através da utilização da energia dos ventos não é diferente. No entanto para uma determinada faixa de utilização esse tipo de conversão de energia se torna bastante interessante e em consonância com as necessidades mais atuais do mercado que são a agilidade na implantação e a questão ambiental.

<b>.ASPECTOS</b>	
<i>Positivos</i>	<i>Negativos</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transformação limpa do recurso energético natural, o vento.</li> <li>• Não produz resíduos poluentes.</li> <li>• O sistema é bastante durável e precisa de pouca manutenção.</li> <li>• Apresenta maior potencial de crescimento no Brasil.</li> <li>• Sistemas eólicos de grande porte interligados a rede pública de distribuição são bastante viáveis, pois dispensam armazenamento.</li> <li>• Trazem a oportunidade de eletrificação de regiões remotas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição visual.</li> <li>• Poluição sonora.</li> <li>• As pás das turbinas produzem sombras e reflexos móveis que também são indesejáveis nas áreas residenciais.</li> <li>• Em fazendas eólicas pode ocorrer mortalidade de aves por impacto com as pás das turbinas.</li> <li>• Verifica-se que o recurso eólico apresenta variações, os ventos não são constantes.</li> <li>• As baterias são consideradas o ponto crítico do sistema, pela pouca durabilidade</li> </ul>

**Figura 7 – Aspectos da utilização da energia eólica**  
**Fonte: Unesp, 2002**

Uma característica importante da utilização da energia eólica na geração de energia elétrica é a sua posição na matriz de despacho do sistema. Por se tratar de uma fonte em que não há a possibilidade de armazenamento da energia primária, como é o caso dos reservatórios das usinas hidrelétricas ou mesmo o armazenamento de carvão e gás, esta fonte não pode ser alocada na base do sistema. Mas também não pode ser alocada como suprimento de ponta pois não há a garantia de disponibilidade neste período e haveria uma subutilização da capacidade instalada. Desta forma é uma fonte que deve ser utilizada com bastante mobilidade no despacho de energia, aproveitando como base do sistema, e por consequência possibilitando o armazenamento nos reservatórios e nos períodos de ponta reduzindo a emissão de poluentes das termelétricas e redução do custo deste suprimento complementar.



**Gráfico 3 – Complementaridade - Velocidade do Vento e Vazão do Rio**  
**Fonte: Centro Brasileiro de Energia Eólica – C/UFPEBEE**

Há também uma característica importante que é muito favorável ao investimento neste tipo de tecnologia que é uma questão climática em que o período com maiores quantidades de vento coincidem com o período seco<sup>3</sup> onde os reservatórios encontram-se com seus níveis mais baixos. Sendo assim, a utilização desta fonte permite a redução no despacho na energia oriunda de plantas hidrelétricas possibilitando a manutenção dos reservatórios em níveis seguros.

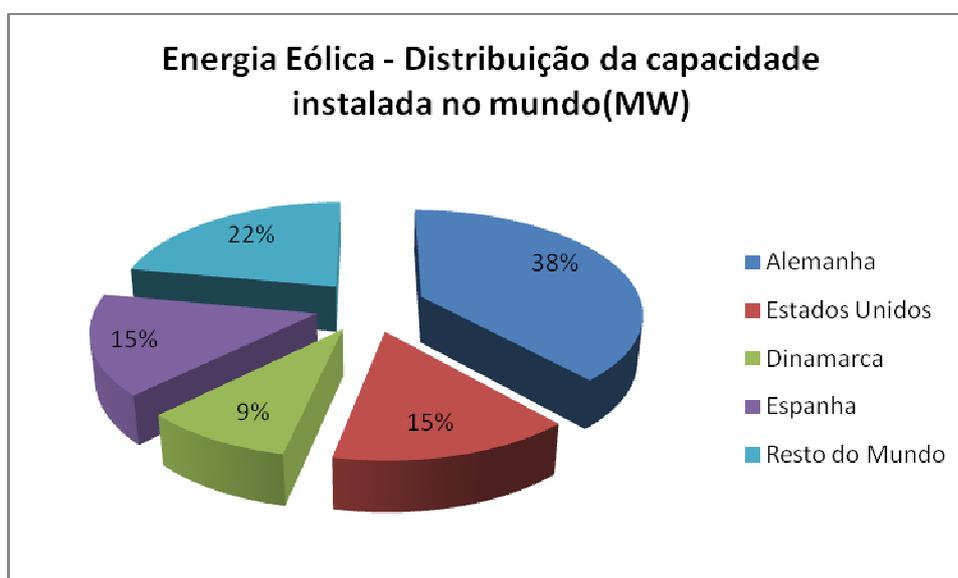
## 4.2 A Energia eólica no mundo

Este tipo de fonte geradora de energia elétrica já bem difundida no mundo especialmente na Europa e Estados Unidos. Em 1990 a capacidade instalada no mundo era inferior a 2.000 MW, ao final de 2002 a capacidade instalada já superava os 32.000 MW. De lá pra cá este mercado tem crescido anualmente a uma média de 3.000 MW ao ano de potência instalada. A expectativa da Associação Européia de Energia Eólica (EWEA) é que até o ano de 2020 a energia eólica já supra aproximadamente 10% de toda a energia elétrica consumida no mundo.

<sup>3</sup> Período compreendido entre os meses de maio e novembro – Fonte: ONS

ENERGIA EÓLICA - CAPACIDADE INSTALADA NO MUNDO (MW)						
País/Região	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Alemanha	2080	2874	4445	6113	8734	12001
Estados Unidos	1590	1927	2492	2555	4245	4645
Dinamarca	1116	1450	1742	2297	2456	2889
Espanha	512	834	1530	2402	3550	4830
Europa (exceto Alemanha, Dinamarca e Espanha)	1058	1411	1590	2610	2760	3637
Ásia	1116	1194	1287	1574	1920	2184
Continente Americano (exceto EUA)	55	135	214	243	322	375
Austrália e Pacífico	33	63	116	221	410	524
África e Oriente Médio	24	26	39	141	147	149
<b>Total</b>	<b>7584</b>	<b>9914</b>	<b>13455</b>	<b>18156</b>	<b>24544</b>	<b>31234</b>

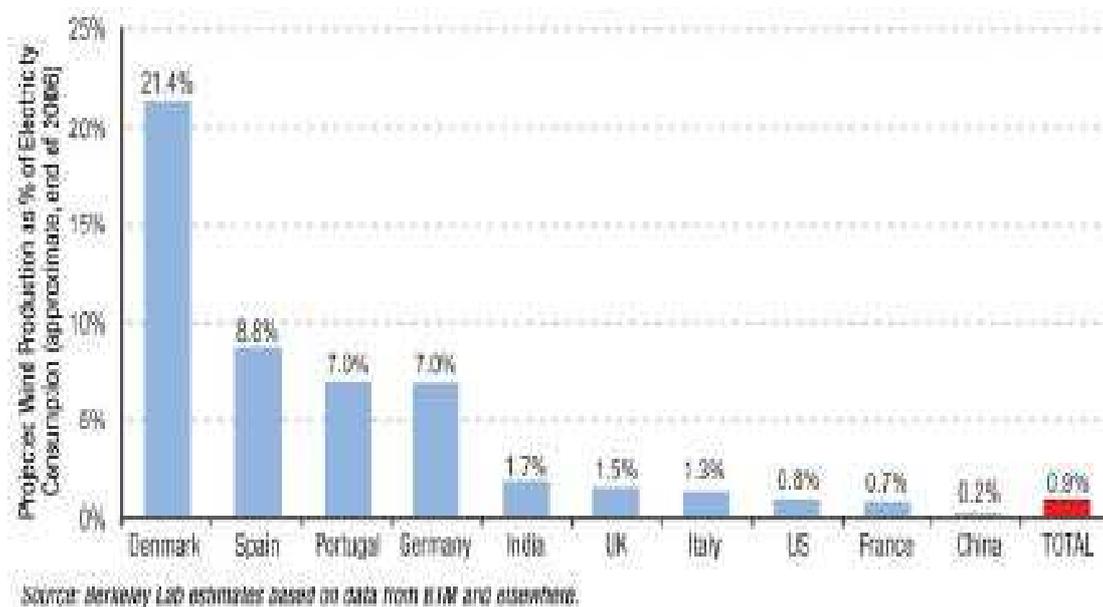
**Tabela 5 – Energia Eólica - Capacidade Instalada no Mundo (MW)**  
**Fonte: WIND POWER NEWS MAGAZINE, V19, 2003**



**Gráfico 4 – Energia eólica – Distribuição da capacidade instalada no mundo**  
**Fonte: WIND POWER NEWS MAGAZINE, V19, 2003**

Especialmente nos Estados Unidos, que vem se destacando nos últimos anos com o maior incremento na capacidade instalada, o grande incentivo vem através de política públicas de incentivos via créditos tributários e fundos para investimento em tecnologia. O resultado destas políticas é o amadurecimento da indústria deste setor

já se destacando como grande exportadora mundial de máquinas e equipamentos para a instalação de parques eólicos.



**Gráfico 5 – Energia Eólica como Percentual do Consumo de Eletricidade**  
Fonte: US DOE

Na figura acima é notável o considerável grau de participação desta fonte no parque gerador dos países Europeus que já investem neste setor a mais tempo.

### 4.3 A energia eólica no Brasil

Este tipo de fonte ainda é historicamente de utilização recente no Brasil. Em 1997 o Brasil possuía uma capacidade instalada de apenas 3 MW. Se comparada a capacidade instalada no resto do mundo isto representa um percentual menor que 0,03% (WMNM, 2003). Em 2002 a capacidade instalada já remontava 22 MW com um crescimento de 733% com relação ao ano de 1997, mas mesmo assim representando apenas 0,07% da capacidade instalada no mundo.

O principal marco de incentivo a utilização desta fonte no Brasil foi a instituição da Lei n.º 10.438, de 26 de abril de 2002 que criou o PROINFRA que

instituiu incentivos aos empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis. Com a contratação a partir do PROINFRA é esperado já para o ano de 2011 uma capacidade instalada de 585,5 MW, ou seja, um incremento de 2.659 % com relação ao ano de 2002.

#### 4.3.1 Potencial eólico brasileiro

A viabilidade de implantação de um parque de geração eólico está diretamente relacionada ao potencial disponível na região. O Brasil é um país que geograficamente tem uma condição bastante favorável para a utilização deste tipo de energia. Estudos executados indicam que o país tem um potencial da ordem de 143 GW (Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, 2001), que para termos de comparação representa a capacidade de produção equivalente a dez usinas de Itaipu.

Dois regiões destacam-se pela sua grande capacidade de geração, a região nordeste com aproximadamente 75GW e a região sul com 22,8GW.

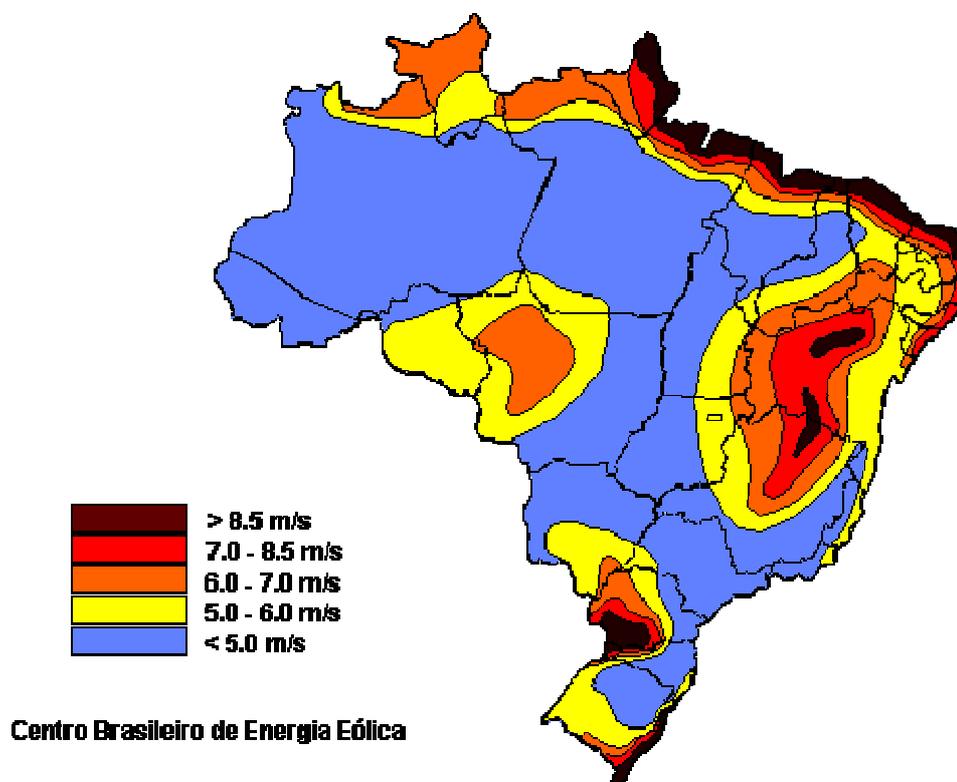


Figura 8 – Mapa Eólico Brasileiro  
Fonte: Centro Brasileiro de Energia Eólica

Com relação a este imenso potencial, ainda é pequeno o aproveitamento do mesmo. No entanto nos últimos anos cresceu substancialmente o número de projetos estudos e localização, através de medições locais, dos melhores sítios para implantação de novas centrais geradoras. Pela localização da realização destes estudos, é notório que neste primeiro momento as região sul e a região nordeste serão as regiões com os maiores investimentos na instalação de centrais eólicas. A Tabela 6 a seguir permite visualizar o conjunto de usinas, por região, em processo de outorga pela ANEEL

REGIÃO	NÚMERO DE EMPREENDIMENTOS	POTÊNCIA OUTORGADA (kW)
NORDESTE	64	2.933.880
SUDESTE	6	277.250
SUL	39	1.480.813
TOTAL	109	4.691.943

**Tabela 6 - Empreendimentos em fase de outorga**  
**Fonte: ANEEL, 2008**

Na sua quase totalidade, os novos empreendimentos estão localizados nas regiões nordeste e sul, principalmente no estado do Rio Grande do Sul, onde o potencial como foi visto anteriormente é muito superior as demais regiões.

#### **4.3.2 Capacidade instalada**

Até o ano de 2008 existiam no Brasil dezessete centrais eólicas em operação com capacidade de produção de 272.650kW. Hoje já estão em fase de construção outras vinte e duas centrais já outorgadas, mas ainda não iniciadas, outras cinquenta que quando da entrada em operação elevarão a capacidade de produção para 3.137.503 kW (ANEEL 2008).

EMPREENDIMENTOS EM OPERAÇÃO			
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	227	120.009	0,11%
Central Geradora Eolielétrica	17	272.650	0,26%
Pequena Central Hidrelétrica	320	2.399.598	2,29%
Central Geradora Solar Voltáica	1	20	0,00%
Usina Hidrelétrica de Energia	159	74.632.627	71,20%
Usina Termelétrica de Energia	1042	25.383.920	24,22%
Usina Termonuclear	2	2.007.000	1,91%
<b>Total</b>	<b>1768</b>	<b>104.815.824</b>	<b>100</b>
EMPREENDIMENTOS EM CONSTRUÇÃO			
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	1	848	0,01%
Central Geradora Eolielétrica	22	463.330	6,26%
Pequena Central Hidrelétrica	67	1.090.070	14,73%
Usina Hidrelétrica de Energia	21	4.317.500	58,34%
Usina Termelétrica de Energia	19	1.528.898	20,66%
<b>Total</b>	<b>130</b>	<b>7.400.646</b>	<b>100</b>
EMPREENDIMENTOS OUTORGADOS (Construção não iniciada)			
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
Central Geradora Hidrelétrica	74	50.189	0,19%
Central Geradora Undi-Elétrica	1	50	0,00%
Central Geradora Eolielétrica	50	2.401.523	9,07%
Pequena Central Hidrelétrica	166	2.432.568	9,19%
Usina Hidrelétrica de Energia	15	9.053.900	34,21%
Usina Termelétrica de Energia	163	12.526.201	47,33%
<b>Total</b>	<b>469</b>	<b>26.464.431</b>	<b>100</b>

**Tabela 7 – Empreendimentos em operação, construção e outorgados**  
**Fonte: Aneel, 2008**

A Tabela 7 acima apresenta a mudança na política do desenvolvimento energético brasileiro. Diante de uma participação das energias renováveis limpas na planta em operação de 73,86% para 79,34% da potência dos empreendimentos em construção e mais recentemente com relação a empreendimentos outorgados e ainda não iniciados um percentual de 52,66%. A participação da energia gerada

através da energia dos ventos ao final deste ciclo de construção passará de uma participação atual de 0,26% da capacidade instalada para um percentual de 2,26%. Considerando que estas outorgas compreendem o período de 1998 a 2008 é um incremento importante na utilização desta fonte.

### **4.3.3 Regulação do setor**

Como o Brasil sempre teve como sua principal fonte de geração de energia voltada para a geração hidrelétrica e a necessidade de diversificação da matriz energética é algo relativamente recente, é necessária a remodelação do modelo regulatório para que a utilização de energias renováveis tenham condições de serem competitivas frente as fontes tradicionais.

O grande momento de incentivo das fontes renováveis foi a instituição do PROINFRA que alavancou os empreendimentos com previsão de entrada em operação até o ano de 2009, através de incentivos de financiamento e redução de impostos federais. No entanto é visto a dificuldade na competitividade destas fontes alternativas nos leilões de energia ocorridos nos últimos anos.

Pelas suas características, já demonstradas anteriormente, como à questão ecológica, de complementaridade e diversificação da matriz elétrica, é totalmente justificável a intervenção do governo através de políticas de incentivo para tornar estas fontes mais competitivas e por conseqüência um interesse maior de investimentos privados neste setor.

O que ocorre é que nas regras vigentes para os leilões de energia, a avaliação de competitividade se dá apenas pelo preço-teto, e como os custos destas fontes ainda são superiores as das fontes hidráulicas e térmicas, há uma dificuldade para interesse na implantação dessa tecnologia. O principal restritivo nas regras estabelecidas para estes leilões está na condição de despacho da energia que da forma que está posto beneficia enormemente as fontes térmicas.

Para a equalização desta avaliação, é necessária a introdução da precificação das externalidades positivas destas fontes primárias (CASTRO, 2009).

## **4.4 Aspectos ambientais**

Os combustíveis fósseis são a principal fonte energética do mundo. No entanto a sua utilização está associada a um grande impacto ambiental, produzindo enormes quantidades de emissões gasosas poluentes que destroem os ecossistemas. O consumo destes combustíveis é a causa primária do aumento de 30% nas concentrações do dióxido de carbono na atmosfera responsável pelo efeito estufa e aquecimento global (SANTOS, 2009).

TECNOLOGIA	Emissões de CO <sub>2</sub> nos estágios de produção de energia (t/GWH)			
	Extração	Construção	Operação	Total
Usina Termelétrica a carvão mineral	1	1	962	964
Usina Termelétrica a óleo combustível	N	N	726	726
Usina Termelétrica a gás natural	N	N	484	484
Energia térmica dos oceanos	N	4	300	304
Usinas Geotérmicas	<1	1	56	57
Pequenas Centrais Hidrelétricas	N	10	N	10
Usinas Nucleares	2	1	5	8
Parques Eólicos	N	7	N	7
Energia Solar Fotovoltaica	N	5	N	5
Usinas Hidrelétricas	N	4	N	4
Energia Solar Térmica	N	3	N	3

**Tabela 8 – Emissão de CO<sub>2</sub> de diferentes tecnologias de geração de energia**  
**Fonte: World Energy Council, 1993**

Além da questão de emissão de gases, devem ser considerados outros fatores como a emissão de outros gases poluentes, particulados e armazenamento de resíduos sólidos que por muitas das vezes geram a necessidade de deslocamento de populações.

A energia eólica é uma energia renovável de baixo impacto ambiental. Não há emissão de gases, rejeitos efluentes e consumo de quaisquer outros bens naturais. O equipamento de uma usina eólica ocupa menos de 1% da área total da usina, o que permite a utilização do espaço restante para a utilização agropecuária.

A ratificação do protocolo de Kyoto deverá impulsionar o investimento neste tipo de fonte geradora de energia elétrica especialmente pela emissão dos certificados de carbono que deverão ter valor expressivo, fazendo que o rendimento econômico destes projetos passe a ser muito atrativos.

Em Fernando de Noronha a instalação de uma unidade de produção eólica de 350 kW já possibilitou a substituição de 10% da energia gerada pela central a óleo Diesel.

#### **4.5 Aspectos sócio-econômicos**

A instalação de empreendimentos deste tipo, além do seu aspecto de inserção no setor elétrico como parte da solução do problema energético, trás consigo também algumas possibilidades de externalidades positivas no quadro social e econômico do Brasil.

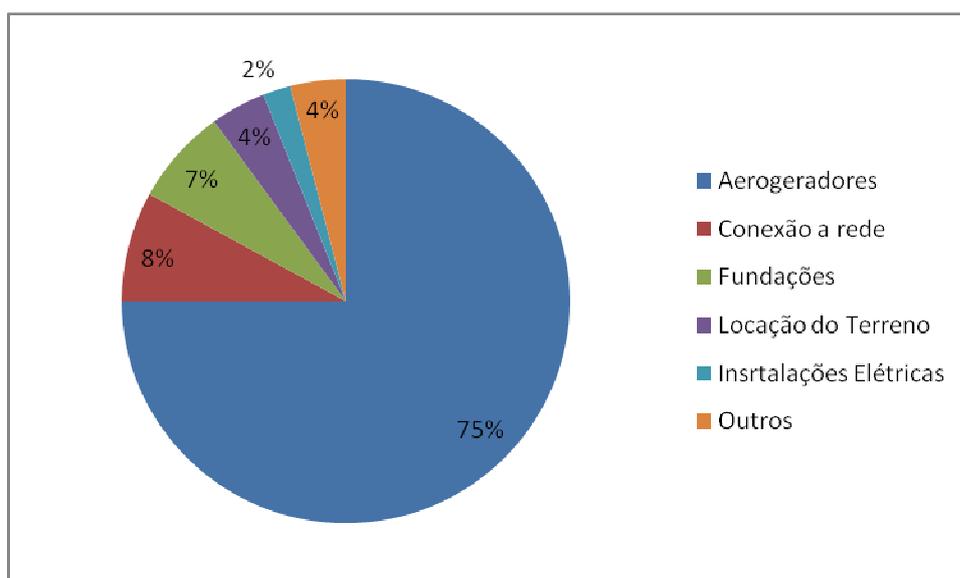
A possibilidade de crescimento de uma indústria específica para abastecimento deste setor gera a expectativa de possibilidade de oferta de uma grande quantidade de postos de trabalho. Segundo estudo do Ministério das Minas e Energia realizado em 2003, há uma expectativa de que um mercado anual de 300 a 500 MW anuais gerará a abertura entre 5.000 e 9.000 novos postos de trabalho nas atividades diretas e indiretas.

Como visto na abertura deste capítulo, a versatilidade da utilização desta fonte como geradora de energia elétrica, para aplicações desde residências individuais a grandes complexos geradores, abre a possibilidade de utilização desta tecnologia como solução para o fornecimento de energia de comunidades afastadas dos grandes centros e distantes da rede básica de distribuição. Abre-se então a possibilidade não só de melhora nas condições básicas de sobrevivência destas comunidades como a também a possibilidade de desenvolvimento econômico da região. Como exemplo desta possibilidade pode ser tomado o caso de uma comunidade pesqueira na cidade de Paraty no estado do Rio de Janeiro. Nesta localidade a instalação de uma central híbrida de energia solar e eólica permitiu a instalação de câmaras frigoríficas em que o pescado pode ser armazenado para uma melhor flexibilidade de negociação do produto (AMBIENTALBRASIL, 2003).

## 4.6 Custos de implantação

Na implantação de um parque gerador eólico, como em todos os projetos, é necessário fazer uma avaliação da viabilidade econômica do empreendimento. Particularmente no caso de parques eólicos a sua viabilidade de instalação está diretamente relacionada ao perfil dos ventos na área de interesse. Este estudo deve se iniciar num prazo mínimo de treze meses anterior ao início do projeto aliado a informações históricas da região. Estudos já realizados apontam para um consenso de que apenas locais com ventos a partir de 7 m/s são considerados viáveis para implantação deste tipo de tecnologia (SANTOS, pág, 270, 2009).

Os aerogeradores representam o principal componente de custo na implantação de um parque eólico. A expectativa é que com a evolução tecnológica na produção destas máquinas, o custo de implantação no longo prazo deve ser reduzido consideravelmente. No entanto neste momento, o que se observa é um incremento no custo com a aquisição destes equipamentos. A explicação para este fenômeno que se acredita ser momentâneo é a grande demanda por estes equipamentos visto os consideráveis investimentos que ocorrem neste momento no mundo inteiro.



**Gráfico 6: Composição média de custos de implantação de um parque eólico**  
Fonte: (Custódio, 2009)

O gráfico acima demonstra a importância relativa do custo de aquisição dos aerogerados na composição total do custo de implantação de um usina eólica. Atualmente a implantação de uma fazenda eólica requer investimentos da ordem de 1.500 US\$/kW variando este valor com a localização do empreendimento (SANTOS, 2009).

Com relação a outras fontes de energia, os custos de implantação de um parque eólico ainda são consideravelmente superiores. No entanto a avaliação não mais pode ser feita apenas levando em consideração a questão estritamente econômica. O tempo de maturação do projeto e as questões ambientais hoje são fatores decisivos no processo decisório de determinação de políticas públicas para o setor.

	<b>Custo Variável Unitário (R\$/MWh)</b>	<b>O&amp;M Fixo (R\$/kW.ano)</b>	<b>Custo do Investimento (US\$/kW)</b>	<b>Tarifa de Equilíbrio (R\$/MWh)</b>
<b>Hídrica</b>	1,50	11,30	1.250,00	<b>116,40</b>
<b>Biomassa</b>	14,70	46,00	1.100,00	<b>121,10</b>
<b>Carvão Nacional</b>	37,50	57,80	1.500,00	<b>133,30</b>
<b>Nuclear</b>	25,20	138,00	2.000,00	<b>151,60</b>
<b>Carvão Importado</b>	54,30	57,80	1.500,00	<b>152,40</b>
<b>Gás Natural</b>	108,60	57,50	900,00	<b>175,00</b>
<b>Eólica</b>	4,50	46,00	2.000,00	<b>297,00</b>
<b>Óleo Combustível</b>	300,00	28,00	800,00	<b>382,90</b>
<b>Diesel</b>	500,00	25,00	600,00	<b>602,20</b>

**Tabela 9– Avaliação da Competitividade entre fontes**  
**Fonte: (Zimmermann, 2007)**

#### **4.7 Custos de operação**

Os custos de operação de uma usina eólica são especialmente impactados pela velocidade do vento na região, pois é a incidência deste durante o período de operação que determina a quantidade de energia produzida.

O custo de produção da energia elétrica gerada por uma usina eólica é afetado pelo valor do investimento (cota de depreciação), pelos custos operacionais e pela quantidade de energia produzida. O custo do financiamento representa o maior custo na operação de um parque eólico e no Brasil os custos tributários são também bastante significativos chegando em média a 30% do custo total da energia gerada.

No Brasil a principal fonte de financiamento para obras de infra-estrutura é o BNDES. No ano de 2006 o programa do BNDES para este fim aplica taxas de juros de 4% a.a. com um prazo de financiamento de dezessete anos e uma carência de 12 após o início da operação comercial.

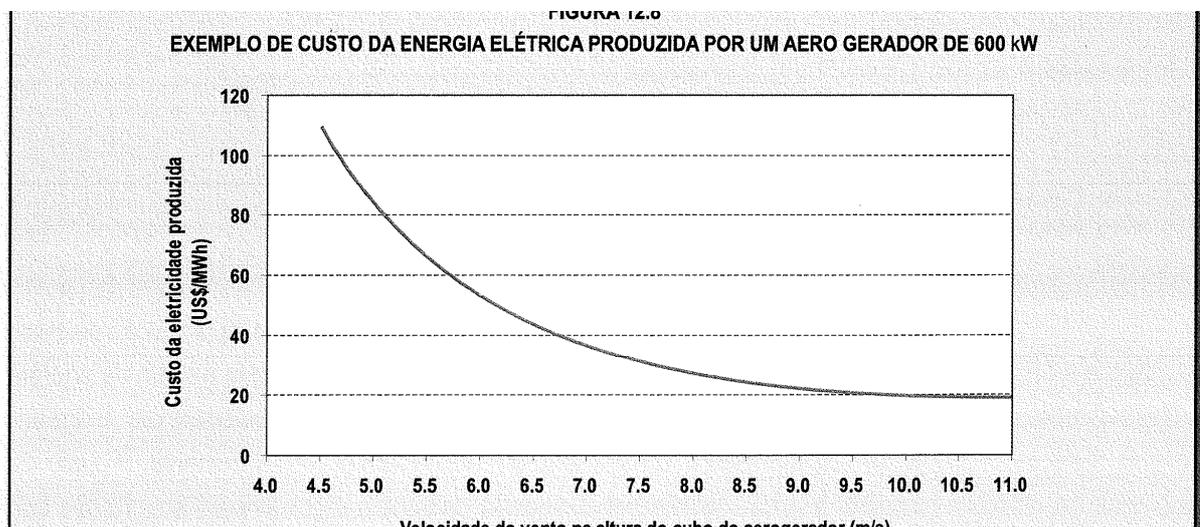
Com relação aos tributos, o Programa de Aceleração do Crescimento - PAC, lançado em 2007, isentou o pagamento de PIS/PASEP e COFINS sobre o faturamento oriundo da geração de energia através de fontes alternativas e renováveis de energia.

<b>Descrição</b>	<b>Custo (R\$/ano)</b>
<b>PIS/PASEP</b>	<b>1,65 % da receita bruta</b>
<b>COFINS</b>	<b>7,60 % da receita bruta</b>
<b>Contribuição Social</b>	<b>9,0% sobre o Lucro Bruto Antes do Imposto de Renda</b>
<b>Taxa da ANEEL</b>	<b>R\$ 16,5665 por kW instalado</b>
<b>Taxa ONS/CCEE</b>	<b>1% da receita bruta</b>
<b>Imposto de Renda</b>	<b>25% sobre o valor do Lucro Bruto Antes do Imposto de Renda</b>
<b>Pesquisa e Desenvolvimento</b>	<b>1,0% sobre a receita bruta, deduzida PIS/PASEP e COFINS</b>
<b>Seguros</b>	<b>0,2% sobre o valor total do investimento</b>
<b>Custo de Transmissão</b>	<b>Depende do ponto de conexão da usina (Referência:0,007%)</b>
<b>Arrendamento do Terreno</b>	<b>1,5% da receita bruta</b>
<b>Operação e Manutenção</b>	<b>2,0% do preço dos aerogeradores</b>
<b>Depreciação da Usina</b>	<b>5,0% do custo de instalação da fazenda eólica</b>

**Tabela 10 – Custos Operacionais da Fazenda Eólica**  
**Fonte: Custódio, 2009**

A Tabela acima representa a composição dos custos operacionais de uma instalação eólica. Na tabela foram incluídos além dos custos realmente operacionais os custos tributários.

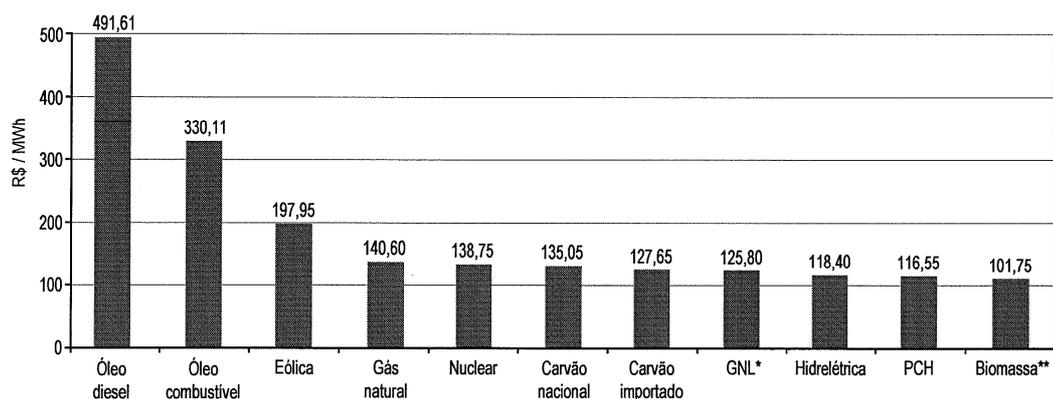
No entanto o grande impacto no custo gerado está diretamente relacionado a qualidade do local e a energia gerada.



**Gráfico 7 – Relação Velocidade do Vento x Custo da Energia Gerada**  
Fonte: (Custódio, 2009)

O gráfico acima apresenta a relação entre a velocidade do vento e o custo de energia gerada válido para a Dinamarca, mas serve como um ótimo indicativo para todas as instalações visto os vários anos de estudo neste país.

O custo da energia gerada por uma central eólica se torna bastante competitivo em regiões com velocidade de vento acima de 10 m/s. Como na grande maioria dos locais e em especial no Brasil praticamente nenhum local apresenta este perfil de vento, a competitividade desta tecnologia está sempre relacionada a políticas de estímulo através de subsídios governamentais. Também como esta tecnologia tem a característica de não ser armazenável e portanto não pode ser considerada nem na base do sistema nem com complementar em horário de ponta, através de meios regulatórios uma maneira de estímulo é a obrigatoriedade de compra desta energia pelas concessionárias. Assim se deu o crescimento desta fonte nos países europeus.



**Gráfico 8 – Comparativo de custo de geração entre diversas fontes**  
**Fonte: (Custódio, 2009)**

Ainda o custo da geração de energia elétrica através da energia eólica é superior as fontes tradicionais de geração. No entanto com a expansão deste uso no mundo, a instalação de um parque fabril no Brasil e a curva de aprendizado deverão fazer que em curto espaço de tempo haja uma redução substancial nos custos médios na utilização desta fonte.

## CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO

A análise apresentada neste relatório permite verificar a importância da geração de energia elétrica através da energia eólica e como ela se insere na matriz energética elétrica do Brasil.

É possível afirmar que esta fonte geradora sempre comporá a matriz como energia complementar especialmente pelos seus custos de produção que mesmo com a tendência de serem decrescentes ao longo dos próximos anos, dificilmente chegarão ao patamar daqueles da produção hidroelétrica e pela sua peculiaridade de não haver a garantia de constância de disponibilidade de sua energia primária.

Analisando comparativamente os países em que hoje esta fonte já tem uma participação considerável no montante de energia elétrica gerada, destacam-se as diferenças geográficas que levaram seus dirigentes a desenvolverem prematuramente as fontes alternativas por dificuldade na disponibilidade das fontes tradicionais. Comparando especialmente com os países europeus, o Brasil possui um potencial hidráulico de grande importância, uma fonte limpa e renovável e de baixo custo, o que não existe em outros países. Podem ser equalizados somente quando se trata da questão do petróleo. E é justamente nesse nicho que a utilização de fontes alternativas, como a eólica, pode e deve ser desenvolvida aliviando os impactos das crises mundiais deste combustível.

Também é claro que pela condição geográfica e hidrológica do Brasil, a geração hidroelétrica não deve ser negligenciada. O potencial hidrelétrico brasileiro é enorme e os custos de geração desta fonte são comparativamente com todas as outras fontes os menores. No entanto é preciso avançar no sentido de melhores soluções ambientais para este aproveitamento.

Em favor da utilização da energia eólica comparativamente as outras fontes podem ser destacados alguns aspectos. Por seu prazo de maturação ser menor ela se coloca como excelente alternativa quando existe a necessidade de acréscimo na oferta de energia no curto prazo. No aspecto relacionado a custos, mesmo que o

custo unitário do megawatt gerado esteja acima das demais alternativas existe uma pequena vantagem comparativa com relação à flexibilidade de localização e distribuição do seu potencial geograficamente, fazendo com que o custo de inserção no sistema integrado seja menor.

O desenvolvimento de uma indústria nacional voltada para este setor tem o potencial de baixar os custos de implantação, sendo o principal entrave na expansão na utilização de energias alternativas e renováveis.

No aspecto ambiental, de grande importância nos tempos atuais, esta é considerada a energia mais limpa. Mesmo que a área necessária para implantação de parques de alta capacidade de geração seja considerável, é possível manter as atividades agropecuárias nas áreas destes parques geradores.

Quanto as políticas que direcionam o futuro do sistema elétrico brasileiro, a história já mostrou a necessidade premente de maior diversificação da matriz energética elétrica brasileira. A dependência exclusiva de uma única fonte já demonstrou ser desastrosa e a solução adotada para uma outra fonte da qual não temos total controle também não serve como solução. Existe a necessidade de aumentar a confiabilidade do sistema e a solução para isso passa necessariamente pela diversificação da matriz. A utilização da energia eólica neste ponto tem se demonstrado bastante eficiente.

Por ainda se tratar de uma energia com custo acima das fontes tradicionais, o estabelecimento de políticas públicas de incentivo a utilização destas fontes alternativas é de grande importância. Uma revisão no marco regulatório do setor se faz necessária para adequar as regras hoje em vigor às novas características de uma matriz energética mais diversificada e com fontes primárias também diversas nos seus aspectos econômicos e sociais.

O trabalho aqui apresentado tem um limitador na disponibilidade de tempo de pesquisa e conhecimento sobre o tema, sugere-se o aprofundamento no tema para que os resultados possam contribuir com o desenvolvimento da área estudada.

## REFERÊNCIAS

AMNIENTALBRASIL. Disponível em: < <http://www.ambientebrasil.com.br/> >

ANEEL. **ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL**. Ed. Brasília: Aneel, 2008. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>

ANEEL. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Ed. Brasília: Aneel, 2001

ANEEL. **RELATÓRIO ANEEL 10 ANOS/AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA** – Agência Nacional de Energia Elétrica - Brasília: ANEEL, 2008. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>

AREND, Marcelo; CÁRIO, Silvio Antônio Ferraz. **INSTITUIÇÕES, INOVAÇÕES E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO**. Florianópolis, 2004

Biodieselbr. Disponível em: [www.biodieselbr.com](http://www.biodieselbr.com)

BOCCHI, João Ildebrando (org.), **Monografia para Economia**. São Paulo: Saraiva, 2004.

BROWN, Lester R. **ECO-ECONOMIA Construindo uma Economia para a Terra**. Salvador: UMA. 2003

CASTRO, Nivaldo José, outros. **A importância das Fontes Alternativas e Renováveis na Evolução da Matriz Elétrica Brasileira**, 2009.

Centro Brasileiro de Energia Eólica. Disponível em: < [http://www.eolica.org.br/index\\_por.html](http://www.eolica.org.br/index_por.html) >

DEWI – Instituto Alemão d Energia Eólica. **Wind resources Assessment Techniques**. Course, Alemanha, 2002

European Wind Energy Association – EWEA. Disponível em: <<http://www.ewea.org/>>  
GOLDENBERG, José; MOREIRA, José Roberto. **Política energética no Brasil**. Estudos Avançados, vol. 19 no 55, 2005

KAEHLER, José Wagner Maciel. **Comentários relativos a proposta da ANEEL para modificação do manual para elaboração do regulamento anual de combate ao desperdício de energia elétrica das concessionárias**. ANEEL, 2000.

MME. **PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA: 2007/2016** – Ministério de Minas e Energia; Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético – Brasília, 2007. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>

MME. **PLANO NACIONAL DE ENERGIA 2030** – Ministério das Minas e Energia – Brasília, 2007. Disponível em [http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/pne\\_2030/PlanoNacionalDeEnergia2030.pdf](http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/pne_2030/PlanoNacionalDeEnergia2030.pdf)

PACHECO, Fabiana. **Energias Renováveis: Breves Conceitos**. Salvador: Conjuntura Econômica n. 149, 2006

PEREIRA, Luiz Carlos Bresser. **O conceito histórico de desenvolvimento econômico**. FGV, 2006.

PEDROSA, Paulo Gerônimo Bandeira de Mello. **Desafios da regulação do setor elétrico, modicidade tarifária e atração de investimentos**. Brasília: ANEEL, 2005.

ONS. **PLANO ANUAL DA OPERAÇÃO ENERGÉTICA – PEN 2008** – Operador Nacional do Sistema Elétrico ONS – Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: [www.ons.gov.br](http://www.ons.gov.br)

RODRIGUES, Anastácia. **O apagão no Brasil e motivação para o Programa Prioritário de Termoeletricidade**, 2003

SANCHES, Luiz Antônio M. Ugeda. **As deficiências legais na regulação no setor elétrico no Brasil**. São Paulo, 2002. Disponível em <http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=3159>

SANTOS, Ronaldo Custódio dos. **Energia eólica para produção de energia elétrica**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2009

SMITH, Adam. **A riqueza das nações: investigação sobre a sua natureza e suas causas**. São Paulo: Abril Cultural, (1983 [1776]).

Wind Power News Magazine, V19, 2003

World Energy Council. Disponível em: <<http://www.worldenergy.org/>>

ZIMERMANN, Márcio Pereira. **Energia: O desafio de suprir a demanda elétrica**. Brasília: MME, 2007