

**FRANCIS DE SOUZA MORELLI**

# **PANORAMA GERAL DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Escola de Engenharia de São Carlos, da  
Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em  
Sistemas de Energia e Automação

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad**

São Carlos

2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Morelli, Francis de Souza  
M842p Panorama geral da energia eólica no Brasil /  
Francis de Souza Morelli; orientador Frederico Fábio  
Mauad . São Carlos, 2012.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com  
ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de  
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,  
2012.

1. Energia eólica. 2. Geração de energia . 3. Setor  
elétrico brasileiro. 4. Matriz energética brasileira.  
5. PROINFA. 6. Leilões de energia. I. Título.

# FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Francis de Souza Morelli

Título: “Panorama Geral da Energia Eólica no Brasil”

*Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado  
em 21/11/2012,*

*com NOTA 10,0 (dez, zero), pela Comissão Julgadora:*

*Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad (Orientador)  
SHS/EESC/USP*

*Prof. Assistente Carlos Goldenberg  
SEL/EESC/USP*

*M.Sc. Marcus Vinícius Estigoni  
SHS/EESC/USP*

**Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:  
Prof. Associado Homero Schiabel**



## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais, Auro e Juraci, pelo cuidado, carinho e amor incondicionais, e à minha irmã, Samara.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao professor Fred pela oportunidade deste trabalho.

Ao professor Goldenberg e a Marcus por aceitarem prontamente meu convite para participarem da banca julgadora.

Aos demais professores e funcionários do departamento de Engenharia Elétrica, os quais, muitas vezes, me ajudaram durante a graduação.

A todos meus amigos, em especial amigos da república Mão de Onze, que sempre estiveram do meu lado em momentos difíceis e também proporcionaram os melhores anos de minha vida.



## RESUMO

MORELLI, F. S. **Panorama geral da energia eólica no Brasil**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

O consumo da energia elétrica é um elemento indispensável para o crescimento econômico de um país. Recentemente nos deparamos com uma nova situação em que os recursos convencionais para a geração de energia elétrica ou se tornaram escassos ou as consequências de sua utilização passaram a ser discutidas pelo seu efeito negativo quanto às questões ambientais. Frente a estas circunstâncias, propõe-se o desafio de fornecer, de forma segura, as necessidades energéticas intrínsecas ao progresso do crescimento econômico, com a utilização de fontes alternativas às tradicionais, com baixo impacto ambiental e a um preço de comercialização aceitável. Neste contexto, o emprego da energia eólica na geração de eletricidade tem sido considerado como uma das alternativas para a composição da matriz energética mundial e nacional. Assim, o presente trabalho busca examinar como esta forma de energia está inserida no cenário elétrico brasileiro e quais as perspectivas do crescimento de seu uso no curto prazo diante da oferta de outras fontes de energia disponíveis no mercado. No Brasil, a adoção dessa fonte energética segue uma tendência de crescimento significativa, retratando os planos do governo de diversificação da matriz energética através de incentivos em fontes alternativas de energia. Nos leilões de energia de 2009 a 2011, foram contratados ao todo mais de 6,7 GW em empreendimentos eólicos que entrarão em operação até 2016, um fato notável e surpreendente considerando seu contexto histórico. As análises obtidas permitem afirmar que a energia eólica é hoje uma das fontes alternativas mais baratas e possui um alto poder competitivo entre todas as outras fontes de energia. Se este cenário for aprimorado com as reformulações apropriadas, a energia eólica terá um caminho ainda mais promissor e competitivo para uma maior consolidação na matriz energética brasileira.

Palavras-chave: Energia eólica. Geração de energia. Setor elétrico brasileiro. Matriz energética brasileira. PROINFA. Leilões de energia.



## ABSTRACT

MORELLI, F. S. **Overview of wind energy in Brazil**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

The consumption of electricity is an essential element for the economic growth of a country. Recently, we encounter a new situation in which the classic features for the generation of electricity or have become scarce or the consequences of its use began to be discussed by its negative effect on environmental issues. Facing these circumstances, it is proposed the challenge to safely provide the energetic needs that are intrinsic to the progress of economic growth, with the use of alternatives to traditional sources, with low environmental impact and an acceptable sales price. In this context, the use of wind energy for electricity generation has been considered as one of the alternatives to compose the global and national energy matrix. Thus, this paper seeks to examine how this form of energy is inserted in the Brazilian electricity scenario and which are the prospects of growth of its use in the short term considering the supply of other energy sources available in the market. In Brazil, the adoption of this energy source follows a trend of significant growth, portraying the government's plans to diversify the energy matrix through incentives for alternative energy sources. In energy auctions from 2009 to 2011, were engaged in all more than 6.7 GW of wind projects to come on stream by 2016, a remarkable and surprising fact, considering its historical context. The analyzes obtained allow us to state that wind power is now one of the cheapest alternative sources and has a high competitive power among all other energy sources. If this scenario is enhanced with the appropriate reformulations, wind energy will have a more competitive and promising path for a further consolidation in the Brazilian energy matrix.

Keywords: Wind energy. Power generation. Brazilian electric sector. Brazilian energy matrix. PROINFA. Energy auctions.



# SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	15
2 ENERGIA E DESENVOLVIMENTO.....	17
2.1 TIPOS DE ENERGIA .....	17
2.2 INFLUÊNCIA DO CONSUMO ENERGÉTICO NA ECONOMIA .....	19
2.3 CONSUMO ENERGÉTICO NO MUNDO .....	20
2.4 PROBLEMÁTICAS .....	22
2.5 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	25
3 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO .....	27
3.1 RESUMO HISTÓRICO .....	27
3.2 SITUAÇÃO ATUAL .....	32
3.3 MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA .....	35
3.4 PLANO DE EXPANSÃO .....	37
4 ENERGIA EÓLICA .....	41
4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	41
4.2 TECNOLOGIA DE APROVEITAMENTO .....	43
4.3 IMPACTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS.....	51
4.4 CENÁRIO EÓLICO MUNDIAL.....	53
5 PANORAMA EÓLICO BRASILEIRO .....	57
5.1 POTENCIAL EÓLICO .....	57
5.2 CAPACIDADE INSTALADA .....	59
5.3 INDÚSTRIA EÓLICA .....	60
5.4 LEGISLAÇÃO E INCENTIVOS FISCAIS .....	61
5.5 DIFICULDADES SETORIAIS .....	66
6 CONCLUSÃO.....	70
REFERÊNCIAS.....	72



# 1 INTRODUÇÃO

A energia é um fator básico e necessário para o desenvolvimento dos países. Através dela obtemos alimentos, bens de consumo, serviços e lazer. Ou seja, a cada dia nos tornamos mais dependentes. Nosso desenvolvimento econômico, social e cultural está intimamente ligado ao desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias energéticas.

Indispensável à vida, a energia se apresenta de várias formas na natureza, transformando-se a todo o momento desde os tempos mais remotos, nos processos biológicos dos seres vivos ou nos fenômenos geoclimáticos. Mas desde que o homem começou a atuar sobre a natureza e transformar a energia a partir das diversas fontes existentes, os processos envolvidos nessas transformações trouxeram diversos problemas à tona, tanto no âmbito ambiental, como social e econômico. Isso porque a maioria das fontes utilizadas é de origem fóssil (carvão, gás natural, petróleo), e sua queima libera vários gases responsáveis pela poluição atmosférica, efeito estufa, contaminação dos recursos hídricos, entre outros fatores nocivos ao meio ambiente. Outro aspecto negativo é que essas fontes não são renováveis, ou seja, elas se esgotarão da natureza. Além do mais, tais reservas fósseis não estão amplamente distribuídas no globo terrestre, tornando assim, obrigatória a importação de energia por diversos países.

Nesse contexto, surgem as chamadas fontes alternativas de energia como soluções locais capazes de suprir as necessidades humanas sem destruir o meio ambiente. Entre elas estão a energia solar (obtida através do Sol), energia eólica (dos ventos), energia das marés (correntes marítimas), biomassa (matéria orgânica), hidráulica (das águas), entre outras. Estas fontes, além de serem encontradas em abundância na natureza, geram menos impactos ambientais.

A utilização de energias alternativas tem sido largamente buscada após a crise do petróleo da década de 70, como estratégia na redução da dependência da importação de energia e aumento da segurança no fornecimento energético. As recentes preocupações ambientais levaram, também, à busca de alternativas menos poluentes na geração de energia. Entre essas alternativas, a energia eólica despontou como uma das mais promissoras e despertou um significativo interesse durante as últimas décadas.

No Brasil, a adoção da energia eólica como fonte geradora de energia elétrica ainda é incipiente e pequena quando pensada em produção em larga escala e comparada com o potencial eólico disponível. Os seus altos custos iniciais, aliados com a fase inicial de seu desenvolvimento tecnológico em relação às formas comercialmente tradicionais de geração de energia, conferiram à energia eólica uma condição de baixa competitividade no mercado nacional por muito tempo. Graças às recentes políticas de incentivos econômicos e regulatórios, a energia eólica conseguiu superar algumas de suas dificuldades e experimentou um impressionante aumento na sua participação na matriz elétrica brasileira a partir de 2009.

Desse modo, este trabalho tem por objetivo apresentar a inserção atual da energia eólica no setor elétrico brasileiro, bem como sua participação futura no curto prazo, e analisar sua competitividade frente às outras fontes de energia para a geração de eletricidade, considerando-se os aspectos técnicos e econômicos.

Este estudo está estruturado em seis partes, sendo o primeiro capítulo a introdução. No segundo capítulo a fundamentação teórica, que apresenta os conceitos e toda a conjuntura relativa ao tema energia. No terceiro capítulo um breve histórico do desenvolvimento do setor elétrico no Brasil, seu estado atual e suas perspectivas de expansão para os próximos anos. O quarto capítulo objeto de estudo apresenta a energia eólica e seus conceitos, bem como seu estado no cenário energético mundial. O quinto capítulo exhibe a atual panorama brasileiro da energia eólica e suas perspectivas futuras no curto prazo. No sexto capítulo são expostas as conclusões obtidas do desenvolvimento do tema em avaliação. O último capítulo apresenta as referências bibliográficas utilizadas.

## **2 ENERGIA E DESENVOLVIMENTO**

Ao longo dos anos, várias fontes de energia foram exploradas pelo homem, umas sucedendo outras ou ainda sob uso concomitante, dependendo da acessibilidade, disponibilidade e do custo de exploração. O uso intensivo de fontes energéticas aumentou consideravelmente com a Revolução Industrial, durante a segunda metade do século XVIII. Com a invenção da máquina a vapor, o carvão se tornou uma fonte primária de energia muito importante nos processos industriais. Já na metade do século XIX, o petróleo deu os primeiros passos para entrar na matriz energética mundial. As facilidades econômicas e técnicas de exploração, transporte e armazenamento tornaram o petróleo em uma das principais fontes de energia do mundo (MENEZES, 2005).

No final do século XIX, o aproveitamento da eletricidade marcou o início de uma nova era da sociedade mundial, com a disponibilidade de uma forma de energia que viria viabilizar inúmeras atividades e processos do nosso cotidiano. A eletricidade redesenhou os conceitos de processos produtivos na indústria e propiciou o acesso a um novo patamar de qualidade de vida, proporcionado por novos bens de consumo e serviços (MENEZES, 2005).

Como esta forma de energia não está disponível de forma direta na natureza para ser explorada pelo homem, sua obtenção é dada através de processos de transformação que aproveitam outras formas disponíveis na natureza, como a energia cinética dos rios e dos ventos, a energia solar e a energia térmica de combustíveis fósseis (gás natural, carvão mineral e subprodutos do petróleo), combustíveis renováveis (biogás, biomassa, biocombustíveis, entre outros) e oriundos de reações atômicas (energia nuclear). A ideia de um mundo sem energia elétrica é inconcebível e o desenvolvimento dos países está intimamente associado à disponibilidade de tais recursos.

### **2.1 TIPOS DE ENERGIA**

O conceito de energia está relacionado com a capacidade de por algo em movimento ou transformá-lo, ou seja, a capacidade de gerar trabalho. Quanto ao cenário econômico e tecnológico, a energia refere-se a um recurso natural e aos elementos associados que permitem fazer uso industrial do mesmo.

Para a física, a energia é uma magnitude abstrata que está ligada ao estado dinâmico de um sistema fechado e que permanece invariável com o tempo. Trata-se de uma abstração que é atribuída ao estado de um sistema físico. Tendo em conta as suas diversas propriedades (composição química, massa, temperatura, etc.), todos os corpos possuem energia. De acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica e pelos conceitos de energia interna e energia térmica, só existem, além da energia pura radiante, duas formas de energia armazenadas em um sistema: o potencial e a cinética. No cotidiano, entretanto estas acabam recebendo nomes específicos que geralmente fazem referência explícita à natureza do sistema envolvido no armazenamento ou às plantas industriais onde estas são levadas à transformação. Assim tem-se a energia eólica associada à energia cinética de movimento das massas de ar (ventos) ou energia geotérmica associada à energia térmica do interior da terra, como exemplos.

Entendida como sendo um recurso natural, a energia nunca é um bem por si só, mas sim um bem intermediário que permite satisfazer outras necessidades com a produção de bens e serviços. A energia também pode ser classificada de acordo com a fonte, sendo renovável ou não renovável. As energias não renováveis são aquelas encontradas na natureza em quantidade limitada e se extinguem com a sua exploração, já que suas capacidades de renovação são muito reduzidas quando comparadas com a utilização que delas fazemos. Consideram-se fontes de energia não renováveis os combustíveis fósseis (carvão, petróleo bruto e gás natural) e o urânio, que é a matéria-prima necessária para obter a energia resultante dos processos de fissão ou fusão nuclear. Geralmente, as fontes de energia não renováveis são denominadas fontes de energia convencionais, uma vez que são utilizadas comercialmente em larga escala.

Já as energias renováveis, segundo Pacheco (2006), são 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. Incluindo-se nesta categoria a energia eólica, de biomassa e a solar, estas são formas de energia que se regeneram de uma forma cíclica em uma escala de tempo reduzida. Elas podem ser convencionais ou alternativas (não convencionais). As fontes energéticas alternativas são aquelas não baseadas nos combustíveis fósseis e grandes hidroelétricas. Elas não são apenas alternativas às fontes convencionais como o próprio nome sugere, mas são sinônimos de uma energia limpa, pura, não poluente, a princípio inesgotável e que pode ser encontrada em qualquer lugar (CARROCCI, 2011).

Diante dessa questão, as fontes alternativas energéticas fazem frente às fontes convencionais, já que estas estão se esgotando e são consideradas verdadeiras ameaças ao meio ambiente. As fontes alternativas entram em discussão, uma vez que são renováveis e não prejudicam o meio ambiente.

## **2.2 INFLUÊNCIA DO CONSUMO ENERGÉTICO NA ECONOMIA**

O consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade. Ele reflete tanto o ritmo de atividade dos setores industrial, comercial e de serviços, quanto à capacidade da população para adquirir bens e serviços tecnologicamente mais avançados, como automóveis (que demandam combustíveis), eletrodomésticos e eletroeletrônicos (que exigem acesso à rede elétrica e impulsionam o consumo de energia elétrica) (ANEEL, 2008).

Tal fato é facilmente compreendido quando lembramos que um PIB elevado significa um mercado suficientemente forte para garantir um consumo igualmente forte e um setor industrial capaz de, por seu lado, garantir a transformação de bens primários em bens de consumo, num ciclo vicioso que leva a mais crescimento econômico e a um PIB crescente.

Os países hoje considerados como desenvolvidos sempre tiveram uma indústria notadamente forte, e dentro da indústria, o setor siderúrgico sempre mereceu destaque, por sua evidente importância enquanto fornecedor do que poderíamos classificar como insumos de base para o desenvolvimento. E por ser o setor siderúrgico um grande consumidor de energia, a relação entre PIB e consumo energético dos países é bastante evidente. De forma simplificada, quanto maior o consumo de energia do país, maior o seu PIB. Tal comportamento pode ser notado na Figura 1:

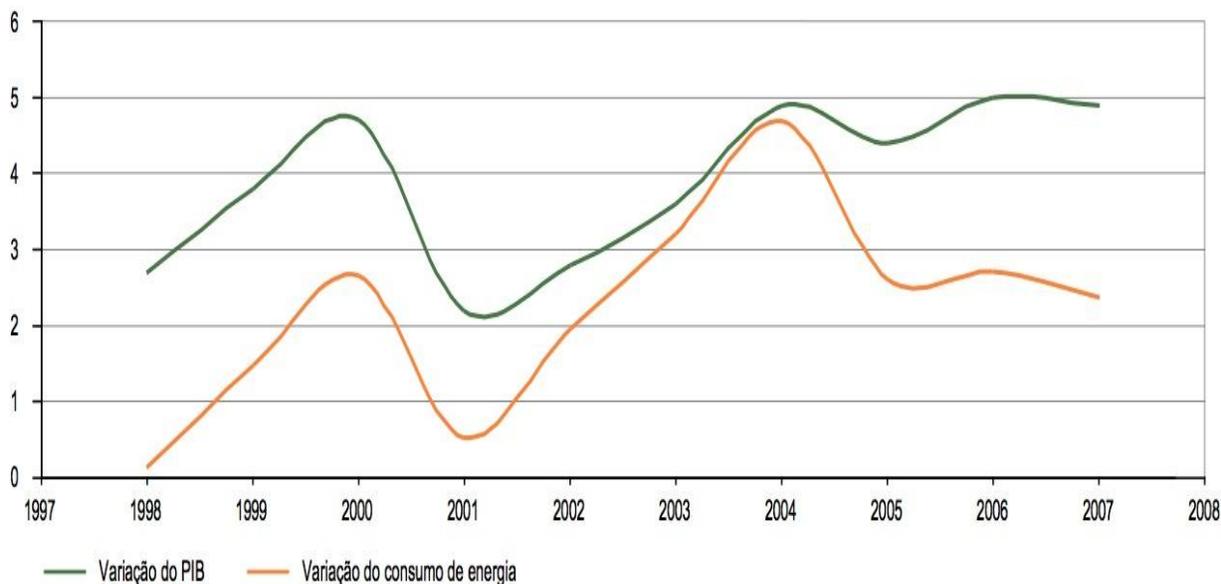


Figura 1 - Variação do PIB e variação do consumo de energia (1998 - 2007). (ANEEL, 2008)

Pode-se observar facilmente a forte influência direta que o consumo de energia de um país tem no seu PIB. Em 2001, o governo federal implantou um rigoroso programa de racionamento para evitar um colapso na oferta de energia elétrica em grande parte do território nacional. A crise foi provocada não apenas por condições hidrológicas bastante desfavoráveis, mas também pela insuficiência de investimentos em geração e transmissão. O resultado foi um progressivo esvaziamento dos maiores reservatórios do sistema interligado nacional evoluindo-se para uma deficiência estrutural de energia. De imediato, o governo determinou uma redução compulsória de 20% do consumo de eletricidade para impedir o completo esvaziamento dos reservatórios. Como consequência dessa redução, o crescimento do PIB brasileiro também sofreu uma forte queda, já que um racionamento desta magnitude traz consigo um clima de incertezas e riscos elevados para o país, diminuindo sua credibilidade interna e externa para o recebimento de investimentos (BARDELIN, 2004).

### 2.3 CONSUMO ENERGÉTICO NO MUNDO

Segundo Uczai e Tavares (2012), a oferta de energia primária no mundo compõe-se de 13% de fontes renováveis e 87% não renováveis. A distribuição relativa dessas fontes é apresentada na Figura 2. Pode-se observar o predomínio do petróleo, carvão mineral e do gás natural como principais fontes energéticas utilizadas no mundo.

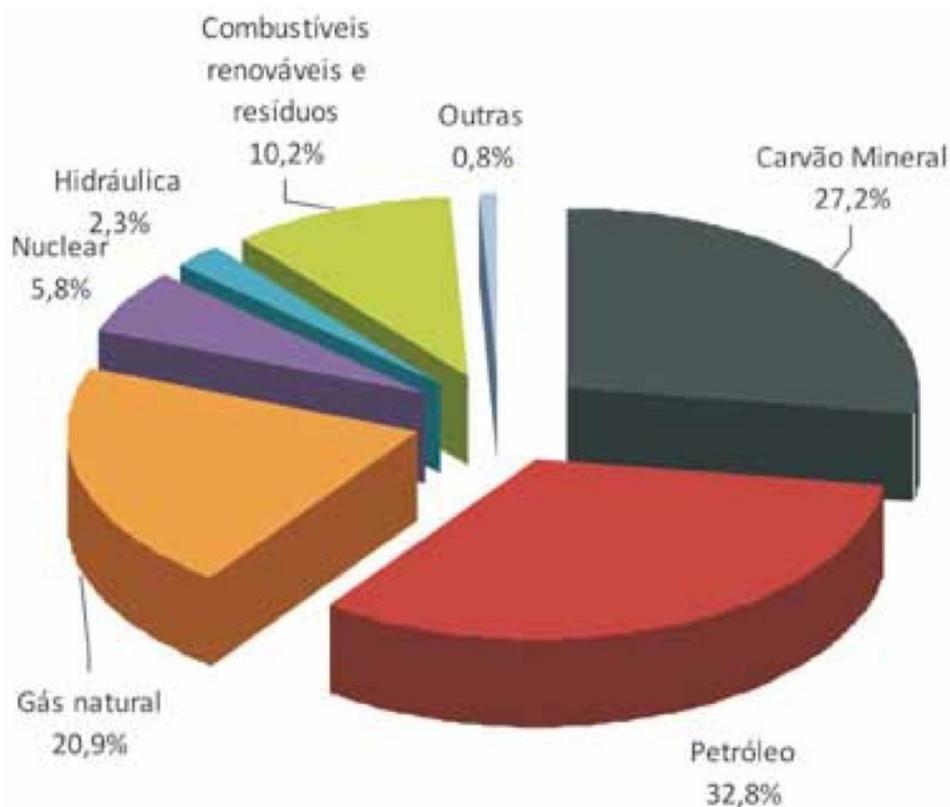


Figura 2 - Oferta primária de energia no mundo no ano de 2009. (UCZAI; TAVARES, 2012)

Entre as fontes renováveis, a principal refere-se a combustíveis e resíduos (biomassa), que corresponde a cerca de 10% das fontes primárias. Nessa categoria, cerca de 67% corresponde à utilização de lenha para aquecimento e cocção de alimentos nas residências dos países em desenvolvimento, uso caracterizado por baixa eficiência (UCZAI; TAVARES, 2012).

Em se tratando de geração de energia elétrica, as energia renováveis correspondem cerca de 20% da matriz energética global. A participação de cada uma das fontes na produção de eletricidade é apresentada na Figura 3. Pode-se observar que o petróleo possui uma pequena parcela na geração de energia elétrica, aproximadamente seis vezes menor que a participação na matriz energética, enquanto que o carvão mineral e o gás natural são as fontes mais utilizadas, correspondendo juntas a mais de 60% da geração de energia elétrica. Dentre as fontes renováveis destaca-se a energia hidráulica, sendo cerca de cinco vezes maior que a participação de todas as outras fontes renováveis juntas.

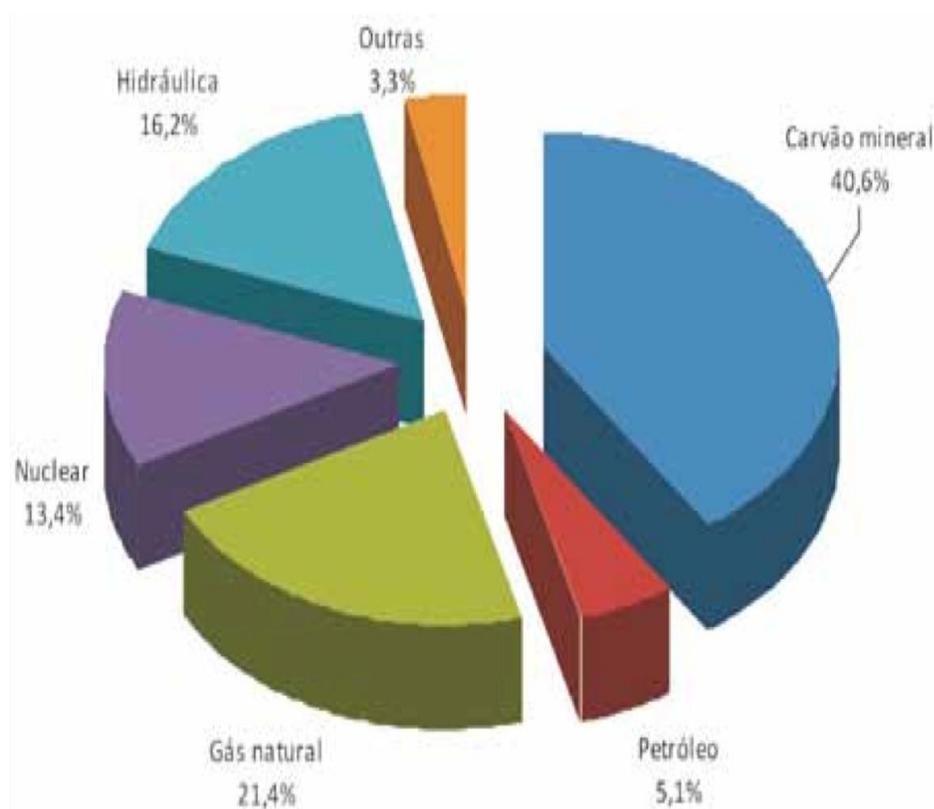


Figura 3 - Geração de energia elétrica no mundo no ano de 2009. (UCZAI; TAVARES, 2012)

Esse quadro de predomínio dos combustíveis fósseis na matriz energética mundial fez surgir duas preocupações principais, especialmente entre os países mais desenvolvidos. São elas as questões relacionadas à segurança energética e à mitigação das mudanças climáticas, que serão abordadas a seguir.

## 2.4 PROBLEMÁTICAS

### 2.4.1 SEGURANÇA ENERGÉTICA

O termo segurança energética se refere, usualmente, à segurança do abastecimento da energia necessária ao desenvolvimento econômico e ao bem estar de um país ou região. Essa segurança se manifesta em várias dimensões e pode ser analisada sob a perspectiva de cada uma delas. Sob uma visão econômica, segurança energética significa ter acesso à energia

demandada em quantidade suficiente e a um preço considerável. Em termos físicos, está associada à interrupção física do fornecimento de energia (BICALHO, 2012).

É preciso levar em consideração que as maiores reservas de combustíveis fósseis e os locais com potencial para geração de energia na maioria dos casos não estão localizados nos maiores centros consumidores. A energia gerada em Itaipu abastece os grandes centros nacionais como São Paulo e Rio de Janeiro localizados a mais de 1.000 km. Outro exemplo é o gasoduto Brasil - Bolívia que transporta gás natural pelos seus mais de 3.000 km de extensão.

Como discutido, o desenvolvimento de um país está intimamente ligado ao consumo de energia, logo não ter acesso às fontes de energia implica uma maior vulnerabilidade do país aos impactos econômicos negativos causados pelos choques de preços. Assim, observa-se que as principais economias mundiais são fortemente dependentes da importação de energia, como mostrado na Tabela 1, o que torna suas economias mais expostas a problemas relacionados à segurança energética.

Tabela 1 - Dependência externa de energia. (UCZAI; TAVARES, 2012)

País	Produção de Energia (MTep <sup>1</sup> )	Importação de Energia (MTep)	Participação das Importações
Itália	27	141	84%
Japão	94	384	80%
Espanha	30	111	78%
Alemanha	127	203	62%
França	130	134	51%
Estados Unidos	1.686	559	25%
Reino Unido	159	55	26%

<sup>1</sup> MTep: milhões de toneladas equivalentes de petróleo.

Os recursos energéticos renováveis configuram-se como ótimos fatores de segurança para os países, uma vez que são melhores distribuídos no globo terrestre e podem ser utilizados na produção de energia local. A diversificação da matriz elétrica através da produção a partir de energia renovável pode contribuir para minimizar a exposição causada por essa dependência externa de energia.

## 2.4.2 QUESTÕES AMBIENTAIS

Combustíveis fósseis, como petróleo, gás e carvão pode causar sérios problemas ambientais. A queima destes recursos energéticos libera uma série de substâncias químicas no ar, tais como dióxido de carbono, óxido nítrico, metais pesados, dióxido de enxofre, entre outros.

Estes elementos químicos podem reagir com outras substâncias presentes na atmosfera e conduzir à liberação de ácido nítrico, carbônico e sulfúrico no meio ambiente, ocasionando a chuva ácida. Nas décadas de 1970 e 1980, na cidade de Cubatão (litoral de São Paulo) a chuva ácida causou muitos danos ao meio ambiente e aos moradores. Os ácidos poluentes lançados no ar causaram muitos problemas de saúde na população da cidade. Foram relatados casos de crianças que nasciam sem cérebro ou com outros problemas físicos. A chuva ácida também causou desmatamentos significativos na Mata Atlântica na região da Serra do Mar (JORNAL LIVRE, 2012).

Outro problema que pode ser destacado é sua contribuição para o efeito estufa. Alguns dos elementos químicos que são liberados pela queima de combustíveis fósseis têm sido relacionados com a mudança climática. Ao alterar a proporção de dióxido de carbono na atmosfera, a utilização de combustíveis fósseis altera a forma que o calor é absorvido e armazenado na atmosfera. Isso pode levar a mudanças no clima, afetando os padrões climáticos e do nível do mar (AG ENERGY, 2012).

Elementos químicos tóxicos também podem ser liberados nesse processo, como o chumbo, monóxido de carbono, ozônio, etc.. Tais elementos causam graves efeitos na saúde dos seres vivos, como doenças respiratórias, danos cerebrais e aumento do risco de câncer, dentre outros.

Além do processo de queima, a produção e transporte de combustíveis de origem fóssil também podem gerar danos ambientais, especialmente em casos de acidentes como derramamento de petróleo nos oceanos, como foi o caso de vazamento de óleo na baía de Guanabara, no dia 18 de janeiro de 2000. Devido a um problema originado em uma das tubulações da Refinaria Duque de Caxias (REDUC), foi lançado, cerca de 1,3 milhão de litros de óleo cru na Baía de Guanabara. A mancha de óleo se estendeu por uma faixa superior a 50

quilômetros quadrados, atingindo o manguezal da área de proteção ambiental de Guapimirim, praias banhadas pela Baía de Guanabara, inúmeras espécies da fauna e flora, além de provocar graves prejuízos de ordem social e econômica a população local. (SANTOS, 2005).

Não é dada muita importância à questão da energia nuclear como fonte convencional no Brasil, pois sua participação na matriz energética nacional ainda é muito pequena e a previsão de expansão não é significativa. Esta energia está associada a grandes riscos ambientais relacionados à disposição do resíduo nuclear e a riscos de falha da unidade geradora causando desastres ambientais, como o acidente à usina nuclear de Chernobyl, no ano de 1986. Com o ocorrido, a usina liberou uma quantidade letal de material radioativo que contaminou uma extensa região atmosférica. Em termos comparativos, o material radioativo disseminado naquela ocasião foi quatrocentas vezes maior que o das bombas utilizadas no bombardeio às cidades de Hiroshima e Nagasaki, no fim da Segunda Guerra Mundial.

## **2.5 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

O termo “Desenvolvimento Sustentável” foi popularizado por meio do relatório “Nosso Futuro Comum” (Our Common Future), conhecido como Relatório Brundtland. Publicado em 1987, pela Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (World Commission on Environment and Development), esse documento estabeleceu a definição clássica para o desenvolvimento sustentável como sendo “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”, e evidenciou a necessidade de cooperação internacional para se resolver os problemas de meio ambiente e desenvolvimento (RIO+20, 2012).

A aceitação do relatório pela Assembleia Geral da ONU deu ao termo relevância política e, em 1992, na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, a Rio 92, os chefes de Estado presentes enfatizaram o problema de gerenciamento coletivo de sistemas naturais em escala global. A partir dali buscava-se elaborar conceitualmente um novo paradigma no tratamento da questão ambiental em conjunto com o desenvolvimento econômico e o progresso social, sustentado pelo conceito de desenvolvimento sustentável (RIO+20, 2012).

O desenvolvimento sustentável possui três pilares principais, que são o desenvolvimento econômico, a equidade social e a proteção ambiental (RIO+20, 2012). Esses pilares foram cruciais para que inúmeros avanços e mudanças fossem introduzidos em um dos segmentos mais dinâmicos e estratégicos da economia: o setor energético. Nota-se que, a partir desses conceitos, é essencial o uso de fontes alternativas de energia para a obtenção do desenvolvimento sustentável, já que os recursos fósseis não apresentam as características ideais para se encaixarem nessa definição, já que causam grandes impactos ao meio ambiente.

Considerando a importância crescente da energia para o bem estar da população e para a continuidade das atividades econômicas, o acesso a fontes energéticas de qualidade e confiáveis é essencial para a redução da pobreza e elevação dos níveis de bem-estar. A utilização de fontes renováveis para a universalização do acesso à energia apresenta diversos benefícios econômicos e sociais. O custo da energia assim obtida pode ser inferior à energia originada dos combustíveis fósseis. Áreas rurais mais distantes podem ser energeticamente supridas de forma mais competitiva utilizando-se as fontes limpas. Além disso, as energias renováveis são melhores quanto à criação de novos empregos, quando comparadas às fontes fósseis, possibilitando criar aproximadamente quatro vezes mais empregos (UCZAI; TAVARES, 2012).

Pode-se perceber que as fontes alternativas podem contribuir para o desenvolvimento social e econômico, acesso à energia, segurança energética, mitigação das mudanças climáticas e redução de problemas ambientais e de saúde causados pela poluição do ar, alcançando, assim, todas as dimensões do desenvolvimento sustentável.

## **3 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO**

### **3.1 RESUMO HISTÓRICO**

O contexto histórico brasileiro pode ser dividido em períodos, na disposição de linha do tempo, de forma a possibilitar um entendimento da evolução da energia elétrica no Brasil, como sugere Aumiller (2010):

#### **Implantação da Regulamentação do uso da energia elétrica (1903 - 1927)**

1903 - O primeiro texto regulatório do uso da eletricidade no país foi aprovado pelo Congresso Nacional.

1908 - Entrou em funcionamento a hidrelétrica Fontes Velha (SC), a maior usina do Brasil e uma das maiores do mundo na época, com 24 MW de capacidade.

1913 - Início da operação da hidrelétrica Delmiro Gouveia (AL), a primeira usina construída no Nordeste.

#### **Regulamentação (1934 - 1945)**

1934 - Foi estabelecido o Código de Águas pelo presidente Getúlio Vargas, que garantiu ao Poder Público a possibilidade de controlar as concessionárias de energia elétrica.

1939 - Criação do Conselho Nacional de Águas e Energia - CNAE para resolver questões tarifárias, regulatórias e de oferta do setor elétrico no país.

1941 - Foi regulamentado o "custo histórico" para o cálculo tarifário da eletricidade, estabelecendo uma taxa de retorno de até 10% aos investidores.

1945 - Em 1945, foi criada a primeira companhia elétrica federal, a Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF).

### **Expansão (1953 - 1961)**

1952 - O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (BNDE) foi criado, sendo responsável pelas áreas de energia e transporte.

1954 - Foi construída a primeira usina hidrelétrica, Paulo Afonso I, e a primeira termoelétrica, a base de óleo diesel.

1957 - Foi criada a Central Elétrica de Furnas (Furnas S.A), com o objetivo de explorar o potencial hídrico do Rio Grande (MG), para resolver o problema de falta de energia na região Sudeste.

1960 - Como parte do plano de desenvolvimento implantado pelo presidente Juscelino Kubitschek, conhecido como Plano de Metas, o Ministério de Minas e Energia (MME) foi criado.

1961 - Foi criada a Eletrobrás, a fim de regular o setor de energia elétrica no Brasil. Seus principais objetivos eram promover estudos e projetos para a construção e operação de usinas geradoras de energia, linhas de transmissão e subestações, para o fornecimento de eletricidade no país.

### **Consolidação (1962 - 1973)**

1962 - O Banco Mundial formou o Consórcio Canabira com o objetivo de desenvolver amplo estudo dos potenciais hidrelétricos e do mercado de energia elétrica na Região Sudeste.

1963 - Entrou em operação a hidrelétrica de Furnas. Maior usina do Brasil na época de sua construção, ela permitiu a interligação energética de Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo, com capacidade de 1.216 MW.

1965 - Criação do Departamento Nacional de Águas e Energia (DNAE).

1968 - O DNAE passou a ser chamado de Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). Este órgão era responsável pelo planejamento, coordenação e execução dos

estudos hidrológicos em todo o território nacional, bem como pela supervisão, fiscalização e controle dos serviços de eletricidade.

- Criada a Centrais Elétricas do Sul do Brasil S.A. - ELETROSUL na qualidade de empresa subsidiária da Eletrobrás.

- Entrou em operação a Usina Termelétrica Santa Cruz, de Furnas - Centrais Elétricas S.A, com capacidade de 766 MW.

1973 - Como consequência do acordo internacional assinado entre Brasil e Paraguai, que regulamenta a construção e operação de um plano de energia hidrelétrica no rio Paraná (que atravessa os dois países), foi criada a Itaipu Binacional.

- Foi criada a Nuclebrás, para o desenvolvimento do programa de energia nuclear.

### **Estatização (1975 - 1986)**

1978 - A Eletrobrás adquire o controle acionário do grupo Light por US\$ 380 milhões, nacionalizando seus serviços.

1979 - Início das operações da usina hidrelétrica Sobradinho (BA), com o aproveitamento do maior reservatório do país que regulariza a vazão do rio São Francisco, com capacidade de 1.050 MW.

1982 - Inauguração oficial da maior hidrelétrica do mundo à época, a Usina de Itaipu, pelos presidentes do Brasil (João Figueiredo) e do Paraguai (Alfredo Stroessner), com a abertura das 14 comportas do vertedouro.

- o Ministério de Minas e Energia (MME) criou o Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos (GCPS)

1984 - Foi concluída a primeira parte do sistema de transmissão Norte-Nordeste, permitindo a transmissão de energia da bacia amazônica para a região Nordeste. Também neste ano, a

Hidrelétrica de Itaipu entrou em operação, sendo a maior usina hidrelétrica no momento, com 12.600.000 MW de capacidade instalada.

1985 – Constituído o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), com o objetivo de incentivar a racionalização do uso da energia elétrica.

1986 - Começou a funcionar o sistema de transmissão Sul-Sudeste, transportando energia elétrica de Itaipu para a Região Sudeste.

### **Privatização (1988 - 1999)**

1988 – Criada a Revisão Institucional de Energia Elétrica (REVISE), marcando o início das modificações feitas no setor de energia elétrica durante a década de 1990.

1990 - Foi aprovada a Lei nº 8.031, criando o Programa Nacional de Desestatização – PND, incluindo o setor elétrico.

- Criado o Sistema Nacional de Transmissão de Energia Elétrica (SINTREL) para viabilizar a competição na geração, distribuição e comercialização de energia.

1995 - As empresas controladas pela Eletrobrás foram incluídas no PND, permitindo a privatização das empresas de geração e distribuição.

- Realizado o leilão de privatização da Escelsa. Dessa forma, deu-se início a uma nova fase no setor elétrico brasileiro.

1997 - o novo órgão regulador do setor foi criado, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), substituindo o DNAEE.

1998 - O Mercado Atacadista de Energia (MAE) foi estabelecido, consolidando as diferenças entre as atividades de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica. As regras para a criação do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) foram estabelecidas, a fim de substituir as normas do Grupo Coordenador para Operação Interligada (GCOI). Neste ano, a reforma do sistema elétrico, com a implementação de um novo modelo, foi iniciada.

## Recente

2000 - Lançado o Programa Prioritário de Termoelectricidade, com o objetivo de implantar diversas usinas a gás natural, para atender a crescente demanda de eletricidade.

- Foi instituído, no mês de agosto, pela Lei no 9.478, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), com a atribuição de formular e propor ao presidente da República as diretrizes da política energética nacional.

2001 - O País passou por sua maior crise de energia elétrica, devido às condições hidrológicas extremamente desfavoráveis nas regiões Sudeste e Nordeste. Devido à gravidade das circunstâncias, o governo federal criou a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica, com o objetivo de propor e implementar medidas de natureza emergencial para compatibilizar a demanda e a oferta de energia elétrica, de forma a evitar interrupções no fornecimento de energia elétrica. Em junho, foi decretado o racionamento de energia elétrica no país.

- O governo criou a empresa Comercializadora Brasileira de Energia Emergencial (CBEE) para realizar a contratação das térmicas emergenciais.

2002 - Um ano depois de uma grave crise de abastecimento, que culminou em um plano de racionamento, foi criado o Comitê de Revitalização do Modelo do Setor Elétrico.

2003 - O Governo Federal lançou em novembro o programa Luz Para Todos, objetivando levar, até 2008, energia elétrica aos 12 milhões de brasileiros que não possuíam acesso ao serviço. Deste total, 10 milhões habitavam áreas rurais.

2004 - Foi instituído o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN). O intuito foi promover a diversificação da Matriz Energética Brasileira, buscando alternativas para aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica, além de permitir a valorização das características e potencialidades regionais e locais.

- Criada a EPE (Empresa de Pesquisa Energética), instituição que avalia permanentemente a segurança do suprimento de energia elétrica.

- Criados: a CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica), o CMSE (Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico) e o CGISE (Comitê de Gestão Integrada de Empreendimentos de Geração do Setor Elétrico).

- Foram aprovadas as leis 10.847 e 10.848, que reformularam as bases da regulação do setor elétrico brasileiro. As leis instituíram o mercado de leilões de energia e contratos de longo prazo.

### **3.2 SITUAÇÃO ATUAL**

Desde 1995, o Governo Federal adotou inúmeras medidas para reformar o Setor Elétrico Brasileiro. O novo modelo para o Setor Elétrico Brasileiro foi instituído através das Leis nº 10.847 e 10.848, de 15 de março de 2004, com o objetivo final de oferecer aos consumidores um abastecimento seguro de energia elétrica a uma tarifa adequada.

Em termos institucionais, o novo modelo definiu a criação de uma entidade responsável pelo planejamento do setor elétrico a longo prazo, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE); uma instituição com a função de avaliar permanentemente a segurança do suprimento de energia elétrica, o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE); e uma instituição para dar continuidade às atividades do Mercado Atacadista de Energia (MAE), relativas à comercialização de energia elétrica no Sistema Interligado, a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Outras alterações importantes incluem a definição do exercício do Poder Concedente ao Ministério de Minas e Energia (MME) e a ampliação da autonomia do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (NEOENERGIA, 2012).

Quanto à comercialização de energia, foram instituídos dois ambientes para celebrar contratos de compra e venda: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR), que prevê a compra pelas distribuidoras, por meio de leilões, de toda a energia elétrica que for necessária para fornecimento a seus consumidores; e o Ambiente de Contratação Livre (ACL), que compreende a compra de energia elétrica por agentes não regulados (como Consumidores

Livres e comercializadores de energia elétrica) (COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ - CPFL, 2012).

No ambiente de contratação regulada, objeto de estudo para este trabalho já que a energia eólica não participa do ACL, as distribuidoras compram suas necessidades projetadas de energia elétrica para distribuição a seus consumidores cativos de geradoras por meio de leilões públicos. Os leilões são coordenados pela ANEEL, direta ou indiretamente, por intermédio da CCEE. As compras de energia elétrica são realizadas por meio de dois tipos de contratos bilaterais: Contratos de Quantidade de Energia e Contratos de Disponibilidade de Energia. Nos termos dos Contratos de Quantidade de Energia, a unidade geradora compromete-se a fornecer certa quantidade de energia elétrica e assume o risco de o fornecimento de energia elétrica ser, porventura, prejudicado por condições ambientais não favoráveis, entre outras condições, que poderiam interromper o fornecimento de energia elétrica, caso em que a unidade geradora ficará obrigada a comprar a energia elétrica de outra fonte para atender seus compromissos de fornecimento. Nos termos dos Contratos de Disponibilidade de Energia, a unidade geradora compromete-se a disponibilizar certa capacidade ao ambiente de contratação regulada. Neste caso, a receita da unidade geradora está garantida e as distribuidoras em conjunto enfrentam os riscos. Em conjunto, esses contratos constituem os Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado, ou CCEAR. De acordo com a Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico, as distribuidoras de energia elétrica terão direito de repassar a seus respectivos consumidores os custos relacionados à energia elétrica por elas adquirida por meio de leilões públicos, bem como quaisquer impostos e encargos do setor (CPFL, 2012).

As geradoras e distribuidoras devem apresentar suas demandas de geração ou demandas de energia elétrica estimadas para os cinco anos subsequentes até 1º de agosto de cada ano. Cada agente de distribuição deverá notificar o MME, até sessenta dias antes de cada leilão de energia, os montantes de energia que deverá contratar nos leilões. Com base nessas informações, o MME estabelece o valor total de energia elétrica a ser comercializado no leilão e define as empresas de geração que poderão participar do leilão (CPFL, 2012).

Os leilões são do tipo reverso, nos quais os lances são sempre menores que o anterior. Um preço-teto é definido pelo governo antes do início dos leilões e as unidades geradoras participantes competem entre si para vender a energia gerada pelo menor preço, medido em

R\$/MWh, com a finalidade de oferecer o menor custo possível para o consumidor final. Tais leilões podem ser divididos em duas categorias principais: leilões de energia existente e leilões de energia nova. Os leilões de energia existente são destinados a venda de energia de empreendimentos de geração existentes. Nesta categoria enquadram-se os leilões do tipo "A-1", com contratos de 5 a 15 anos de duração e entrega de energia um ano após a realização do leilão; e "Ajuste", com contratos de até dois anos de duração e entrega da energia no mesmo ano da realização do leilão. Já os leilões de energia nova são destinados à venda de energia de novos projetos de geração em construção ou que serão construídos. Nesta categoria enquadram-se os leilões do tipo "A-5", com contratos entre 15 e 30 anos de duração e entrada em operação em 5 anos após o leilão; "A-3", com contratos entre 15 e 30 anos de duração e entrada em operação em 3 anos após o leilão; "LFA" (Leilão de Fontes Alternativas), com contratos de 15 a 30 anos de duração e entrada de operação em 3 anos após o leilão; e "LER" (Leilão de Energia de Reserva), com contratos de 15 a 30 anos de duração e entrada em operação em 3 anos após o leilão (INSTITUTO ACENDE BRASIL - IAB, 2012).

Após a conclusão do leilão, geradoras e distribuidoras firmam o CCEAR, no qual as partes estabelecem o preço e a quantidade de energia contratados no leilão. Grande parte de nossos CCEARs estabelece que o preço seja corrigido anualmente pela variação do IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo, calculado e publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE), e outros indicadores, como preço de combustíveis. As distribuidoras oferecem garantias financeiras para as geradoras (principalmente valores a receber do serviço de distribuição) a fim de garantir suas obrigações de pagamento nos termos do CCEAR (CPFL, 2012).

Este modelo de comercialização de energia ocorre desde 2005. A CCEE realizou, desde então, 18 leilões para novos projetos de geração, de diversas modalidades, e 19 leilões de energia existente. O histórico da contratação anual de energia elétrica por tecnologia e combustível no mercado regulado pode ser observado na Figura 4.

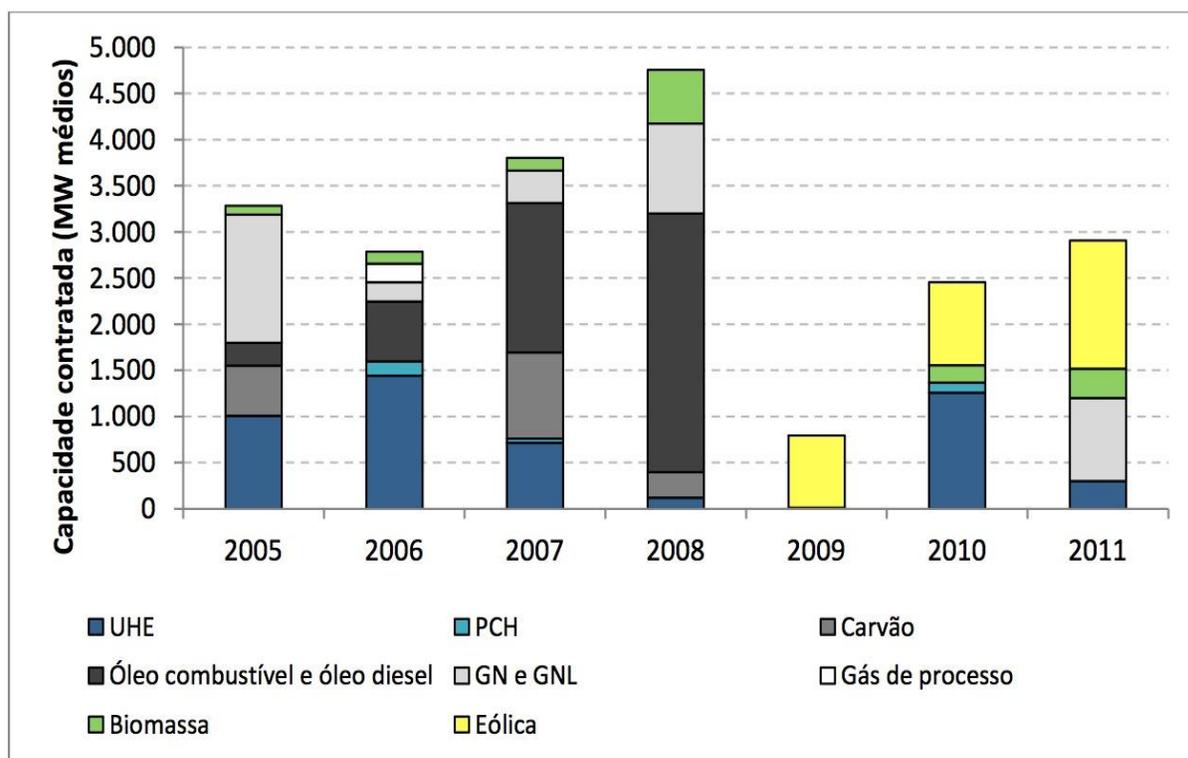
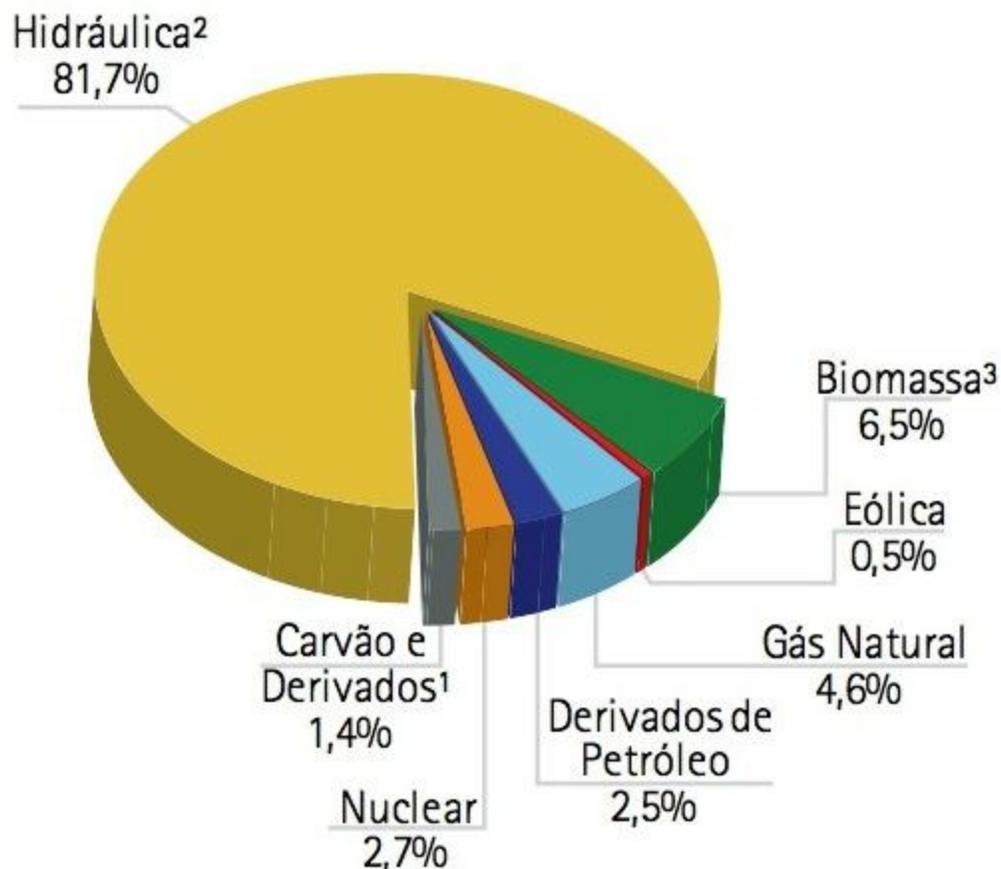


Figura 4 - Contratação anual de energia elétrica por fonte nos leilões de energia. (SIMAS, 2012)

### 3.3 MATRIZ DE ENERGIA ELÉTRICA

Matriz energética é toda energia disponibilizada para ser transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos. É uma representação quantitativa da oferta de energia, ou seja, da quantidade de recursos energéticos oferecidos por um país ou por uma região. Devido a sua riqueza em recursos naturais, a matriz de energia elétrica brasileira é essencialmente baseada nas fontes renováveis, como a hidráulica, biomassa e eólica. Segundo a EPE (2012c), a participação de fontes renováveis de produção de eletricidade na matriz elétrica do Brasil chegou a 88,8% em 2011, um aumento de 2,5% em relação a 2010. Como se pode observar, a geração de energia no sistema brasileiro caracteriza-se pela predominância da energia hidráulica, que corresponde a 81,7%, incluindo as Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCH's (Potência instalada de 1 a 30 MW) e as Centrais Geradoras Hidrelétricas - CGH's (Potência instalada até 1 MW). A Figura 5 apresenta a matriz energética elétrica brasileira.



[1] Inclui gás de coqueira

[2] Inclui importação

[3] Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações

Figura 5 - Matriz de energia elétrica brasileira. (EPE, 2012b)

Com o crescimento da participação renovável na matriz elétrica nacional em 2011, o Brasil amplia ainda mais sua posição de liderança em geração de energia limpa se comparado ao conjunto das demais nações do mundo e aos países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), majoritariamente desenvolvidos. Como o governo brasileiro destacou na Figura 6, a participação média de energias renováveis na matriz energética elétrica mundial é de 19,5%. Já entre os países membros da OCDE, esta participação é ainda menor, chegando a 18,3%.

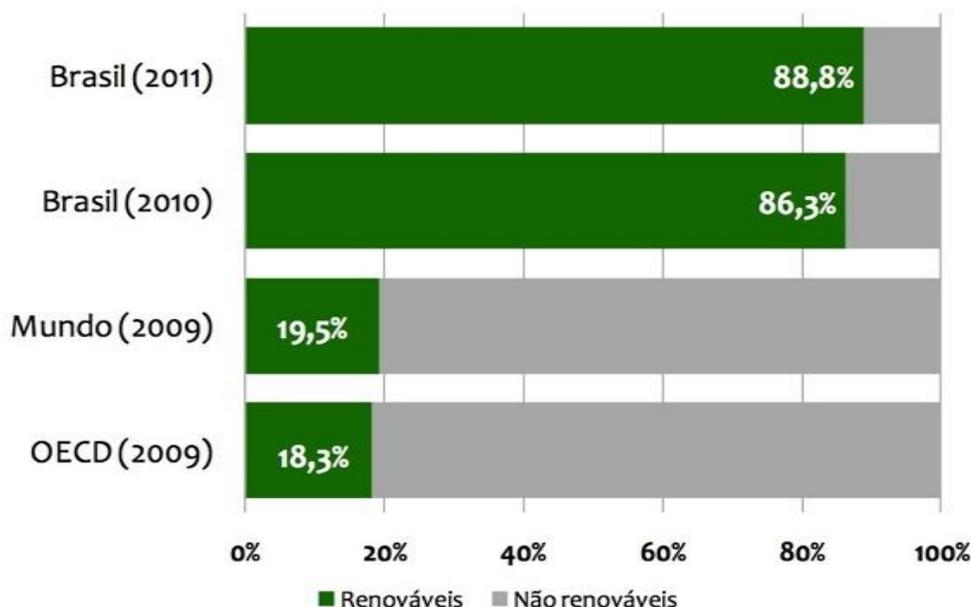


Figura 6 - Participação das energias renováveis na matriz elétrica nacional e mundial. (EPE, 2012b)

Possuir uma única fonte de energia representando mais de 80% da matriz de energia elétrica traduz-se como uma grande vulnerabilidade do sistema elétrico brasileiro. A geração hidrelétrica está intimamente ligada ao regime de chuvas e, em períodos nos quais as condições hidrológicas não são favoráveis, tal tipo de geração pode não ser suficiente para atender à demanda.

Nesse sentido, torna-se necessário diversificar a matriz energética, complementando as necessidades energéticas com a geração a partir de outras fontes. Dado que o Brasil possui grande potencial de fontes alternativas para a geração de energia elétrica, o governo federal tem priorizado, recentemente, essas fontes alternativas em seus estudos de planejamento e expansão energética para o país. Um desses estudos será apresentado no próximo item.

### 3.4 PLANO DE EXPANSÃO

Através do Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 (PDE), o Ministério de Minas e Energia publicou uma visão integrada da expansão da demanda e da oferta de fontes energéticas num período de dez anos, o qual compreende de 2011 a 2020. As políticas e diretrizes, estabelecidas pelo Conselho Nacional de Política Energética, visam ao desenvolvimento nacional equilibrado da oferta energética, com sustentabilidade técnica,

econômica e socioambiental. O planejamento decenal constitui-se, portanto, em instrumento essencial para apoiar o crescimento econômico sustentável, visto que a expansão do investimento produtivo requer oferta de energia com qualidade, segurança e modicidade tarifária.

Com o crescimento econômico e populacional previsto, são evidentes os desafios do setor energético. A capacidade instalada de nosso parque gerador de energia elétrica deverá crescer 56% na próxima década, representando um aumento aproximado de 6.000 MW anuais. O Sistema Interligado Nacional, responsável pelo escoamento de toda essa energia, deverá crescer 43%, alcançando 142 mil quilômetros de linhas de transmissão (EPE, 2011).

Para fazer frente ao seu crescimento econômico, o Brasil dispõe de grande potencial de energéticos, com destaque para as fontes renováveis de energia (as grandes e pequenas centrais hidrelétricas, as usinas eólicas e as usinas movidas a biomassa). A principal diretriz deste Plano foi a priorização da participação destas fontes renováveis para atender ao crescimento do consumo de energia elétrica no horizonte decenal.

A evolução da capacidade instalada para diferentes fontes de geração ao longo do período de estudo é apresentada nas Tabelas 2 e 3. Conforme apresentado nas premissas deste estudo, observa-se a priorização das usinas hidrelétricas e das fontes alternativas no horizonte de planejamento.

Tabela 2 - Evolução da capacidade instalada por fonte de geração (MW)

FONTE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
HIDRO <sup>(a)</sup>	82.939	84.736	86.741	88.966	89.856	94.053	98.946	104.415	109.412	111.624	115.123
URÂNIO	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	3.412	3.412	3.412	3.412	3.412
GÁS NATURAL	9.180	9.384	10.184	11.309	11.309	11.659	11.659	11.659	11.659	11.659	11.659
CARVÃO	1.765	2.485	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205
ÓLEO COMBUSTÍVEL	2.371	3.744	5.172	8.790	8.790	8.790	8.790	8.790	8.790	8.790	8.790
ÓLEO DIESEL	1.497	1.497	1.471	1.471	1.471	1.121	1.121	1.121	1.121	1.121	1.121
GÁS DE PROCESSO	686	686	686	686	686	686	686	686	686	686	686
PCH	3.806	4.201	4.230	4.376	4.633	4.957	5.187	5.457	5.737	6.047	6.447
BIOMASSA	4.496	5.444	6.272	6.681	7.053	7.353	7.653	8.003	8.333	8.703	9.163
EÓLICA	831	1.283	3.224	5.272	6.172	7.022	7.782	8.682	9.532	10.532	11.532
<b>TOTAL<sup>(b)</sup></b>	<b>109.578</b>	<b>115.467</b>	<b>123.192</b>	<b>132.763</b>	<b>135.182</b>	<b>140.853</b>	<b>148.441</b>	<b>155.430</b>	<b>161.887</b>	<b>165.779</b>	<b>171.138</b>

a) Inclui estimativa de importação da UHE Itaipu não consumida pelo Paraguai.

b) Não considera a autoprodução, que para estudos energéticos é representada como abatimento de carga.

Tabela 3 - Evolução da capacidade instalada por fonte de geração (%)

FONTE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
HIDRO <sup>(a)</sup>	75,7%	73,4%	70,4%	67,0%	66,5%	66,8%	66,7%	67,2%	67,6%	67,3%	67,3%
URÂNIO	1,8%	1,7%	1,6%	1,5%	1,5%	1,4%	2,3%	2,2%	2,1%	2,1%	2,0%
GÁS NATURAL	8,4%	8,1%	8,3%	8,5%	8,4%	8,3%	7,9%	7,5%	7,2%	7,0%	6,8%
CARVÃO	1,6%	2,2%	2,6%	2,4%	2,4%	2,3%	2,2%	2,1%	2,0%	1,9%	1,9%
ÓLEO COMBUSTÍVEL	2,2%	3,2%	4,2%	6,6%	6,5%	6,2%	5,9%	5,7%	5,4%	5,3%	5,1%
ÓLEO DIESEL	1,4%	1,3%	1,2%	1,1%	1,1%	0,8%	0,8%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%
GÁS DE PROCESSO	0,6%	0,6%	0,6%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%
PCH	3,5%	3,6%	3,4%	3,3%	3,4%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,6%	3,8%
BIOMASSA	4,1%	4,7%	5,1%	5,0%	5,2%	5,2%	5,2%	5,1%	5,1%	5,2%	5,4%
EÓLICA	0,8%	1,1%	2,6%	4,0%	4,6%	5,0%	5,2%	5,6%	5,9%	6,4%	6,7%
<b>TOTAL<sup>(b)</sup></b>	<b>100,0%</b>										

O destaque nesse plano de expansão é a energia eólica. O plano prevê para esta fonte o maior crescimento entre as fontes de energia estudadas, o qual atingirá 6,7% de participação na matriz de energia elétrica brasileira no final de 2020. Há de se ressaltar, no entanto, que

este plano apenas define um cenário de referência, que tem como propósito de servir como instrumento para a tomada de decisões dos participantes no mercado de energia, não assegurando, portanto, a concretização da expansão planejada.

Os próximos capítulos objetos de estudo têm como objetivo apresentar a energia eólica, sua situação mundial e nacional, e analisar se suas perspectivas futuras são favoráveis para garantir uma expansão forte e significativa como esta apresentada.

## 4 ENERGIA EÓLICA

### 4.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade, ou cataventos (e moinhos), para trabalhos mecânicos como bombeamento d'água e moagem de cereais. Especificamente para fins deste trabalho, o interesse principal é a sua utilização como fonte geradora de energia elétrica.

O vento é um recurso natural renovável, gratuito, que não polui o ambiente e que se encontra disponível em todos os lugares. Um fato interessante é que a energia eólica provém da energia solar, uma vez que os ventos se formam em decorrência do aquecimento não uniforme da atmosfera que envolve o planeta Terra, e que este aquecimento é causado pela radiação solar. Em consequência deste aquecimento, temos a diminuição da densidade das massas de ar, que as fazem subir nas camadas da atmosfera, causando o deslocamento de ar.

A geração dos ventos se dá em âmbito global e regional. Globalmente falando, porções da Terra que recebem os raios solares quase que perpendicularmente, o que ocorre na região dos trópicos, são mais aquecidas que as regiões polares. Como consequência, o ar quente que se encontra nas baixas altitudes das regiões tropicais tende a subir e é substituído por uma massa de ar mais frio que se desloca das regiões polares. O deslocamento dessa massa de ar quente e frio é o que determina a formação dos ventos.

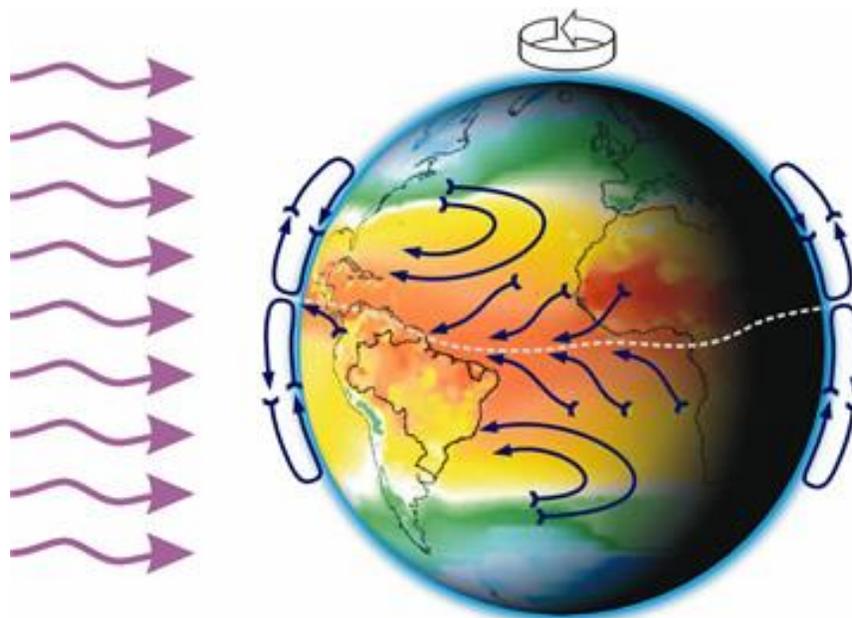


Figura 7 - Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar. (DUTRA, 2008)

Analogamente, fatores regionais podem criar condições para a formação dos ventos. O caso típico é a região costeira, onde o mar não esquenta tão rapidamente com o sol quanto a Terra, gerando uma diferença de densidade da atmosfera neste microclima, propiciando a circulação das massas de ar regionalmente.

A quantidade de energia disponível no vento varia de acordo com as estações do ano e as horas do dia. A topografia e a rugosidade do solo também têm grande influência na distribuição de frequência de ocorrência dos ventos e de sua velocidade em um local. Além disso, a quantidade de energia eólica extraível numa região depende das características de desempenho, altura de operação e espaçamento horizontal dos sistemas de conversão de energia eólica instalados. Uma estimativa da energia total disponível dos ventos ao redor do planeta pode ser feita a partir da hipótese de que, aproximadamente, 2% da energia solar absorvida pela Terra são convertidos em energia cinética dos ventos. Este percentual, embora pareça pequeno, representa centena de vezes a energia anual produzida nas centrais elétricas do mundo. Para a avaliação do potencial eólico de uma região é necessário a coleta de dados dos ventos com precisão e qualidade, capaz de fornecer um mapeamento eólico da região (DUTRA, 2008).

A variável mais importante para se fazer esse tipo de estudo é a velocidade dos ventos locais. O potencial de geração disponível é função do cubo da velocidade; se a velocidade do vento dobrar, o potencial aumenta cerca de oito vezes. Por essa razão, é o regime dos ventos o que determina se o aproveitamento da fonte eólica é atrativo ou não (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI, 2009). Atualmente, a energia eólica pode ser tecnicamente aproveitada com velocidade dos ventos a partir de 4 m/s, variando até 25 m/s por questões de segurança (GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL - GWEC, 2008).

Desde os anos 80, quando se iniciou o desenvolvimento das primeiras turbinas eólicas comerciais, esta tecnologia sofreu diversas modificações e aprimoramentos quanto a sua eficácia e configuração. O modelo de turbina mais usado no mundo nos dias de hoje é o de eixo horizontal com três pás (GWEC, 2008), que tem seu funcionamento explicado no tópico seguinte.

## **4.2 TECNOLOGIA DE APROVEITAMENTO**

### **4.2.1 TURBINAS EÓLICAS**

A transformação da energia dos ventos em energia elétrica ocorre através da utilização de equipamento eletromecânicos cujo seu componente principal é o aerogerador (turbina eólica). No início da exploração dessa fonte de energia, surgiram aerogeradores de diversas formas (eixo horizontal, eixo vertical, com apenas uma pá, com duas e três pás, gerador de indução, gerador síncrono). Com o passar do tempo, consolidou-se o projeto de turbinas eólicas com as seguintes características: eixo de rotação horizontal, três pás, alinhamento ativo, gerador de indução e estrutura não-flexível, como ilustrado na Figura 8.

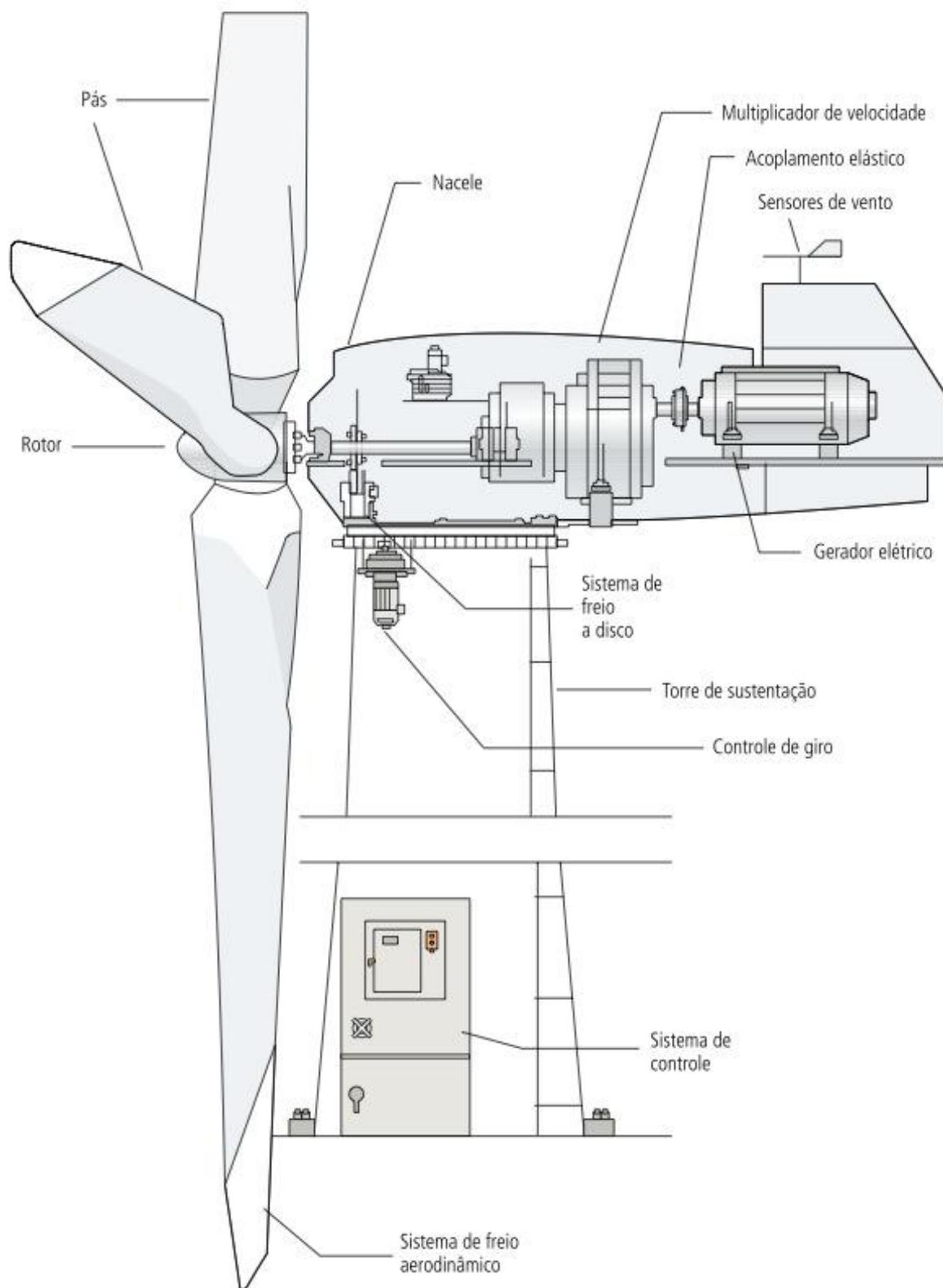


Figura 8 - Desenho esquemático de um aerogerador moderno. (ANEEL, 2005)

Segue uma descrição da função dos principais componentes:

- Pás: capturam a energia eólica e a convertem em energia rotacional no eixo;
- Eixo: transfere a energia de rotação para o gerador;
- Nacele: carcaça onde são abrigados os componentes;
- Multiplicador de velocidade: caixa de engrenagens que aumentam a velocidade de rotação entre o eixo e o gerador;
- Gerador: usa a energia rotacional para gerar eletricidade utilizando eletromagnetismo;
- Sistema de controle: monitora todo o sistema, realiza o desligamento da turbina em caso de falha e ajusta o mecanismo de alinhamento da turbina com o vento;
- Sensores de vento: alinha o rotor com a direção do vento;
- Sistema de freio a disco: em caso de falha no sistema ou sobrecarga de energia, detém a rotação do eixo;
- Torre de sustentação: Sustenta o rotor e a nacele, além de erguer todo o conjunto a uma altura onde as pás possam girar com segurança e distantes do solo.

Resumidamente, os aerogeradores apresentam hélices que se movimentam com a força dos ventos. Parte da energia cinética devido ao movimento dos ventos é transferida para as pás do rotor e se torna a energia rotacional das pás. Consequentemente, o eixo, que está acoplado às pás, gira junto com elas. A energia rotacional do eixo (que é a mesma que a das pás) é transformada em energia elétrica pelo gerador. Por fim, o transformador é responsável por distribuir externamente esta energia gerada.

Quanto à capacidade de geração elétrica, as primeiras turbinas eólicas desenvolvidas em escala comercial tinham potências nominais entre 10 kW e 50 kW. No início da década de 1990, a potência das máquinas aumentou para a faixa de 100 kW a 300 kW. Em 1995, a maioria dos fabricantes de grandes turbinas ofereciam modelos de 300 kW a 750 kW. Em 1997, foram introduzidas comercialmente as turbinas eólicas de 1 MW e 1,5 MW, iniciando a geração de máquinas de grande porte. Em 1999 surgiram as primeiras turbinas eólicas de 2 MW e hoje existem protótipos de 3,6 MW e 4,5 MW sendo testados na Espanha e Alemanha. Atualmente, existem mais de mil turbinas eólicas com potência nominal superior a 1 MW em funcionamento no mundo (ANEEL, 2005).

O rápido desenvolvimento da tecnologia e aumento capacidade de geração das turbinas eólicas comerciais no mundo durante os últimos 20 anos foi impressionante. Tanto em termos de potência, que evoluiu de cerca de 300 kW, no início dos anos 90, para cerca de 6000 kW, atualmente, tanto em dimensão, onde o diâmetro das pás do rotor já atinge hoje mais de 120 metros. No entanto, a turbina eólica moderna, mais utilizada atualmente, tem 2000 kW de potência nominal, um rotor com três pás de 80 metros de diâmetro e uma torre entre 68 e 85 metros de altura. A Figura 9 apresenta a evolução do tamanho e da potência dos aerogeradores a partir da década de 1980.

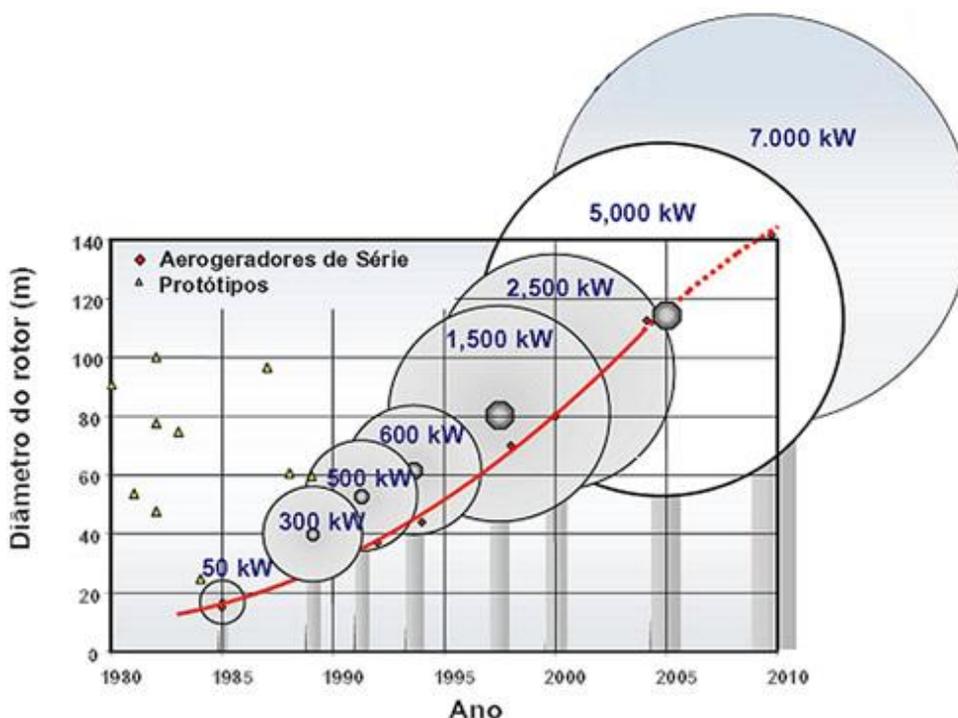


Figura 9 - Evolução do tamanho dos aerogeradores comerciais. (DUTRA, 2008)

Quanto ao porte, as turbinas eólicas podem ser classificadas da seguinte forma (Figura 10): pequenas – potência nominal menor que 500 kW; médias – potência nominal entre 500 kW e 1000 kW; e grandes – potência nominal maior que 1 MW (ANEEL, 2005).



Figura 10 - Turbinas eólicas (da esquerda para a direita: pequena, média e grande). (ANEEL, 2005)

#### **4.2.2 TIPOS DE APLICAÇÃO**

No atual estágio tecnológico em que se encontram as turbinas eólicas, o mercado oferece uma variedade de modelos, ajustados para as mais diversas condições de instalação e necessidades. Um sistema eólico pode ser utilizado em três aplicações distintas, quais sejam sistemas isolados, sistemas híbridos e sistemas interligados à rede. Os sistemas obedecem a uma configuração básica, que inclui uma unidade de controle de potência e, em determinados casos, conforme a aplicação, de uma unidade de armazenamento.

##### **Sistemas Isolados**

O termo “Sistemas Isolados”, no contexto da energia elétrica, refere-se às regiões geográficas não atendidas pelos sistemas de transmissão. Estes sistemas, em geral, utilizam alguma forma de armazenamento de energia, como por exemplo, baterias.

Os sistemas que utilizam esse tipo de armazenamento necessitam de um dispositivo para controlar a carga e a descarga da bateria. O controlador de carga tem como principal objetivo evitar danos à bateria por sobrecarga ou descarga profunda. Para alimentação de equipamentos que operam com corrente alternada (CA) é necessário a utilização de um inversor. Este sistema é usado quando se deseja utilizar eletrodomésticos convencionais (DUTRA, 2008).

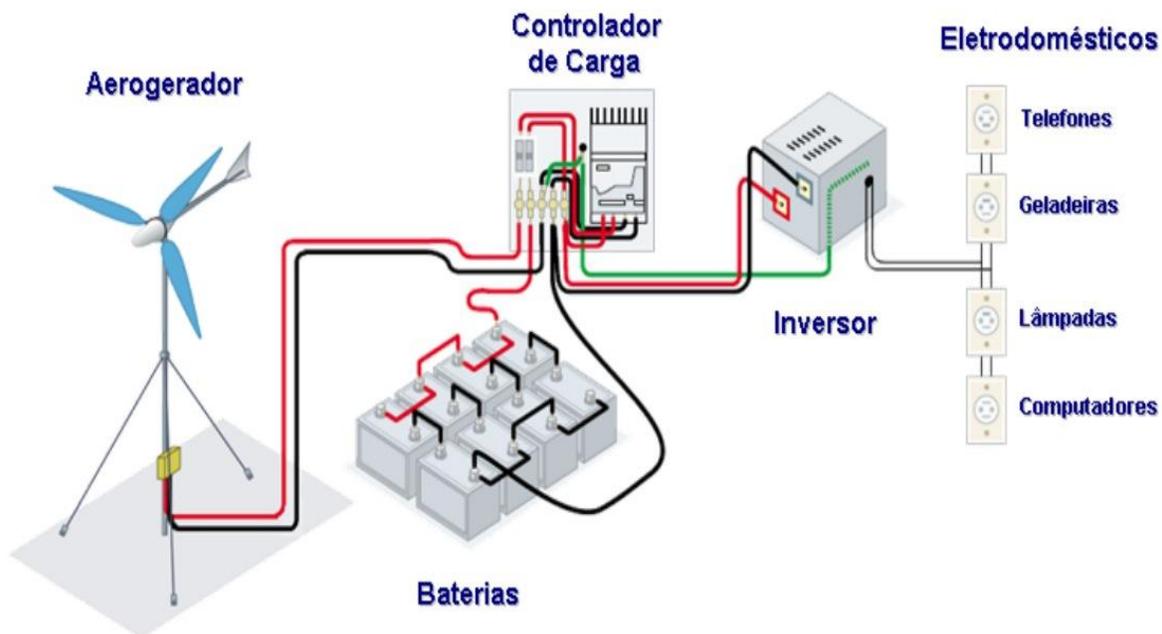


Figura 11 - Configuração de um sistema eólico isolado. (DUTRA, 2008)

### Sistemas Híbridos

Os sistemas híbridos são também sistemas isolados, porém se diferenciam quanto ao número de fontes de geração utilizadas, como a combinação de turbinas eólicas, geração à diesel, painéis fotovoltaicos, entre outros.

Por utilizar diversas formas de energia, estes sistemas são mais complexos e exigem o aprimoramento do uso de cada uma das fontes. Em geral, os sistemas híbridos são empregados em sistemas de médio a grande porte destinados a atender um número maior de usuários. Por trabalhar com cargas em corrente alternada, os sistemas híbridos também necessitam de um inversor. Devido à grande complexidade de arranjos e multiplicidade de opções, a forma de otimização do sistema torna-se um estudo particular a cada caso (DUTRA, 2008).

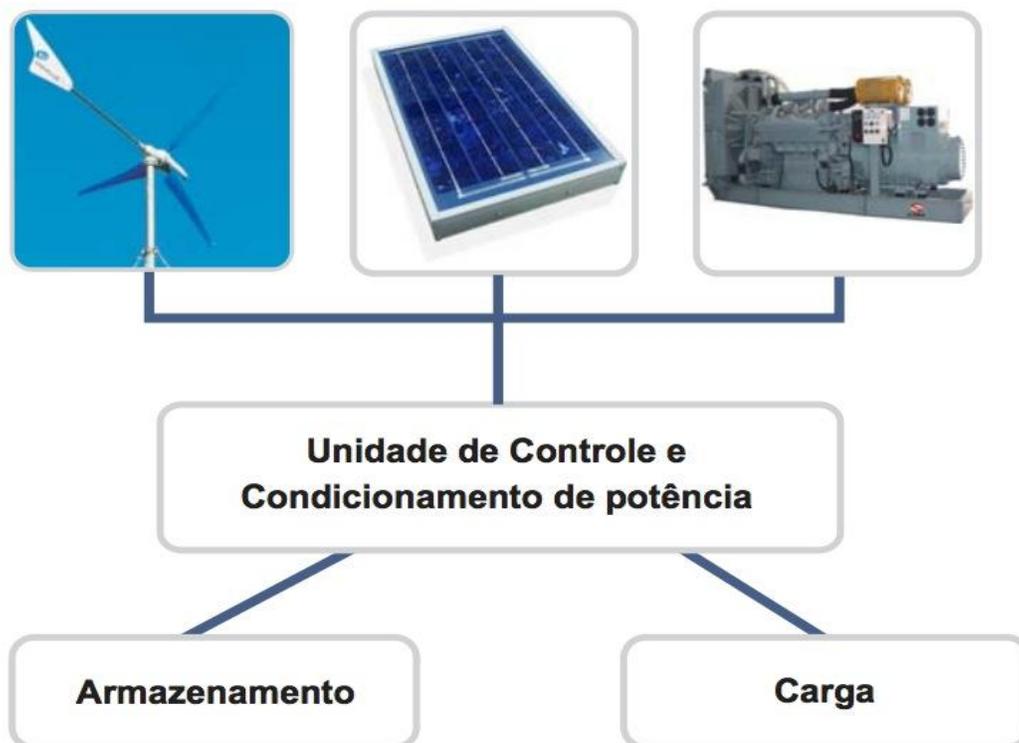


Figura 12 - Configuração de um sistema híbrido solar-eólico-diesel. (DUTRA, 2008)

### Sistemas Interligados à Rede

Os sistemas interligados à rede requerem a implantação de parques eólicos, em geral com dez a cem aerogeradores, com potência unitária de 300 a 750 kW. Nesse caso, os aerogeradores são instalados, geralmente, a 200 m uns dos outros, de forma a evitar a interferência no escoamento do vento nestes equipamentos. Uma densidade de instalação típica é 10 MW/km<sup>2</sup> (CNI, 2009). Neste caso não há necessidade de sistemas de armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue diretamente à rede elétrica. Tais sistemas podem ser instalados em terra (onshore) ou sobre o mar (offshore). Exemplos de suas instalações podem ser vistos na Figura 13 e Figura 14.



Figura 13 - Exemplo de um parque eólico onshore. (SIEMENS, 2011)

O aproveitamento da energia eólica no mar requer dispendiosas estruturas de suporte para as torres, exige sistemas submersos de transmissão de eletricidade e possui condições de construção, manutenção e operação mais restritas. Apesar de tais problemas, estas instalações apresentam a vantagem de aproveitarem ventos normalmente mais favoráveis. A velocidade média do vento pode ser 20% maior do que em terra, e a energia resultante dos parques eólicos pode ser até 70% maior (ABB, 2012).

Os sistemas offshore representam o novo caminho da utilização da energia eólica. Embora sejam instalações de maior custo e dificuldade, o número dessas instalações tem crescido no mundo todo anualmente, principalmente com o esgotamento de áreas de grande potencial eólico e/ou dificuldade de desapropriação de terra.



Figura 14 - Exemplo de um parque eólico offshore. (RENOVÁVEIS, 2011)

### 4.3 IMPACTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS

A instalação de uma usina eólica dispõe de várias vantagens quando comparada a outras fontes energéticas, como baixos impactos sociais e ambientais. A produção de energia elétrica através dos ventos não implica em emissões de gases na atmosfera, não produz resíduos, não provoca o deslocamento de populações, não há alagamentos de áreas, cidades, florestas, reduz o risco gerado pela sazonalidade hidrológica e não inviabiliza a área ocupada. As pequenas centrais podem suprir pequenas localidades distantes da rede, contribuindo para o processo de universalização do atendimento.

São criadas posições de trabalho, tanto temporárias, como permanentes. Segundo REN21 (2012), estima-se que existam 670.000 empregos relacionados à energia eólica no mundo.

Embora a área realmente ocupada pelas turbinas eólica seja pequena, a área total de uma usina eólica é extensa (aproximadamente 20 hectares por MW) devido à necessidade de uma distância mínima entre as torres, a fim evitar a perturbação causada no escoamento do vento entre uma unidade a outra. Contudo, o local ainda pode ser explorado com outras finalidades, como agricultura e pecuárias.

Aves podem colidir com as pás dos rotores, localizadas, sobretudo em suas rotas de migração. Essa causa de mortes de aves, entretanto, pode ser reduzida a um nível tolerável por meio do planejamento do futuro da geração eólica, considerando aspectos de conservação da natureza como evitar a instalação de parques eólicos em áreas importantes de habitat, evitar áreas de corredor de migração, adotar arranjo adequado das turbinas no parque eólico e utilizar sistemas de transmissão subterrâneos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2012). No caso de parques offshore, somam-se os impactos sobre a vida marinha e a pesca, embora estes também não sejam acentuados.

Existe a possibilidade de interferências eletromagnéticas quando as turbinas eólicas são instaladas entre os receptores e transmissores de sistemas de comunicação e transmissão de dados (ANEEL, 2005). As pás das turbinas podem refletir parte da radiação eletromagnética em uma direção, tal que a onda refletida interfere no sinal obtido. Para evitar esses problemas, deve-se realizar estudos mais detalhados quanto a instalação de parques eólicos próximos a aeroportos e sistemas de retransmissão.

Há emissão de gases estufa durante a fabricação, transporte e instalação de componentes devido ao uso de energia elétrica, e de combustíveis fósseis nas indústrias, nos caminhões, nas máquinas, nos equipamentos e nos guinchos. A emissão de CO<sub>2</sub> é de aproximadamente 7 ton./GWh, valor superior ao de grandes hidrelétricas (4 ton./GWh), mas muito inferior ao das usinas termelétricas à base de carvão mineral (964 ton./GWh) (REN21, 2012).

A ocorrência de ruído audível significativo nas instalações eólicas é devida ao funcionamento mecânico e ao efeito aerodinâmico das turbinas eólicas. Tal ruído pode ser prejudicial ao ser humano, de modo que existe regulamentação relacionada à sua instalação na vizinhança de áreas residenciais. Todavia, as turbinas mais modernas apresentam um nível de barulho bem reduzido.

As turbinas eólicas produzem impactos visuais, tais como sombras e reflexos móveis, que interferem significativamente nas paisagens naturais e são indesejáveis nas áreas residenciais. Por isso podem existir restrições à sua instalação em determinados locais, como áreas turísticas ou de grande beleza natural, de forma que se deve avaliar a aceitação da

comunidade próxima ao local de interesse para a implantação da usina, pois os descontentamentos podem atrasar ou até impedir todo o andamento do projeto. Apesar dos efeitos negativos, esses impactos tendem a atrair turistas, gerando renda, emprego, arrecadações e promovendo o desenvolvimento regional.

#### **4.4 CENÁRIO EÓLICO MUNDIAL**

A exploração da energia eólica no mundo para a produção de energia elétrica em grande escala vem sendo disseminada em diversos países em todos os continentes. Iniciada na Europa com a Alemanha, Dinamarca e Holanda e também na Rússia e nos Estados Unidos, essa fonte de energia está presente em diversos outros países como Espanha, França, Reino Unido, Canadá, além de ter uma recente notável inserção nos países emergentes asiáticos China e Índia.

A energia eólica está entre as fontes alternativas energéticas mais econômicas. Em regiões com bom potencial eólico, ela é competitiva até com os combustíveis fósseis e com a energia nuclear. O custo continua a cair com o desenvolvimento tecnológico e otimização dos equipamentos.

O sucesso da crescente expansão de sistemas eólicos no mundo é devido ao suporte dado por diversos países, através de incentivos governamentais como reconhecimento às vantagens associadas ao desenvolvimento sustentável. Estes incentivos objetivam reduzir os custos, tornar a tecnologia mais competitiva e diminuir a dependência de combustíveis fósseis. É importante que os países continuem criando instrumentos políticos, econômicos e ambientais a fim de promover a pesquisa e desenvolvimento das fontes alternativas de energia. Condições econômicas, autorizações ambientais, acesso a equipamentos de qualidade e conhecimento técnico são determinantes para o sucesso contínuo dessa tecnologia.

##### **4.4.1 CAPACIDADE INSTALADA**

O interesse pela energia eólica existe desde a crise do petróleo na década de 70. Por razão desta crise, muitos países criaram programas de pesquisa e desenvolvimento nessa área, a fim de reduzir suas dependências na importação de petróleo. Até o final da década de

90, a capacidade instalada no mundo era inferior a 15.000 MW e ao final de 2004, a capacidade instalada quase foi triplicada, superando os 45.000 MW. A evolução da capacidade eólica mundial pode ser observada na Figura 15.

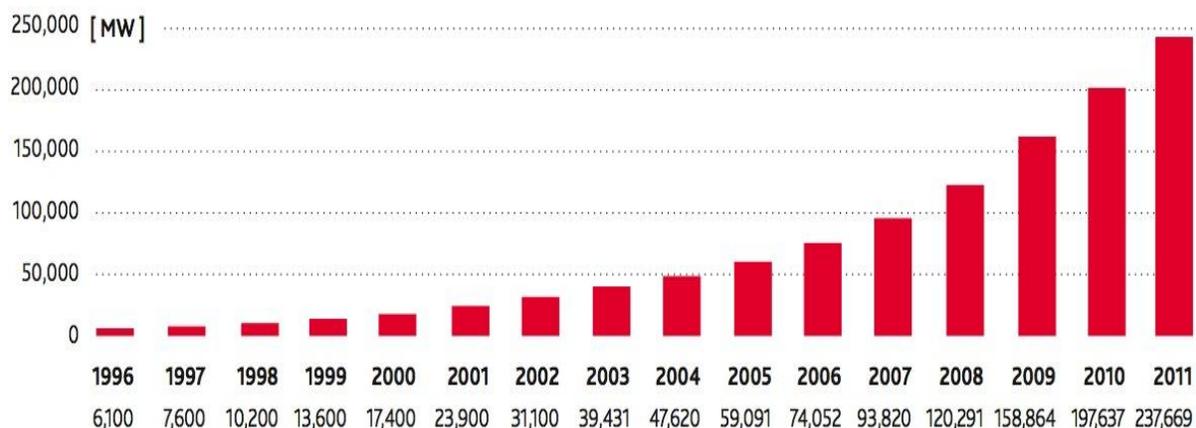


Figura 15 - Capacidade Eólica Mundial Acumulada Anualmente (1996-2011). (GWEC, 2012)

De acordo com o GWEC (2012), a capacidade mundial instalada, em 2011, foi de 40.564 MW (Figura 16), acumulando um total de aproximadamente 238 GW. Isso representou um crescimento de 20% em relação ao ano anterior, sendo o maior crescimento entre as tecnologias alternativas de energia. Desde 2006 até 2011, o setor apresentou um crescimento médio de 26%, porém manteve-se praticamente estagnado nos últimos três anos – 38,6 GW em 2009, 38,8 GW em 2010 e 41,2 GW em 2011 – devido a um crescimento menor nos Estados Unidos e Europa, em razão de incertezas nas políticas para fontes renováveis; pela crise econômica, que diminuiu o acesso a financiamentos; e pela redução da demanda por eletricidade em muitos países desenvolvidos (REN21, 2012).

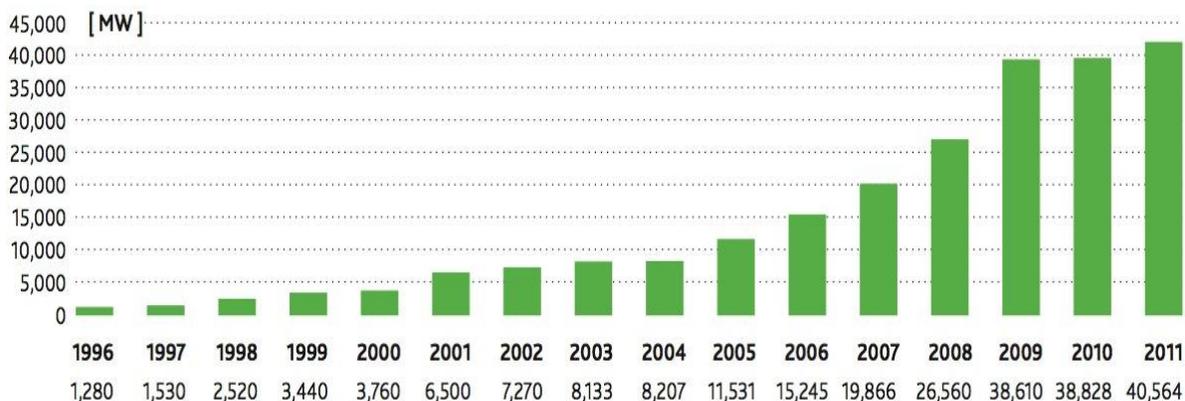


Figura 16 - Capacidade Eólica Mundial Instalada Anualmente (1996-2011). (GWEC, 2012)

Esse crescimento expressivo fez com que a Associação Européia de Energia Eólica (EWEA) formulasse novas metas, estimando que a energia eólica será suficiente para suprir 12% de toda a energia elétrica demandada no mundo até 2020. De fato, em alguns países e regiões, a energia eólica já representa uma parcela considerável da eletricidade produzida. Na Dinamarca, por exemplo, a energia eólica representa 18% de toda a eletricidade gerada e a meta é aumentar essa parcela para 50% até 2030. Em termos de capacidade instalada, estima-se que, até 2020, a Europa já terá 100.000 MW (ANEEL, 2008).

Os dez principais países quanto à exploração dessa fonte de energia são listados na Tabela 4, a qual mostra a liderança da China, seguida de Estados Unidos, Alemanha e Espanha. A China e a Índia merecem destaque pelo desenvolvimento rápido e expressivo de suas instalações eólicas. Em 2007, suas capacidades instaladas eram de 6 GW e 8 GW, respectivamente. No final de 2011, essas capacidades saltaram para 62,4 GW e 16,1 GW (UCZAI; TAVARES, 2012).

Tabela 4 - Capacidade eólica instalada em 2011 por país. (UCZAI; TAVARES, 2012)

País	Acréscimo 2011 (GW)	Total 2011 (GW)	Crescimento (%)
China	18,0	62,4	40%
Estados Unidos	6,8	46,9	17%
Alemanha	2,1	29,1	8%
Espanha	1,1	21,7	5%
Índia	3,0	16,1	23%
França	0,8	6,8	14%
Itália	1,0	6,7	16%
Reino Unido	1,3	6,5	25%
Canadá	1,3	5,3	32%
Portugal	0,4	4,1	10%

#### 4.4.2 CUSTOS

Os custos de uma instalação de uma usina eólica têm apresentado queda relevante nos últimos trinta anos, apesar de ter ocorrido uma elevação do preço das turbinas, no período entre 2007 e 2009, devido à alta demanda e elevação nos preços de matérias-primas para sua

fabricação. Com a estagnação do crescimento do setor vista nos últimos três anos, houve excesso de capacidade de fabricação, causando redução nos preços das turbinas. Em 2011 os preços das turbinas estavam em US\$ 1.350 por kW, 19% inferiores aos preços de pico entre 2007 e 2008 (UCZAI; TAVARES, 2012).

Os preços das turbinas eólicas são determinantes no preço da energia elétrica gerada, já que os investimentos em equipamentos são considerados nesse cálculo. Assim, o preço da energia elétrica produzida por turbinas eólicas também vem sofrendo redução. Segundo REN21 (2012), o custo da energia gerada foi estimado entre US\$ 52 e US\$ 165 por MWh para projetos onshore. Já para empreendimentos offshore, o custo estimado foi entre US\$ 114 e US\$ 224 por MWh. No caso da tecnologia onshore, segundo a publicação, a utilização da energia eólica é mais barata que a energia solar, energia maremotriz (das marés) e biomassa. Atualmente, os melhores parques eólicos produzem energia elétrica a um preço que compete também com aquela gerada por usinas nucleares e termelétricas (carvão e gás natural) (BLOOMBERG, 2011).

No entanto, há outros fatores envolvidos nessa redução do preço da energia elétrica produzida por turbinas eólicas, como o fator de capacidade e custos de operação e manutenção. A relação entre a potência obtida por cada turbina e sua e a capacidade nominal é chamada de fator de capacidade. Esta característica tem crescido firmemente graças ao aumento das torres e rotores das turbinas, o aprimoramento aerodinâmico das pás, bem como o aumento da eficiência da geração elétrica. Tais melhorias aumentaram o fator de capacidade de 21% para 34%, ao longo dos últimos 30 anos. Os custos de operação e manutenção dos parques eólicos também diminuíram ao longo dos anos, passando de 50€ por MWh, em 1980, para 11€ por MWh, em 2011, devido à experiência adquirida por parte dos operadores e melhorias na qualidade das turbinas (BLOOMBERG, 2011).

Devido ao excesso de capacidade estrutural e crescente concorrência no setor de energia eólica, espera-se que o custo da energia elétrica gerada em instalações onshore caia 12% até 2016 (BLOOMBERG, 2011). O conhecimento tecnológico adquirido ao longo dos anos pode contribuir ainda mais para a produção de turbinas maiores e mais altas, além do uso de materiais alternativos e mais resistente, para assim, reduzir custos de fabricação e manutenção. São alterações necessárias para que a energia eólica se torne mais competitiva e faça frente às energias convencionais cada vez mais.

## 5 PANORAMA EÓLICO BRASILEIRO

Como o crescimento econômico e a demanda de eletricidade continuam a crescer no Brasil, mudanças climáticas tornam a dependência histórica do país em energia hidrelétrica cada vez mais desafiadora, e tem levado o governo brasileiro a diversificar sua matriz de energia elétrica. Dado o extraordinário potencial eólico nacional, os custos cada vez mais competitivos e a complementaridade entre os períodos de chuvas e de ventos em algumas áreas, a energia eólica é uma fonte alternativa de energia atraente. O desenvolvimento dos mais de 143 GW de potencial eólico contribuirá para a segurança energética brasileira e a diversidade da oferta, ajudará a criar novas indústrias e empregos e a manter o sistema elétrico brasileiro limpo e verde.

### 5.1 POTENCIAL EÓLICO

Devido às condições climáticas do Brasil, os períodos de baixas nos reservatórios das hidrelétricas coincidem com os períodos de maior intensidade dos ventos, ou seja, quando aproveitamento para a geração de energia elétrica é mais favorável. Essa complementaridade entre as gerações eólicas e hídricas é um fator considerável para a expansão do parque eólico brasileiro, já que este pode suprir energia elétrica durante a estação seca, possibilitando o acúmulo de água nos reservatórios das grandes hidrelétrica, o que garante uma maior confiabilidade e estabilidade do Sistema Elétrico Brasileiro. Tal complementaridade pode ser observada na Figura 17.

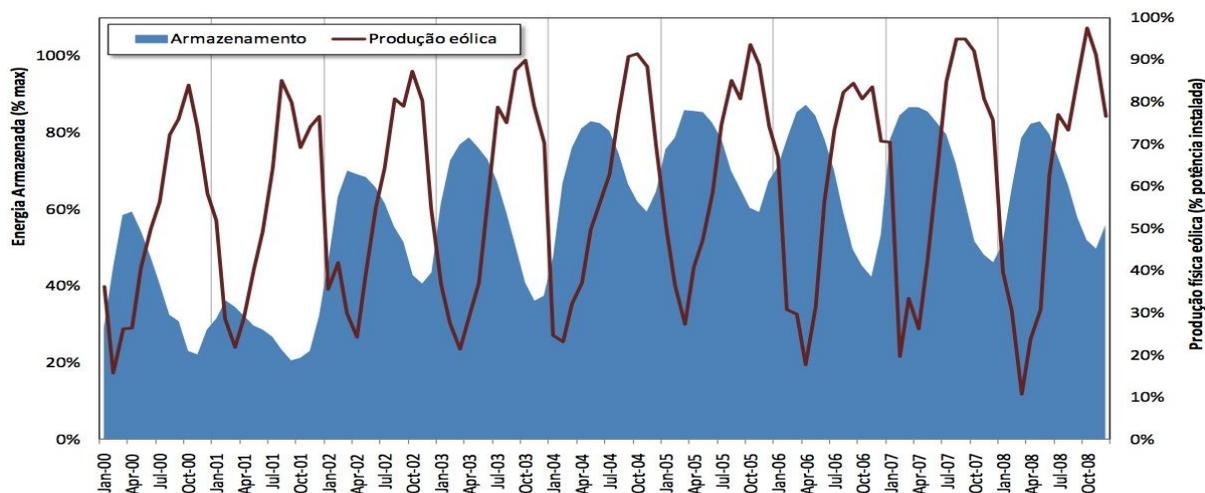


Figura 17 - Eólica PROINFA e armazenamento do Rio São Francisco. (SIMÕES, 2010)

Para que essa expansão seja viável e eficiente, faz-se necessário coletar dados sobre o potencial disponível em determinada região. Um estudo importante nesse sentido foi o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (Figura 18), publicado pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica – CRESESB/CEPEL, em 2002, o qual estimou um potencial eólico da ordem de 143 GW. Para efeito de comparação, segundo a ANEEL (2012), o Brasil tem hoje 119,5 GW de potência instalada em operação, correspondendo a 2.698 empreendimentos, das mais diversas fontes de energia.

Embora tenha tido grande contribuição à época, esse estudo apresenta-se desatualizado, pois os resultados divulgados foram baseados em torres de até 50m de altura, e hoje a tecnologia já permite torres de mais de 100 metros. Em razão disso, diversos Estados realizaram novos estudos sobre o disponibilidade dos ventos em seus territórios. Em 2010, a CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais S.A.) publicou o Atlas Eólico de Minas Gerais, o qual aponta um potencial de 40 GW a uma altura de 100 metros do solo. Só esse potencial, não considerando os disponíveis a alturas menores, já é o dobro do daquele citado pelo Atlas do Potencial Eólico Brasileiro para toda a região sudeste. Já o Rio Grande do Sul obteve um significativo aumento, passando de 15,8 GW a 50 m de altura, para 115,2 GW a 100 m de altura (EPE, 2009).

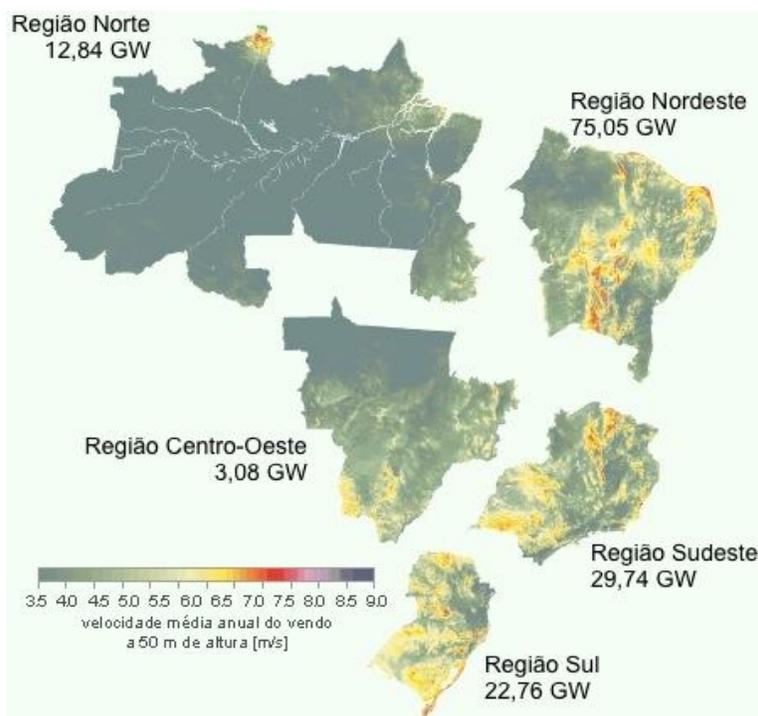


Figura 18 - Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. (DUTRA, 2008). Adaptado.

## 5.2 CAPACIDADE INSTALADA

A energia eólica tem apresentado expressivo crescimento nos últimos anos no Brasil. A produção, em 2011, de 2.705 GWh, representou apenas 0,5% da oferta interna de eletricidade naquele ano. Em relação a 2010, o crescimento foi de 24,3%, quando se alcançou 2.177 GWh. A evolução da oferta de eletricidade por esta fonte pode ser observada na Figura 19.

em GWh							$\Delta\%$
2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2011/2010
74	342	668	1.183	1.238	2.177	2.705	24,3%

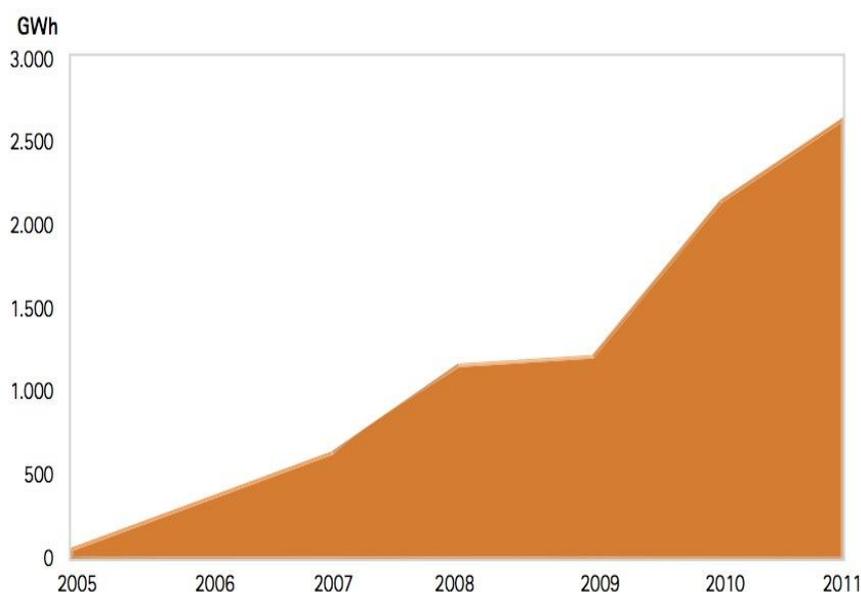


Figura 19 - Evolução da geração eólica. (EPE, 2012c)

Em 2011, a potência instalada para geração eólica no país aumentou 63%. Segundo o GWEC (2012), o parque eólico nacional cresceu 583 MW, alcançando 1.509 MW ao final de 2011. Sua evolução pode ser vista na Figura 20. Atualmente, de acordo com a ANEEL (2012), existem 81 usinas eólicas em operação no país, que possuem uma capacidade instalada total de 1.721,8 MW. Entretanto, estão em construção outros 77 empreendimentos que, juntos, alcançam 1.900,2 MW, o que permitirá dobrar a capacidade instalada em pouco tempo. O número de usinas eólicas outorgadas, no período de 1998 a 2012, mas que ainda não iniciaram a construção chega a 212, com uma potência total prevista de 5.723,5 MW.

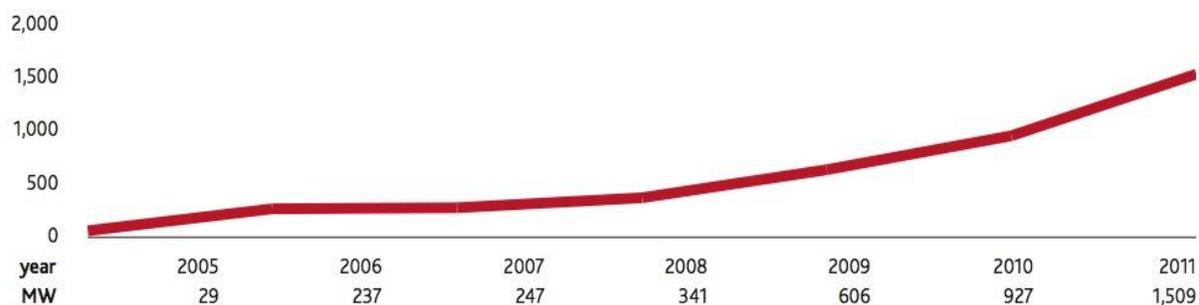


Figura 20 - Evolução da capacidade instalada. GWEC (2012)

### 5.3 INDÚSTRIA EÓLICA

A indústria eólica brasileira e sua cadeia de serviços e fornecimentos apresentou, já em 2010, uma capacidade produtiva territorialmente diversificada superior a 1.000 MW anuais. Atualmente essa capacidade é suficientemente capaz de produzir mais de 3.900 MW/ano, e com os crescentes investimentos, esta será substancialmente incrementada nos próximos anos (YAMAMOTO, 2012). Diversas grandes empresas anunciaram investimentos no Brasil, entre elas a franco-suíça Alstom e a norte-americana GE. O faturamento da indústria eólica nacional, inferior a 700 milhões de reais em 2010, deverá quadruplicar até 2014. Segundo Ricardo Simões, presidente da Associação Brasileira de Energia Eólica (Abeeólica), embora o PROINFA tenha marcado o nascimento da indústria eólica no Brasil, a escala ainda era insuficiente para atrair os fabricantes de aerogeradores, sendo os leilões de energia, combinados com a estagnação dos mercados tradicionais, os responsáveis que deram partida para esta crescente expansão do setor (FREITAS JÚNIOR, 2011). A disposição geográfica dos fabricantes pode ser observada na Figura 21.

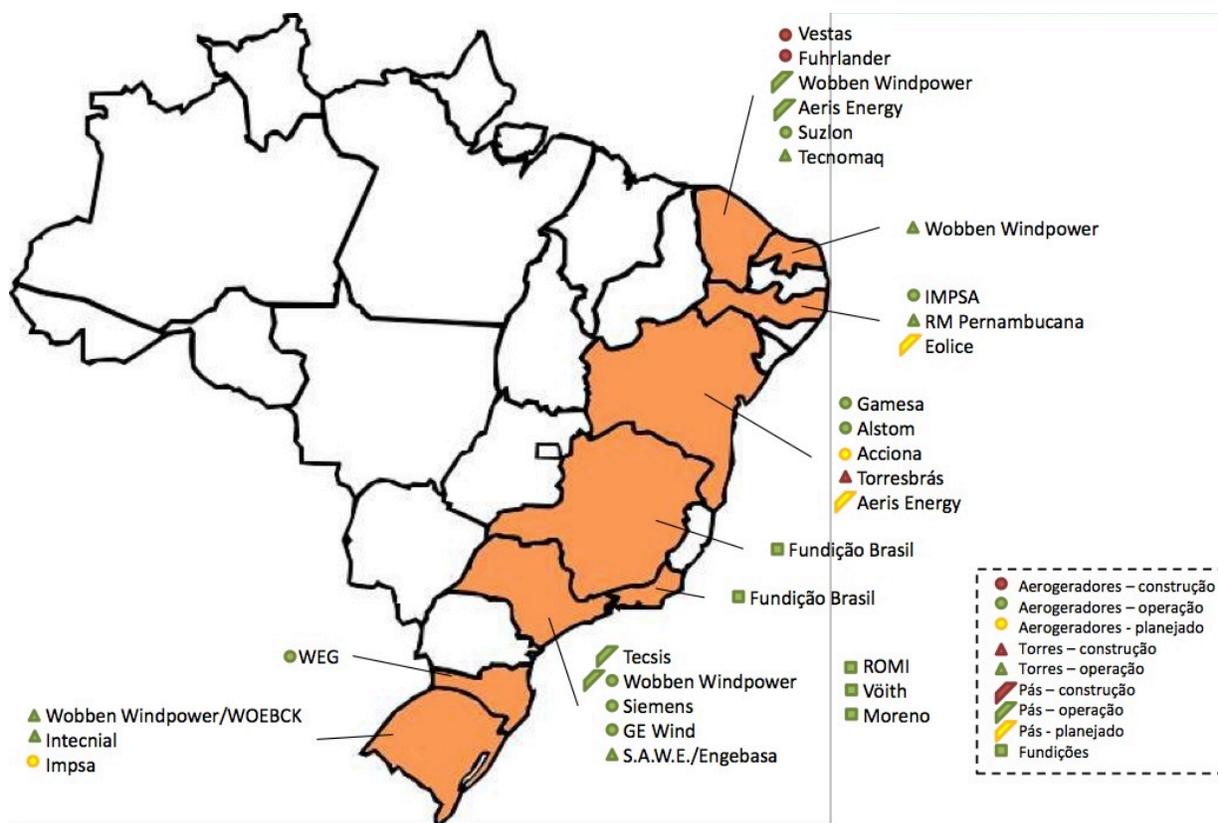


Figura 21 - Distribuição da indústria eólica no Brasil. (YAMAMOTO, 2012)

## 5.4 LEGISLAÇÃO E INCENTIVOS FISCAIS

Analogamente ao panorama mundial, a expansão do parque eólico nacional depende de apoio governamental. No Brasil, o principal incentivo a esta fonte de energia foi criado através da Lei 10.438, de 26 de abril de 2002, e revisado e ajustado pela Lei no 10.762, de 11 de novembro de 2003, com a criação do PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e gerenciado pela ELETROBRAS. O PROINFA garantiria a compra, pela Eletrobrás, durante vinte anos, da energia elétrica gerada pelos empreendimentos que preenchessem todos os requisitos de habilitação e fossem selecionados de acordo com os procedimentos descritos no programa. O preço pago por essa energia seria fixado pelo Ministério de Minas e Energia para cada uma das fontes incentivadas (SALINO, 2006).

O objetivo desse programa foi aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais

hidrelétricas (PCH) no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN), para dessa forma promover a diversificação da Matriz Energética Brasileira, buscando alternativas para aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica, além de permitir a valorização das características e potencialidades regionais e locais (PROINFA, 2012).

Previa-se a implantação de 144 usinas, totalizando 3.299,40 MW de capacidade instalada, sendo 1.191,24 MW provenientes de 63 PCHs, 1.422,92 MW de 54 usinas eólicas, e 685,24 MW de 27 usinas a base de biomassa. Atingida a meta de quase 3300 MW, o desenvolvimento do programa seria realizado de forma que as fontes eólicas, PCHs e biomassa atendessem a 10% do consumo anual de energia elétrica do Brasil, objetivo a ser alcançados em até 20 anos. O site do programa não contém nenhuma informação em relação aos planos futuros do programa.

O cronograma do PROINFA sofreu diversos ajustes e atrasos. Os prazos de implantação das usinas foram prorrogados por diversas vezes pelo governo federal. A última postergação aconteceu nos dias finais do governo Lula, em 2010, por meio da Medida Provisória 517, posteriormente aprovada pelo Congresso. Tais adiamentos foram decorrentes da dificuldade encontrada pelos empreendimentos eólicos em atender os índices de nacionalização previstos, uma vez que apenas um fabricante estava presente no País à época (PEREIRA, 2011). A legislação determinava que fosse de origem nacional o percentual mínimo de 60% do valor total dos custos com equipamentos e serviços para a implantação dessas usinas.

As diretrizes do programa foram baseadas em um sistema de tarifa-prêmio (feed-in tariff), no qual toda energia produzida pelo gerador é injetada na rede, estipulando uma tarifa de compra de energia para projetos com contratos para 20 anos, correspondendo ao valor econômico de cada fonte e corrigido anualmente pelo IGP-M de acordo com o mês de aniversário do contrato (SALINO, 2006). Em 2004, quando saiu a portaria com as diretrizes do PROINFA, o MME havia estabelecido um Valor Econômico da Tecnologia Específica da Fonte (VETEF) para as eólicas que variava entre R\$ 180,18/ MWh até R\$ 204,35/MWh, dependendo do fator de capacidade bruto. Já em maio de 2012, o preço médio negociado no programa para a energia eólica era R\$ 312,70 por MWh (YAMAMOTO, 2012).

Com o fim do programa em 30 de dezembro de 2011, 1.325,6 MW de potência eólica para a geração de energia elétrica entraram em funcionamento. A velocidade com que cada nova capacidade foi instalada aumentou significativamente durante os dois últimos anos do programa, um reflexo do fato de que a indústria eólica vem se estabelecendo firmemente no Brasil GWEC (2012).

A implantação do PROINFA trouxe resultados que vão de encontro às premissas do desenvolvimento sustentável. Segundo dados divulgados pelo MME (PROINFA, 2012), além de ter promovido a diversificação da matriz energética nacional, estima-se que foram criados cerca de 150 mil empregos diretos e indiretos em todo o país, e investimentos de R\$ 4 bilhões na indústria nacional de equipamentos e materiais, proporcionando grande avanço industrial e internalização de tecnologia de ponta. Do mais, calcula-se que o programa possibilite a redução de emissões de gases de efeito estufa equivalente a aproximadamente 2,5 milhões de toneladas de Co<sub>2</sub>eq/ano.

O desenvolvimento da energia eólica a partir de mecanismos competitivos para determinar o preço de venda de energia elétrica é pioneira na experiência regulatória do Brasil. Em 2009, foi realizado o primeiro leilão de comercialização de energia voltado exclusivamente para fonte eólica, que resultou na contratação de 1.805,7 MW, com início de suprimento a partir de julho de 2012, a um preço médio de venda de R\$ 148,39 por MWh. Este valor representou 21,5% inferior ao preço teto estabelecido. A partir de então, a energia eólica passou a obter sucesso nos leilões realizados para aquisição de energia elétrica para suprimento das concessionárias de distribuição, competindo diretamente com as demais fontes, renováveis e fósseis. A Tabela 5 apresenta os resultados da contratação de energia eólica por meio de leilões promovidos pelo governo federal até 2011.

Tabela 5 - Resultados da energia eólica nos leilões de 2009 a 2011. (EPE, 2012a; YAMAMOTO, 2012).

Elaboração própria

Leilão	Projetos	Potência (MW)	Energia Contratada (MWmédios)	Preço Médio * (R\$/MWh)	Preço Médio** (R\$/MWh)	Ano de Operação
Reserva 2009	71	1.805,70	753	148,39	168,24	2012
Reserva 2010	20	528,2	266,8	122,69	147,9	2013
A-3 2010	50	1.519,60	658,5	134,46	134,8	2013
Reserva 2011	34	861,1	428,8	99,54	101,8	2014
A-3 2011	44	1.067,70	484,2	99,58	101,8	2014
A-5 2011	39	976,5	478,5	105,12	106,03	2016
<b>Total</b>	<b>258</b>	<b>6758,8</b>	<b>3069,8</b>	-		-

(\*) Preço médio negociado no leilão.

(\*) Preço médio em maio de 2012 corrigido pelo IPCA.

Até 2010, a energia eólica tinha uma concorrência limitada nos leilões, pois ou o leilão era destinado apenas a essa fonte energética ou era destinado às fontes alternativas (eólica, biomassa e PCH). No entanto, em 2011, a energia eólica concorreu, além da biomassa, com a energia hidrelétrica e termoelétrica (gás natural). No Leilão A-3 em 2011, a energia dos ventos vendeu a segunda maior quantidade de energia, 484,2 MWm dos 1.686,1 MWm contratados, a preço médio inferior a todas as outras fontes. Já no Leilão A-5 do mesmo ano, a energia eólica surpreendeu vendendo a maior quantidade, cerca de 80% de toda a energia negociada no leilão. Os resultados finais dos leilões A-3 e A-5 de 2011 podem ser conferidos nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 - Resultado Final do Leilão de Energia A-3 em 2011. (EPE, 2012a)

Fonte	Projetos contratados	Potência instalada (MW)	Garantia Física (MWmédios)	Preço médio (R\$/MWh)
<b>Eólica</b>	44	1.067,7	484,2	99,58
<b>Biomassa</b>	4	197,8	91,7	102,41
<b>Hídrica</b>	1	450	209,3	102
<b>Gás natur.</b>	2	1.029,1	900,9	103,26
<b>TOTAL</b>	<b>51</b>	<b>2.744,6</b>	<b>1.686,1</b>	<b>102,07</b>

Tabela 7 - Resultado Final do Leilão de Energia A-5 em 2011. (EPE, 2012a)

Fonte	Projetos contratados	Potência instalada (MW)	Garantia Física (MW médios)	Preço médio (R\$/MWh)
<b>Eólica</b>	39	976,5	478,5	105,12
<b>Biomassa</b>	2	100	43,1	103,06
<b>Hídrica</b>	São Roque	135	90,9	91,20
<b>TOTAL</b>	<b>42</b>	<b>1.211,5</b>	<b>612,5</b>	<b>102,18</b>

Considerando os projetos contratados nos leilões de energia, a capacidade instalada de energia eólica deverá atingir 8,1 GW em 2016, quando todos os projetos deverão estar em funcionamento. A participação estimada em 5,5% da matriz elétrica brasileira pode ser observada na Figura 22.

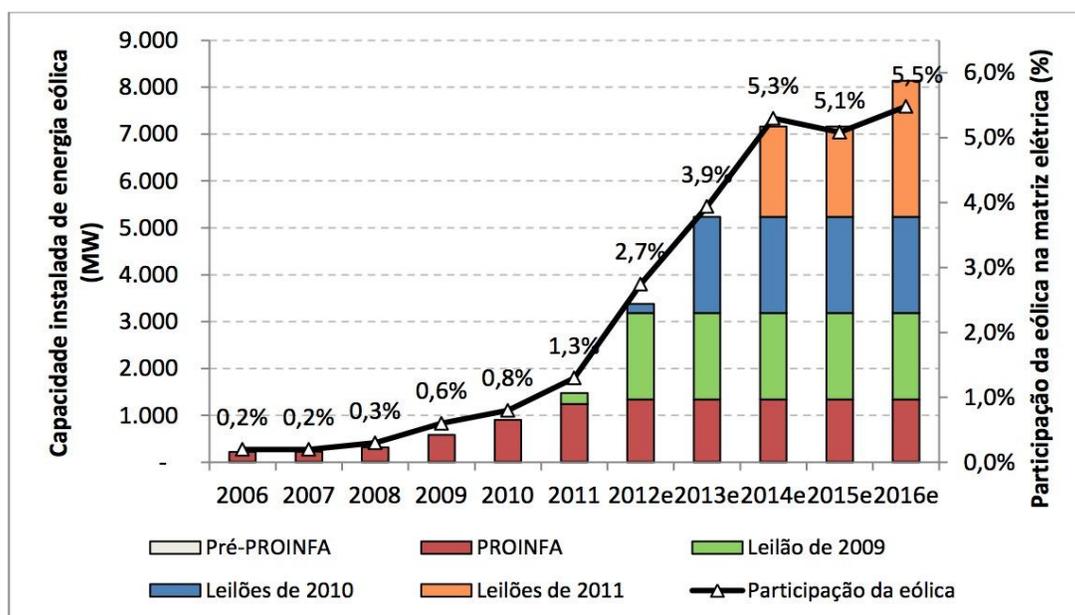


Figura 22 - Contribuição do PROINFA e Leilões de Energia para setor eólico na matriz elétrica brasileira entre 2006 e 2011 e estimada para 2012 a 2016. (SIMAS, 2012)

Dois novos leilões para a contratação de novos empreendimentos de geração de energia elétrica ainda serão realizados neste ano. O leilão de energia A-3 terá como objetivo complementar o mercado consumidor no ano de 2015, cujo cadastrado possui um total de 663 projetos de geração, com capacidade instalada total de 27.058 MW, sendo 583 projetos eólicos que totalizam 14.260 MW. Já o leilão de energia A-5 visa ao atendimento do mercado consumidor do país em 2017, com 585 projetos cadastrados e capacidade instalada total de

25.098 MW, sendo 508 empreendimentos eólicos inscritos, que representam 12.547 MW (EPE, 2012a).

## 5.5 DIFICULDADES SETORIAIS

Apesar de haver um cenário promissor para a energia eólica, visto seu sucesso nos últimos leilões de energia, o Brasil ainda precisa vencer alguns desafios para uma consolidação mais arrojada dessa fonte energética na matriz elétrica brasileira.

A indústria eólica brasileira tem apresentado um grande crescimento nos últimos anos, porém são empresas multinacionais, com tecnologias desenvolvidas e adaptadas às condições ambientais estrangeiras. Tais tecnologias, por exemplo, suporta as grandes variações térmicas experimentadas na Europa, algo desnecessário no Brasil onde a temperatura é mais estável. Para efeito de comparação, quando os primeiros parques foram projetados, na época do PROINFA, estimava-se o fator de capacidade das turbinas eólicas em cerca de 30%. Entretanto, uma vez instalados os equipamentos, a qualidade natural dos ventos brasileiros fez esse fator subir para 45%. Por enquanto, só existe tecnologia genuinamente brasileira para fabricar as pás que giram as turbinas (BARROS, 2012).

Do ponto de vista da indústria, outro desafio significativo é a infraestrutura e logística, que estão relacionadas com o transporte de gigantescas turbinas eólicas e a transmissão da energia elétrica gerada nos parques eólicos.

No que se refere ao transporte, boa parte dos empreendimentos eólicos contratados localiza-se em áreas distantes dos maiores centros consumidores, enfrentando dificuldades com uma malha rodoviária limitada e que não foi projetada para o transporte de equipamentos eólicos. As imensas e delicadas turbinas eólicas exigem condições específicas para transporte e manobra, as quais são dificultadas pelas péssimas condições das estradas, seja pela presença de buracos ou pela ausência de faixas adicionais. Outra dificuldade referente às rodovias é a disponibilidade para a circulação de caminhões de grande comprimento, especialmente para caminhões que transportam seções de torres de aço e pás eólicas. A autorização e controle do tráfego são feitos pela Polícia Rodoviária Estadual e com escolta de viaturas apenas durante o dia. Dessa forma, o transporte dos equipamentos eólicos é dependente da disponibilidade de viaturas de escolta para cada trecho e estão sujeitos a não

poder trafegar em dias de grande movimentação nas estradas. Outro aspecto relacionado ao transporte de equipamentos é a oferta de caminhões compatíveis para esse tipo de transporte, particularmente das pás (Figura 23). Por serem extremamente compridas e delicadas, torna-se necessário o uso de caminhões grandes e adaptados, os quais se encontram em quantidade restrita atualmente (SIMAS, 2012).



Figura 23 - Pá eólica sendo transportada por caminhão. (BLOGSPOT, 2012)

Quanto à transmissão da energia elétrica gerada nos parques eólicos, certas regiões do país carecem de um sistema para a integração de parques eólicos localizados em áreas afastadas ao Sistema Interligado Nacional. Um exemplo é a usina Alto Sertão 1, em Caetitê (BA), maior complexo eólico da América Latina, com 184 aerogeradores e cerca de 300 MW de potência instalada, que por falta de um sistema de transmissão, as turbinas eólicas não puderam ser ligadas e estão até a data de elaboração deste trabalho inoperantes (PEREIRA, 2012).

A indústria eólica brasileira não enfrenta obstáculos apenas no plano tecnológico. No âmbito legislativo, a comercialização da energia eólica não possui aspectos regulatórios próprios para atender as especificidades do setor. Com exceção da primeira licitação exclusiva para fonte eólica em 2009, a energia eólica ficou submetida, em todas as licitações que participou, às mesmas regras e obrigações de produção e entregas das demais fontes energéticas. Tal indistinção pode ser observada na Figura 24.

	Participação e Habilitação	Objeto	Garantias	Restrições e Penalidades
9º Leilão de Energia Nova (A-5). 1º leilão de energia eólica (21.12.2009)	Pessoas Jurídicas de Direito Privado nacionais ou estrangeiras em funcionamento no País, isoladamente ou reunidas em consórcio; Fundos de Investimento em Participações (FIP), isoladamente ou reunidos em consórcio com outros FIP ou com Pessoas Jurídicas de Direito Privado. Qualificação jurídica, regularidade fiscal, qualificação econômico-financeira e qualificação técnica.	Contratação de energia proveniente de novos empreendimentos, com posteriores outorgas de Autorização e de Concessão, para o (SIN), no (ACR). Modalidade: "Disponibilidade de Energia Elétrica". Início de suprimento: em 01.01.2014, com 15 anos de duração. OBS: Remanescente livre e desembaraçado para outras contratações ou utilização pelo VENDEDOR.	EMPREENDIMENTOS SEM OUTORGA: 1% (um por cento) do valor do investimento, conforme Habilitação Técnica da EPE. EMPREENDIMENTOS COM OUTORGA: R\$ 20.000,00 (vinte mil reais) para cada LOTE DE ENERGIA a ser ofertado. Caução (R\$): Seguro-Garantia; Fiança Bancária; Títulos da Dívida Pública	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Advertência;</li> <li>• Multa :001% a 10% valor do INVESTIMENTO);</li> <li>• Suspensão temporária do direito de contratar ou participar de licitações ANEEL</li> <li>• Atraso do início da operação comercial/ insuficiência de lastro: Agente vendedor deverá celebrar contratos de compra de energia para garantir os contratos de venda originais, sem prejuízo da aplicação das penalidades cabíveis (Resolução Normativa Aneel nº 165/2005)</li> </ul>
2º Leilão de Energias Alternativas (A-3). 2º Leilão de energia eólica (26/08/2010)	Mesmas condições	Contratação de energia proveniente de Fontes Alternativas de Geração, específico para (PCH) Biomassa e eólica, para o (SIN), no (ACR). Modalidade: Produto Disponibilidade (Fonte Biomassa e Eólica). Início de Suprimento: em 01/01/2013 e com prazo de duração de 20 anos. OBS: Idem leilão 2009	Mesmas condições	Mesmas condições
3º Leilão de Energia de Reserva. 3º leilão de energia eólica (25 e 26/08/2010)	Mesmas condições	Contratação de Energia de Reserva, específico para (PCH) fonte eólica e biomassa. Modalidade: Produto quantidade para energia eólica. Início de suprimento: a partir de 01/09/2013 e prazo de duração de 20 anos. OBS: Impossibilidade de comercializar o remanescente.	Mesmas condições	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Advertência;</li> <li>• Multa : 001% a 10% valor do INVESTIMENTO);</li> <li>• Suspensão temporária do direito de contratar ou a participar de licitações ANEEL</li> <li>• Atraso do início da operação comercial/insuficiência de lastro : CONTA DE ENERGIA : &lt;10&gt;30 Ressarcimento pecuniário, sem prejuízo da aplicação de outras penalidades cabíveis). OBS: Impedimento de contratar a energia via terceiros para o devido ressarcimento.</li> </ul>

Figura 24 - Principais condições de contratação nas licitações com alocação de fonte eólica. (GWEC, 2011)

Um exemplo da falta de aperfeiçoamentos das modalidades contratuais para atender as particularidades do setor é quanto ao PLD (preço de liquidação de diferenças). Como visto anteriormente, a baixa velocidade dos ventos faz com que se gere menos energia. Quando o produtor enfrenta este cenário, o próprio não consegue entregar a quantidade de energia contratada, devendo comprar no mercado aquilo que deixou de produzir. O preço dessa energia complementar, de curto prazo conhecido como PLD, é muito volátil e, em certos momentos, pode ser muito superior ao preço contratado, podendo ocasionar um prejuízo considerável à empresa (BARROS, 2012).

Embora o governo dê indícios de que dará continuidade à contratação anual de energia eólica através dos leilões, não existe uma política de governo de longo prazo para manter a contratação desta tecnologia no mesmo ritmo observado nos últimos três anos. A falta de um calendário definido de leilões, com o anúncio antecipado do volume de energia a ser contratado, prejudica o setor na medida em que não há como assegurar investidores de que haverá demanda (MOURA, 2010).

Quanto ao aspecto econômico, a concessão de crédito para a construção de parques eólicos poderá ser um gargalo para o setor. O BNDES é o principal financiador para tais empreendimentos, já que as taxas de juros dos bancos privados e o volume de recursos demandado são altos neste caso e há incentivo governamental para projetos de infraestrutura. Considerando essa concentração do financiamento no banco de desenvolvimento e que haja uma contratação maior de projetos eólicos nos anos seguintes, a obtenção de crédito poderá ser dificultada não apenas por uma reserva limitada de recursos do BANDES, mas também pela grande quantidade de solicitações que devem ser analisadas num prazo relativamente curto (SIMAS, 2012).

## 6 CONCLUSÃO

A avaliação mostrada neste estudo permite constatar a importância da utilização da energia eólica na geração de energia elétrica para o desenvolvimento sustentável e como ela está inserida no cenário mundial, bem como na matriz energética elétrica brasileira.

Esta fonte energética tem sofrido um rápido crescimento no mundo. No Brasil, ela só começou a experimentar uma trajetória de expansão, após uma política de incentivos através do PROINFA. Mas, sua participação expressiva crescente no setor elétrico brasileiro foi impulsionada, de verdade, quando passou a ser comercializada através dos leilões de energia. O sucesso da energia eólica nos últimos leilões mostra a sua capacidade competitiva, configurando-se como uma das fontes alternativas de energia mais baratas no mercado brasileiro.

Se por um lado temos uma grande evolução da energia eólica, haja vista o potencial instalado até 2011 e o contratado para entrar em operação até 2016, por outro, pode ser considerada inexpressiva, quando comparada ao potencial eólico brasileiro. Entretanto, essa relação não pode ser calculada com exatidão por falta de dados atualizados sobre este potencial. Tal fato demonstra umas das deficiências do setor eólico brasileiro: a incipiência das pesquisas nacionais sobre o tema. O desenvolvimento de conhecimento e tecnologias genuinamente brasileiras beneficiaria o setor de diversas maneiras, como a adaptação dos equipamentos às características de funcionamento do sistema elétrico e dos recursos eólicos brasileiros, que resultaria num maior aproveitamento energético, e assim, numa redução de custos.

A carência de pesquisas e tecnologias nacionais não é o único desafio a ser superado pelo setor eólico brasileiro. Os principais entraves no curto prazo estão diretamente ligados com a expansão prevista de seu mercado, para a qual se deve aumentar significativamente o ritmo das instalações a fim de atender o cronograma de entregas. Para entender tamanha tarefa, considera-se os 1.325,6 MW de potência eólica instalados em 7 anos de PROINFA. Até 2016, o país deverá instalar cerca de cinco vezes essa capacidade. Para tanto, o país precisa solucionar as exigências logísticas da cadeia de serviços e de fornecimento do setor, uma vez que tais adversidades aumentam os custos dos projetos e inviabilizam os investimentos. Além disso, deve angariar e garantir uma alocação maior de recursos financeiros para o

financiamento dos empreendimentos, bem como aperfeiçoar os processos de concessão de crédito.

A definição de um calendário de leilões específicos para esta fonte energética, com o anúncio antecipado do volume de energia a ser contratado e uma regulação específica e apropriada, também seria muito bem recebido pelos investidores. Um plano de longo prazo governamental para a contratação de energia no país asseguraria os agentes investidores de que haveria demanda e os encorajaria no desenvolvimento de novos projetos. Ademais, criaria um ambiente ainda mais competitivo e propício para uma consolidação mais arrojada dessa fonte energética na matriz elétrica brasileira.

Embora o setor apresente alguns desafios setoriais, a situação da energia eólica no país é próspera. Como é possível observar, fatores externos e internos ao país resultaram neste cenário favorável. Sem dúvida, a crise econômica mundial, com a subsequente redução nos preços dos equipamentos, a evolução tecnológica, o desenvolvimento da indústria nacional e as ótimas condições ambientais foram os principais responsáveis. Aliados com as projeções mundiais de redução de custos e superação das adversidades internas, tais fatores proporcionarão uma trajetória ainda mais promissora para esta fonte de energia, corroborando assim, a concretização de sua expansão planejada para os próximos anos.

## REFERÊNCIAS

ABB. Better world. **Um novo vento para os parques eólicos offshore**. 2012. Disponível em: <<http://www.abb-betterworld.com/pt/case-study/um-novo-vento-para-os-parques-eolicos-offshore>>. Acesso em: out. 2012.

AG ENERGY. Alternative Energy Sources. **The Problem with Fossil Fuels**. 2012. Disponível em: <<http://www.agenenergy.org/the-problem-with-fossil-fuels.php>>. Acesso em: out. 2012.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2.ed. Brasília, DF: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2005.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3.ed. Brasília, DF: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2008.

ANEEL. **Banco de informações de geração**. 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>>. Acesso em: out. 2012.

AUMILLER, D. F. **Análise comparativa entre cenários energéticos do Brasil e de Portugal com foco nas fontes alternativas de energia**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

BARDELIN, C. E. **Os efeitos do racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com ênfase no consumo de energia elétrica**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <[http://www.pea.usp.br/Ingles/grupos/gepea/dissertacao\\_cesarendrigo\\_gestaodeenergia.pdf](http://www.pea.usp.br/Ingles/grupos/gepea/dissertacao_cesarendrigo_gestaodeenergia.pdf)>. Acesso em: out. 2012.

BARROS, C. J. O que fazem os bons ventos. **Problemas Brasileiros**. São Paulo, n.411, mai./jun. 2012. Disponível em: <[http://www.sescsp.org.br/sesc/revistas\\_sesc/pb/artigo.cfm?Edicao\\_Id=431&Artigo\\_ID=6556&DCategoria=7567&reftype=1&BreadCrumb=1](http://www.sescsp.org.br/sesc/revistas_sesc/pb/artigo.cfm?Edicao_Id=431&Artigo_ID=6556&DCategoria=7567&reftype=1&BreadCrumb=1)>. Acesso em: out. 2012.

BICALHO, R.; QUEIROZ R. **Segurança Energética & Mudança Climática: Estruturando o Debate Energético**. Rio de Janeiro, RJ: Grupo de Economia da Energia/UFRJ, 2012.

Disponível em: <[http://www.gee.ie.ufrj.br/arquivos/publicacoes\\_ceee/TD\\_gee\\_ibp\\_003-BicalhoFinal.pdf](http://www.gee.ie.ufrj.br/arquivos/publicacoes_ceee/TD_gee_ibp_003-BicalhoFinal.pdf)>. Acesso em: set. 2012

BLOGSPOT. Ana e Carlos de mala e cuia. 2012. Disponível em <<http://anaecarlosdemalaecuia.blogspot.com.br/2012/01/jaguariunaguabiruba.html>>. Acesso em: out. 2012.

BLOOMBERG. New Energy Finance. **Onshore wind energy to reach parity with fossil-fuel electricity by 2016**. 2011. Disponível em: <<http://bnf.com/PressReleases/view/172>>. Acesso em: out. 2012.

CARROCCI, L. R. Energia **Renovável – Fontes Alternativas de Energia. Energias: Eólica e Solar**. Guaratinguetá, SP: UNESP, 2011. Disponível em: <<http://www.abmbrasil.com.br/cim/download/Luiz%20Roberto%20Carrocci.pdf>>. Acesso em: set. 2012.

CNI. Energia Eólica. **Panorama mundial e Perspectivas no Brasil**. Brasília, DF: Confederação Nacional da Indústria, 2009. Disponível em: <<http://www.cni.org.br/portal/data/files/00/FF8080812300E36F0123061CD01C4D15/Energia%20Eólica.pdf>>. Acesso em: set. 2012.

CPFL. Companhia Paulista de Força e Luz. **Setor Elétrico no Brasil**. 2012. Disponível em <[http://cpfl.rweb.com.br/Show.aspx?id\\_canal=ppnXWDY7XvCglEh8qlJmgQ==](http://cpfl.rweb.com.br/Show.aspx?id_canal=ppnXWDY7XvCglEh8qlJmgQ==)>. Acesso em: out. 2012.

DUTRA, R. M. **Energia eólica: Princípios e tecnologia**. Rio de Janeiro: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Britto, 2008. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial\\_eolica\\_2008\\_e-book.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_eolica_2008_e-book.pdf)>. Disponível em: set. 2012.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Proposta para a expansão da geração eólica no Brasil**. 2009. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/leiloes/Documents/Leilão%20de%20Eólica%202009/NT-%20Eolica%20EPE-PRE01-2009-R1.pdf>>. Acesso em: set. 2012.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2020**. 2011. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/PDEE/20120302\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/PDEE/20120302_1.pdf)>. Acesso em: set. 2012.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Leilões**. 2012a. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: out. 2012.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Balanço Energético Nacional - Ano Base 2011: Resultados Preliminares**. 2012b. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados\\_Pre\\_BEN\\_2012.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf)>. Acesso em: set. 2012.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética). **Balanço Energético Nacional 2012: Ano Base 2011**. 2012c. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2012.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2012.pdf)>. Acesso em: set. 2012.

FREITAS JÚNIOR, G. **Produção de energia eólica deve deslanchar no Brasil**. Carta Capital, São Paulo, 03 maio 2011. Disponível em <<http://www.cartacapital.com.br/economia/producao-de-energia-eolica-deve-deslanchar-no-brasil/>>. Acesso em: out. 2012.

GWEC. Global Wind Energy Council. **Global Wind Energy Outlook 2008**. 2008. Disponível em <[http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/08/GWEO\\_2008\\_final.pdf](http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/08/GWEO_2008_final.pdf)>. Acesso em: set. 2012.

GWEC. Global Wind Energy Council. **Analysis of the regulatory framework in Brazil 2011**. 2011. Disponível em: <[http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/1Brazil\\_report\\_2011.pdf](http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/1Brazil_report_2011.pdf)>. Acesso em: set. 2012.

GWEC. Global Wind Energy Council. **Global Wind 2011 Report**. 2012. Disponível em: <[http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Annual\\_report\\_2011\\_lowres.pdf](http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Annual_report_2011_lowres.pdf)>. Acesso em: set. 2012.

IAB. Instituto Acende Brasil. **Leilões no Setor Elétrico Brasileiro: Análises e Recomendações. White paper 7**, São Paulo, 52 p. 2012. Disponível em: <[http://www.acendebrasil.com.br/archives/2012\\_WhitePaperAcendeBrasil\\_07\\_Leiloes\\_Rev2.pdf](http://www.acendebrasil.com.br/archives/2012_WhitePaperAcendeBrasil_07_Leiloes_Rev2.pdf)>. Acesso em: set. 2012.

JORNAL LIVRE. Seu Artigo na Web: **Quando surgiu a poluição?** Disponível em: <<http://www.jornallivre.com.br/320545/quando-surgiu-a-poluicao.html>>. Acesso em: out. 2012.

MENEZES, B. C. **Estudo da diversificação energética das empresas de petróleo**. III Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Salvador, BA: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás. c2004. Disponível em: <[http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0443\\_05.pdf](http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0443_05.pdf)>. Acesso em: set. 2012

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Energia eólica**. 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/energia-eolica>>. Acesso em: set. 2012.

MOURA, R. Tribuna do Norte. **Os desafios da indústria eólica**. Natal, 24 out. 2010. Disponível em: <<http://tribunadonorte.com.br/noticia/os-desafios-da-industria-eolica/163302>>. Acesso em: out. 2012

NEOENERGIA. Regulação. **O novo modelo do setor elétrico**. 2012. Disponível em: <<http://www.neoenergia.com/section/regulacao.asp>>. Acesso em: set. 2012.

PACHECO, Fabiana. **Energias Renováveis: Breves Conceitos**. Salvador, BA: Conjuntura Econômica n. 149, 2006. Disponível em: <[http://www.ieham.org/html/docs/Conceitos\\_Energias\\_renov%E1veis.pdf](http://www.ieham.org/html/docs/Conceitos_Energias_renov%E1veis.pdf)>. Acesso em: set. 2012.

PEREIRA, R. **Prorrogação do Proinfa vai custar mais R\$ 182 milhões a consumidor de energia**. O Estado de S. Paulo, São Paulo, 17 mai. 2011. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/impresso,prorrogacao-do-proinfa-vai-custar-mais-r-182-milhoes-a-consumidor-de-energia,720087,0.htm>>. Acesso em: out. 2012.

PEREIRA, R. **Energia eólica à espera de linhas no Sertão baiano**. O Estado de S. Paulo, São Paulo, 29 set. 2012. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/noticias/impresso,prorrogacao-do-proinfa-vai-custar-mais-r-182-milhoes-a-consumidor-de-energia,720087,0.htm>>. Acesso em: out. 2012.

PROINFA. **Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/>>, 2012. Acesso em: out. 2012.

REN21. Renewables 2012 Global Status Report. **Renewable Energy Policy Network for the 21st Century**. 2012. Disponível em: <<http://www.map.ren21.net/GSR/GSR2012.pdf>>. Acesso em: set. 2012.

RENOVÁVEIS. **Energia eólica offshore**. 2011. Disponível em:  
<<http://www.erenovaveis.com/2011/10/12/energia-eolica-offshore/>>. Acesso em: out. 2012.

RIO+20. Radar Rio+20. **Histórico**. 2012. Disponível em:  
<<http://www.radario20.org.br/index.php?r=conteudo/view&id=9>>. Acesso em: set. 2012.

SALINO, P. J. **Energia Eólica no Brasil: Uma Comparação do Proinfa e dos Novos Leilões**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em:  
<<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001705.pdf>>. Acesso em: out. 2012.

SANTOS, F. P. **Acidente Ecológico na Baía de Guanabara**. 2002. Disponível em:  
<[http://www.mundojuridico.adv.br/sis\\_artigos/artigos.asp?codigo=67](http://www.mundojuridico.adv.br/sis_artigos/artigos.asp?codigo=67)>. Acesso em: nov. 2012.

SIEMENS. **Siemens fornece 63 aerogeradores a cinco centrais brasileiras**. 2011. Disponível em:  
<[https://www.swe.siemens.com/portugal/web\\_nwa/pt/PortalInternet/QuemSomos/negocios/Energy/Noticias\\_Eventos/noticias/PublishingImages/onshore\\_72dpi.jpg](https://www.swe.siemens.com/portugal/web_nwa/pt/PortalInternet/QuemSomos/negocios/Energy/Noticias_Eventos/noticias/PublishingImages/onshore_72dpi.jpg)>. Acesso em: out. 2012

SIMAS, M. S. **Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil: estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2012/Teses/MoanaSimasoriginal.pdf>>. Acesso em: out. 2012.

SIMÕES, R. Seminário no Brazil Wind Power. Rio de Janeiro, RJ: **Associação Brasileira de Energia Eólica**, 2010.

UCZAI, Pedro; TAVARES, W. M.; QUEIROZ FILHO, A. P. Energias renováveis: riqueza sustentável ao alcance da sociedade. Brasília, DF: **Câmara dos Deputados**, Edições Câmara, 2012.

YAMAMOTO, S. Com a força dos ventos a gente vai mais longe. FIESP – 13o Encontro Internacional de Energia. Perspectivas e Oportunidades da Energia Eólica. São Paulo, SP: **Associação Brasileira de Energia Eólica**, 2012. Disponível em:

<<http://www.fiesp.com.br/energia/apresentacoes/sala01/07.08/0830-Elbia-Mello-sub-Sandro-Yamamoto.pdf>>. Acesso em: out. 2012.