



Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”
Faculdade de Ciências e Letras de Araraquara
Departamento de Economia

Energia eólica: uma alternativa de energia renovável para a matriz energética do Brasil?

Amanda Daniela Oliveira Passos Galeti

RA:130594-8

Orientadora:
Prof^ª. Dr^ª. Stela Luiza de Mattos Ansanelli

Examinadora:
Prof^ª. Dr^ª. Luciana Togeiro de Almeida

Araraquara, 2012

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, por toda Sua criação, pelo vento, pelo dom da vida, pelos cuidados e infinitas bênçãos concedidas até o presente momento.

A meus amados pais, por existirem, terem me criado, me amado, me apoiado desde sempre e terem me ajudado a chegar até aqui. Seu Edson e dona Marildes vocês são meu exemplo maior, amo vocês eternamente!

A meu amado irmão e futuro engenheiro, Marco Aurélio, por existir e ser esse menino de ouro, te amo meu preto!

Ao homem que entrou na minha vida inusitadamente, mas mudou minha perspectiva de futuro, me ensinou a amar intensa e eternamente, me ajudou como professor, me apoiou em todos os momentos e me ensinou a viver a vida com muito amor, paciência e perseverança, meu esposo, Helder Galeti. Te amo *ad infinitum*, Vida!

Aos meus filhotes felinos, “*amores di mamis*”, Scott e Charlotte, meus companheiros fiéis das madrugadas em claro estudando, da companhia enquanto o papai viaja, que me esperam até na porta do banheiro enquanto tomo banho. Amo vocês pra toda a vida!

Aos meus sogros pelo apoio e carinho dedicados desde que os conheci, à minha cunhada Nai, por ter estado presente desde o início dessa jornada, me ajudado sempre que precisei e ter me apresentado o amor da minha vida!

À minha professora e orientadora Stela, por ter aceito o convite de me orientar, muito obrigada.

Aos meus professores, tanto da UEM quanto da Unesp, por terem me ensinado tudo o que necessito para ser uma profissional competente.

Às instituições UEM e Unesp, pela possibilidade do aprendizado.

Às minhas irmãs de coração Lu e Bielli, por terem sido anjos enviados por Deus, me ajudando e apoiando nos momentos que mais precisei, sendo “ (...) *o broto do broto, a raiz da raiz, de uma árvore chamada amizade* (...)”, lembram?

Aos amigos de jornada que conheci nessa fase tão fantástica – vida universitária calanga (risos), Gabi’s (Cavichioli e Satin), Rapha, Rê, Meg, Paulinha, Carol, Laís, Maria, Sereia, Flavinha, Bianca, Cabinho, João Felipe, Maurillo, etc., valeu as risadas dadas, as matérias cedidas e às lutas enfrentadas. Desejo muito sucesso a todos!

A meus pais Marildes e Edson, pelo contínuo apoio, aos meus irmãos amados Marco Aurélio e Fábria (in memorian), ao amor da minha e meu eterno companheiro e esposo, Helder e aos meus filhotes felinos, companheiros fiéis, Scott e Charlote.

“Seja você a mudança que quer ver no mundo” – Mahatma Ghandi.

RESUMO

O presente trabalho possui o intuito de analisar o panorama de energia eólica em âmbito mundial, dando um enfoque maior para seu cenário no Brasil. Primeiramente, estudando a história da energia eólica, seu advento, para fins de solução ao viés ambiental e à necessidade de diversificação da matriz energética mundial, com a finalidade de assumir os compromissos firmados no Protocolo de Kyoto, e, no caso do Brasil, da menor dependência do abastecimento externo.

PALVRAS-CHAVE: Energia Eólica; Matriz Energética; Brasil.

ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEÓLICA – Agência Brasileira de Energia Eólica
AEEE – Associação Européia de Energia Eólica
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN – Balanço Energético Nacional
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CEPEL – Centro de Pesquisa em Energia Elétrica
CNI – Confederação Nacional das Indústrias
COFINS – Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
CPT/MS – Comissão Pastoral da Terra Regional Mato Grosso do Sul
CRESESB – Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
ERS – Energias Renováveis Sustentáveis
EUA – Estados Unidos da América
FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler
GEE – Gases do Efeito Estufa
GW – Giga Watt
GWEC - Global Wind Energy Council
IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo
IEA - International Energy Agency
IVA – Imposto sobre Valor Acrescentado
KM – Kilômetros
kWh – Kilo Watt Hora
M³ – Metros cúbicos
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário
MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MME – Ministério de Minas e Energia
MRE – Ministério das Relações Exteriores
MW – Mega Watt
MWh – Mega Watt Hora
OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ONU – Organização das Nações Unidas

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PETROBRAS – Petróleo Brasileiro

PIS – Programa de Integração Social

PNA – Plano Nacional de Agroenergia

PNPB – Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PROGER – Programa Tecnológico de Energias Renováveis

PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

SAF – Secretaria da Agricultura Familiar

SIPOT – Sistema de Informação do Potencial Hidrelétrico Brasileiro

TEEH – Turbina Eólica de Eixo Horizontal

TEEV – Turbina Eólica de Eixo Vertical

TEP – Toneladas Equivalente de Petróleo

UNIC-RJ – United Nations Information Centres-Rio de Janeiro

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 1. Meio Ambiente e Energia, Principais Fontes Energéticas – Vantagens e Desvantagens e Energia Eólica – Aspectos Gerais.....	3
1.1. Meio Ambiente e Energia.....	3
1.2. Principais Fontes Energéticas – Vantagens e Desvantagens.....	5
1.2.1. A importância da energia e a necessidade da diversificação da matriz energética.....	5
1.2.2. Fontes energéticas – Vantagens e Desvantagens.....	6
1.3. Energia Eólica – Aspectos Gerais	8
1.3.1. Aspectos históricos.....	8
1.3.2. Tipos de turbinas eólicas.....	10
1.3.3. Parques Eólicos com sistemas <i>offshore</i> e <i>onshore</i>	14
1.3.4. Vantagens e Desvantagens da Energia Eólica.....	16
CAPÍTULO 2. A Energia Eólica no Mundo.....	18
2.1. Principais tipos de energia utilizadas no mundo.....	18
2.2. A importância da Energia Renovável.....	20
2.3. Energia Eólica: Panorama Mundial.....	22
2.3.1. Da comercialização à capacidade instalada (cenário Europeu).....	22
2.3.2. Os 10 países que utilizam Energia Eólica em suas matrizes energéticas e a evolução dos preços da mesma.....	24
2.3.3. Estimativas para a capacidade instalada e custos para a Energia Eólica, no mundo, para os próximos 18 anos.....	26
CAPÍTULO 3. A Energia Eólica no Brasil.....	29
3.1. A composição da matriz energética do Brasil.....	29
3.1.1. Recursos não-renováveis pertencentes à matriz energética brasileira: Carvão Mineral e derivados, Petróleo e derivados, Urânio e Gás Natural.....	31
3.1.1.1. Petróleo.....	31
3.1.1.2. Gás Natural.....	32

3.1.2. Recursos renováveis pertencentes à matriz energética brasileira: Derivados de cana-de-açúcar, Lenha e Carvão Vegetal, Hidráulica e Energia Solar.....	33
3.1.2.1. Hidráulica.....	33
3.1.2.2. Derivados de Cana-de-açúcar	35
3.2. Matriz energética Brasileira <i>versus</i> Matriz energética Mundial.....	37
3.3 Matriz energética Brasileira <i>versus</i> Matriz energética Mundial.....	39
3.4. A Energia Eólica no Brasil.....	40
3.4.1. Eólico brasileiro e os principais Parques Eólicos.....	40
3.4.2. Perspectivas futuras da Energia Eólica.....	42
CONCLUSÃO.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: A utilização da força dos ventos pelos egípcios.....	17
Figura 1.2: Moinho de vento Pitstone, que se acredita ser o mais antigo moinho de ventos das Ilhas Britânicas.....	18
Figura 1.3: (a)Turbina Eólica de Eixo Horizontal (TEEH). (b) Turbina Eólica de Eixo Vertical (TEEV) e (c) Turbina de Darrieus.....	19
Figura 1.4: TEEV de projeto Darrieus.....	19
Figura 1.5: Como funciona a energia eólica.....	20
Figura 1.6: Parque eólico <i>offshore</i> de Middelgrunden (<i>Dinamarca</i>).....	21
Figura 1.7: Parque eólico em Osório (RS), um dos pioneiros e maiores complexos de energia gerada pelo vento do Brasil, exemplo de parque eólico	21
Figura 2.1: Top 10 de novas capacidades instaladas Jan/Dez 2011.....	24
Figura 2.2: Redução do preço da energia eólica entre 1979 até 2003.....	26
Figura 3.1: Aproveitamento do Potencial Hidrelétrico Brasileiro, por Região (%).....	34
Figura 3.2: Atlas do potencial eólico brasileiro.....	41
Figura 3.3: O mapa das eólicas.....	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1: Matriz energética mundial em 2002.....	20
Gráfico 2.2: Produção de Energia Elétrica através de Energias Renováveis de Agosto de 2008 e Agosto de 2009.....	22
Gráfico 2.3: Capacidade instalada na Europa final de 2008.....	23
Gráfico 2.4: Energia Eólica no Mundo (2009).....	25
Gráfico 2.5 : Usinas eólicas no mundo.....	25
Gráfico 2.6: Evolução dos Custos de Energias Renováveis(US\$/MWh).....	27
Gráfico 2.7: Oferta global de energia (perspectivas para 2030).....	28
Gráfico 3.1: Evolução de estrutura de oferta de energia 1970-2030.....	30
Gráfico 3.2: Oferta interna de energia (%) 1970-2002.....	30
Gráfico 3.3: Emissões no Brasil e Metas mundiais (OCDE).....	31
Gráfico 3.4: Petróleo: Capacidade de Produção x Demanda.....	32
Gráfico 3.5: Evolução da produção do etanol no mundo.....	36
Gráfico 3.6: Comparação das vendas no mercado interno e externo de etanol da empresa COSAN.....	36
Gráfico 3.7: Matriz energética do Brasil versus Matriz energética Mundial, em termos de percentual de energia renovável produzida – 2006.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Principais problemas ambientais.....	19
Tabela 1.2: Características das Principais Fontes de Energia.....	19
Tabela 1.3: Vantagens e Desvantagens da utilização da Energia Eólica.....	23
Tabela 2.1: As 10 maiores reservas de petróleo do mundo.....	19
Tabela 2.2: Reservas provadas, produção e consumo de petróleo no mundo em 2002....	19
Tabela 2.3: Comparação de capacidade gerada por capacidade instalada entre a Usina Hidrelétrica Binacional de Itaipu e Parques Eólicas de Portugal.....	23
Tabela 2.4: Dez países líderes em capacidade instalada de Energia Eólica. Ano base 2009.....	24
Tabela 3.1: Potencial hidrelétrico brasileiro por bacia hidrográfica: situação em março de 2004.....	34

INTRODUÇÃO

Diante de um mundo com uma população crescente, onde a demanda de energia cresce em uma proporção dobrada a cada 30 anos, aproximadamente, surge um tremendo desafio aos governantes mundiais na tentativa de buscar atender às necessidades de uma população global crescente e, ao mesmo tempo, reduzir o impacto do uso da energia sobre o meio ambiente. Isso exigirá um conjunto integrado de soluções que inclui a expansão de todas as fontes econômicas de energia. Ao mesmo tempo, também será necessário melhorar eficiências e mitigar emissões através do emprego de novas tecnologias e de combustíveis de queima mais limpa (EXXON MOBIL, 2012). Caso nenhuma atitude mais concreta for tomada por parte dos países, as emissões de CO₂ irão mais do que dobrar até 2050 e o aumento da demanda por petróleo irá agravar as preocupações com o suprimento de energia (GAVINO, 2011).

Frente a esses desafios, a maioria dos governos dos vários países têm buscado despertar para os desafios que aparecem em torno do setor energético, no que diz respeito à segurança energética e à preservação do meio ambiente, não somente por conscientização da nação, mas muitas vezes, como iremos ver, com o intento de atender aos compromissos firmados no Protocolo de Kyoto.

Os choques do Petróleo na década de 1970, os blecautes ocorridos em 2001, no caso do Brasil, levou grande parte dos países a se questionarem sobre a importância estratégica da capacidade de um país gerar energia para suprir sua demanda interna. Nesse sentido, os governos dos vários países têm caminhado no sentido da busca por diversificação de suas matrizes energéticas com fontes alternativas de energia, a fim de diminuir sua dependência dos combustíveis fósseis e atingirem as metas propostas pelos órgãos mundiais, no intento de diminuir os GEE.

É inserido neste contexto, que surge a importância da energia eólica, por ser uma importante fonte de energia renovável e uma das mais avançadas em termos tecnológicos e de aplicação, pois além de não emitir gases poluentes, utiliza um combustível inesgotável – o vento. Podendo ser aplicada em sistemas isolados ou em rede, possui uma instalação muito mais rápida que uma hidrelétrica, por exemplo, como no caso do Brasil.

Apesar de ser uma fonte de energia relativamente nova, a energia eólica possui uma tecnologia muito avançada e tem se mostrado totalmente eficaz nos países em que são

instaladas. No entanto, por ser uma tecnologia de obtenção de energia nova, ainda possui custos relativamente altos, quando comparados com as fontes principais de energia, responsáveis pela geração de energia elétrica nos diversos países, e ainda há a necessidade de se desenvolver e se aperfeiçoar ainda mais, contudo seus resultados chegam a surpreender até as opiniões mais otimistas.

À luz deste cenário, o presente trabalho irá analisar o desenvolvimento da energia eólica no âmbito mundial e, principalmente, no caso do Brasil. No decorrer do trabalho, buscaremos definir ações que possibilitem a criação de um ambiente favorável ao desenvolvimento dessa fonte de energia no país.

Sendo assim, este trabalho se subdividirá em três capítulos, sendo que o primeiro irá abordar a questão do Meio Ambiente e Energia, Principais Fontes Energéticas – Vantagens e Desvantagens e Energia Eólica – Aspectos Gerais; o segundo falará a respeito da Energia Eólica no Mundo, e por fim, o terceiro abordará a questão da Energia Eólica no Mundo.

Capítulo 1. Meio Ambiente e Energia, Principais Fontes Energéticas – Vantagens e Desvantagens e Energia Eólica – Aspectos Gerais

De acordo com a crescente preocupação mundial com os danos causados ao meio ambiente e à grande necessidade de obtenção de energia para atender às necessidades da população mundial, muitos países buscam soluções para atender essa conexão existente entre meio ambiente-energia. Baseado nesse contexto, o presente capítulo busca analisar, em um primeiro momento, os danos causados ao meio ambiente dado pelo escopo da obtenção de energia. Num segundo momento, será feita a abordagem das principais fontes de obtenção de energia utilizadas pelo homem, em âmbito mundial, e as principais vantagens e desvantagens obtidas pelas mesmas. Por fim, a abordagem minuciosa da energia eólica, o foco central de estudo deste trabalho, desde seu surgimento até as vantagens e desvantagens de sua utilização.

1.1 Meio Ambiente e Energia

A década de 1960 é apontada por muitos como a pioneira em assuntos ambientalistas. Um projeto que surgiu na segunda metade do século XX, de um grupo de cientistas do chamado Clube de Roma, mas publicado somente no ano de 1972, com o relatório intitulado *Limits to Growth*¹ pelo Relatório de *Brundtland*², é o trabalho que dá o pontapé inicial para a busca de um desenvolvimento sustentável, no qual busca o reconhecimento finito dos recursos naturais diante do anseio infinito de consumo do ser humano.

Após essa publicação, a preocupação com as agressões ao meio ambiente levaram os países a repensarem suas legislações e a então promover leis ambientais que buscassem minimizar tais agressões.

¹ *Limits to Growth*: limites do crescimento. O Clube de Roma, composto por cientistas, industriais e políticos, tinha como objetivo discutir e analisar os limites do crescimento econômico levando em conta o uso crescente dos recursos naturais (WADA, 2012).

² Relatório de *Brundtland*: também chamado *Nosso Futuro Comum* (*Our Common Future*) é o documento final da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, promovida pela ONU, nos anos 80 e chefiada pela então primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland (HASWANI, 2008).

As mudanças enfrentadas pelo meio ambiente podem ser, de maneira geral, classificadas em duas categorias: aquelas geradas por causas naturais, das quais podemos citar as estações do ano, os terremotos, as erupções vulcânicas, os furacões e etc., bem como aquelas causadas por fatores antropogênicos, como o desmatamento de florestas, a poluição do ar, entre outras. Muitas dessas mudanças estão fora de nosso controle, no entanto outras, devido à ação do homem, podem antecipar ou reparar esses prejuízos causados pela própria natureza.

O fim da Revolução Industrial, no início do século XIX, no entanto, com mais intensidade no século XX, tornou a ação do homem sobre o meio ambiente mais veemente, muito pelo aumento populacional, mas principalmente, pelo aumento do consumo. O resultado de tanta pressão ambiental pela ação do homem gerou preocupação por parte de estudiosos da área, tornando muitos desses fatores objeto de estudo (GOLDEMBERG, 1998). A Tabela 1.1 nos fornece uma noção de alguns dos principais problemas ambientais mais preocupantes e inicialmente estudados.

<i>Problema ambiental</i>	<i>Principal fonte do problema</i>	<i>Principal grupo social afetado</i>
Poluição urbana	Energia (indústria e transporte)	População urbana
Poluição do ar em ambientes fechados	Energia (cozinhar)	Pobres nas zonas rurais
Chuva ácida	Energia (queima de combustível fóssil)	Todos
Diminuição da camada de ozônio	Indústria	Todos
Aquecimento por efeito estufa e mudança de clima	Energia (queima de combustível fóssil)	Todos
Disponibilidade e qualidade de água doce	Aumento populacional, agricultura	Todos
Degradação costeira e marinha	Transporte e energia	Todos
Desmatamento e desertificação	Aumento populacional, agricultura e energia	Pobres rurais
Resíduos tóxicos, químicos e perigosos	Indústria e energia nuclear	Todos

Tabela 1.1: Principais problemas ambientais

Fonte: GOLDEMBERG, J. 1998, p-62. Elaboração Própria.

Apesar do aumento populacional e do consumo serem grandes fatores que colaboram para um aumento da pressão sobre o meio ambiente, a produção e utilização

da energia, como afirma Goldemberg (1998), é a origem de muitos destes problemas. A chuva ácida e o efeito estufa se originam principalmente em virtude da queima de combustíveis fósseis. A degradação costeira e marinha, devido a vazamentos de petróleo, é uma forma indireta, mas relacionada com a geração de energia. Alguns desastres e perigos ambientais se devem, de certa forma, à obtenção de energia, como fica evidente pelo acidente nuclear de Chernobyl (GOLDEMBERG, 1998), e com o caso recente de Fukushima.

Frente a essas preocupações, a necessidade da criação de novas fontes de energia originárias de fontes renováveis para viabilizar a diversificação, e em algumas casos até a substituição total da matriz energética a longo prazo do país, tem sido a principal questão de discussão em diversos países.

1.2 Principais Fontes Energéticas – Vantagens e Desvantagens

1.2.1 A importância da energia e a necessidade da diversificação da matriz energética

Desde os primórdios da Terra, o homem utiliza a energia em suas tarefas diárias. A simples tarefa de cozinhar, tomar banho em dias frios, assistir televisão ou ouvir uma música necessita de alguma forma de energia para viabilizar tais ações.

O marco da utilização da energia pelo homem se dá no século XVIII, com a invenção da Máquina a Vapor, quando se iniciava a era da Revolução Industrial. A utilização da energia através da máquina a vapor foi utilizada em um primeiro momento pelos teares mecânicos e locomotivas, passando, em seguida, a ser o combustível que movia não só o navio a vapor, como o comércio mundial. Em meados do século XIX, a diversificação das fontes de energia levou os combustíveis fósseis para o centro da matriz energética.

Os choques do petróleo, sucedidos na década de 1970, surgem para indicar uma necessidade de diversificação nas matrizes energéticas dos países, não só com o intuito de mostrar a importância estratégica de ser capaz de gerar energia para abastecer a demanda interna, mas também para diminuir o impacto de agressão ao meio ambiente e mostrar a existência da incerteza de oferta de tal produto (GAVINO, 2011).

1.2.2 Fontes energéticas – Vantagens e Desvantagens

Da necessidade de diversificação das fontes de obtenção de energia, foram criadas duas categorias de classificação da energia quanto à sua obtenção e uso: a de energias renováveis e a de energias não renováveis. No primeiro grupo estão aqueles tipos de energia que, de certa forma, relacionam-se com desenvolvimentos mais recentes de obtenção e conversão de energia em larga escala, com capacidade de regeneração e obtidas de forma natural, como a energia solar, eólica, de biomassa e hidroelétrica. Já o segundo grupo engloba os tipos de energia em que os recursos naturais utilizados em não podem ser devolvidos à natureza e regenerados, de forma a obter energia de forma cíclica ou por recomposição. Nestes se enquadram os combustíveis fósseis e elementos radiativos, que são recursos esgotáveis como o petróleo, o carvão mineral, o urânio, etc.

A tabela a seguir fará uma abordagem, de forma sintetizada, dos principais tipos de energia utilizadas pelo homem no mundo e as vantagens e desvantagens obtidas por cada tipo citado.

Fonte	Obtenção	Usos	Vantagens	Desvantagens
Petróleo	Matéria resultante de transformações químicas de fósseis animais e vegetais. Extraído em reservas marítimas ou continentais.	Produção de energia elétrica. Matéria-prima da gasolina e do diesel e de outros produtos como plástico, borracha sintética, ceras, tintas, gás e asfalto.	Domínio da tecnologia para exploração e refino. Facilidade de transporte e distribuição.	É um recurso esgotável. Libera dióxido de carbono na atmosfera, poluindo o ambiente e colaborando para o aumento da temperatura.
Gás Natural	Ocorre na natureza associado ou não ao petróleo. A pressão nas reservas impulsiona o gás	Aquecimento; combustível para geração de eletricidade, veículos, caldeiras e	Pode ser utilizado nas formas gasosa e líquida; existe um grande número de reservas.	É um recurso esgotável. A construção de gasodutos e metaneiros (navios especiais) para

	para a superfície, onde é coletado em tubulações.	fornos; matéria-prima de derivados do petróleo.		o transporte e distribuição requer altos investimentos. Influencia na formação de chuva ácida e na alteração climática.
Nuclear	Reatores nucleares produzem energia térmica por fissão (quebra) de átomos de urânio. A energia produzida aciona um gerador elétrico.	Produção de energia elétrica. Fabricação de bombas atômicas.	As usinas podem ser instaladas em locais próximos aos centros de consumo. Não emite poluentes que influem sobre o efeito estufa.	Não há tecnologia para tratar o lixo nuclear. A construção dessas usinas é cara e demorada. Há riscos de contaminação nuclear.
Hidroeletricidade	A energia liberada pela queda de grande quantidade de água represada move uma turbina que aciona um gerador elétrico.	Produção de energia elétrica.	Não emite poluentes. A produção é controlada. Não influencia no efeito estufa.	Inundação de grandes áreas, deslocamento de populações. A construção dessas usinas também é cara e demorada.
Carvão mineral	Materia que resulta das transformações químicas de grandes florestas soterradas. Extraído em minas subterrâneas ou a céu descoberto em bacias sedimentares.	Produção de energia elétrica. Aquecimento. Matéria-prima de fertilizantes.	Domínio da tecnologia de aproveitamento. Facilidade de transporte e distribuição.	Influencia na formação da chuva ácida devido à liberação de poluentes como dióxido de carbono (CO ₂) e enxofre (SO ₂) e óxidos de nitrogênio durante a combustão.
Solar	Lâminas ou painéis recobertos com material semicondutor	Produção de energia elétrica. Aquecimento.	Não é poluente. Não influi no efeito estufa. Não precisa de turbinas ou	Exige investimentos iniciais de relativa monta para o seu

	capturam a luminosidade recebida do Sol para gerar corrente elétrica.		geradores para a produção de energia elétrica.	aproveitamento.
Biomassa	A matéria orgânica é decomposta em caldeiras ou em biodigestores. O processo gera gás e vapor que aciona uma turbina e move um gerador elétrico.	Aquecimento. Produção de energia elétrica. Produção de biogás ou gás natural (metano).	É fonte renovável. Sua ação sobre o efeito estufa pode ser equilibrada: o gás carbônico liberado durante a queima é absorvido no ciclo de produção.	Exige investimentos iniciais para o seu aproveitamento.

Tabela 1.2: Características das Principais Fontes de Energia

Fonte: *Energia, ambiente e desenvolvimento*. 2006.

1.3 Energia Eólica – Aspectos Gerais

1.3.1 Aspectos históricos

O termo eólico vem do latim *aeolicus*³, que pertence a Éolo, o deus dos ventos na mitologia grega. Esse tipo de energia gerada pelo vento é utilizada desde tempos remotos por povos antigos para mover barcos a vela e para fazer a moagem dos grãos pelos moinhos.

A energia eólica é 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 cata-ventos (e moinhos), para trabalhos mecânicos como bombeamento d'água (ANEEL, 2004).

Acredita-se, que a primeira utilização do vento para fins práticos ocorreu há quatro milênios, o correspondente a 2.000 a.C., pelos povos egípcios (Figura 1.1), que

³aeolicus: termo no latim.

utilizavam a energia proveniente do vento para mover os barcos a vela ao longo dos mares.



Figura 1.1: A utilização da força dos ventos pelos egípcios

Os persas foram os primeiros povos que utilizaram o moinho de vento com a finalidade de moer grãos. Esse período se deu entre alguns séculos a.C. e 700 d.C. Estes primeiros modelos possuíam uma ou mais vigas de madeira colocadas verticalmente e em sua base havia uma pedra de rebolo fixada ao eixo rotativo que girava com o vento. Essas mós eram elevadas para que fosse possível capturar os ventos e utilizá-los ao máximo possível, conforme mostra a Figura 1.2. No início do século XI essa técnica chegou à Europa, levada pelos cruzados europeus, surgindo o moinho de vento do estilo holandês que conhecemos (LAYTON, 2012).



Figura 1.2: Moinho de vento Pitstone, que se acredita ser o mais antigo moinho de ventos das Ilhas Britânicas

Fonte: LAYTON, J. 2012 (Foto cedida por GNU.org/Michael Reeve).

A técnica de obtenção de energia através dos ventos já estava bem desenvolvida no início do século XX, quando aproximadamente meio milhão de moinhos de vento eram utilizados para gerar energia e bombear água para algumas áreas rurais. Sua utilização declinou justamente no momento em que muitas cidades do interior dos EUA a utilizavam. No entanto, a crise do petróleo na década de 70 a fez ressurgir (LAYTON, 2012) como meio de suprir necessidades urgentes.

É possível verificar que nas últimas três décadas não só o esgotamento do meio ambiente se evidenciou e a necessidade de autonomia energética cresceu, como também aumentaram os incentivos políticos à pesquisa e desenvolvimento (P&D) de obtenção em larga escala da energia eólica, com investimentos na ampliação do número e da eficiência de parques eólicos.

1.3.2. Tipos de turbinas eólicas

Apesar de apenas um tipo de turbina eólica ser a mais utilizada na grande maioria dos parques eólicos, existem dois tipos principais dessas turbinas: a turbina eólica de eixo horizontal (TEEH) – a mais utilizada e conhecida por todos, e a turbina

eólica de eixo vertical (TEEV) que é bem mais rara e o único modelo conhecido para fins comerciais é a turbina de Darrieus (LAYTON, 2012). A Figura 1.3 abaixo mostra um exemplo de cada uma das turbinas eólicas citadas.



(a)

(b)

(c)

Figura 1.3: (a) Turbina Eólica de Eixo Horizontal (TEEH). (b) Turbina Eólica de Eixo Vertical (TEEV) e (c) Turbina de Darrieus

Fonte: LAYTON, J. 2012. (Fotos cedidas por NREL – do meio e Solwind Ltd).

As TEEVs possuem uma montagem em eixo vertical que é perpendicular ao solo. As características que a diferem das TEEHs é que as TEEVs não necessitam de ajustes para se alinharem ao vento, por estarem permanentemente alinhadas. Elas necessitam, no entanto, de um impulso em seu sistema elétrico para darem partida. Sua sustentação é dada por cabos de amarração, para que a elevação do rotor seja menor. Por não ser elevada, seu contato com o solo gera uma menor velocidade do vento, o que as leva a serem menos eficientes. Sua vantagem é ter seus equipamentos a nível do solo, o que facilita os serviços e eventual manutenção. No entanto, essa proximidade do solo requer uma maior área para sua instalação, algo ruim para áreas de cultivo (LAYTON, 2012).

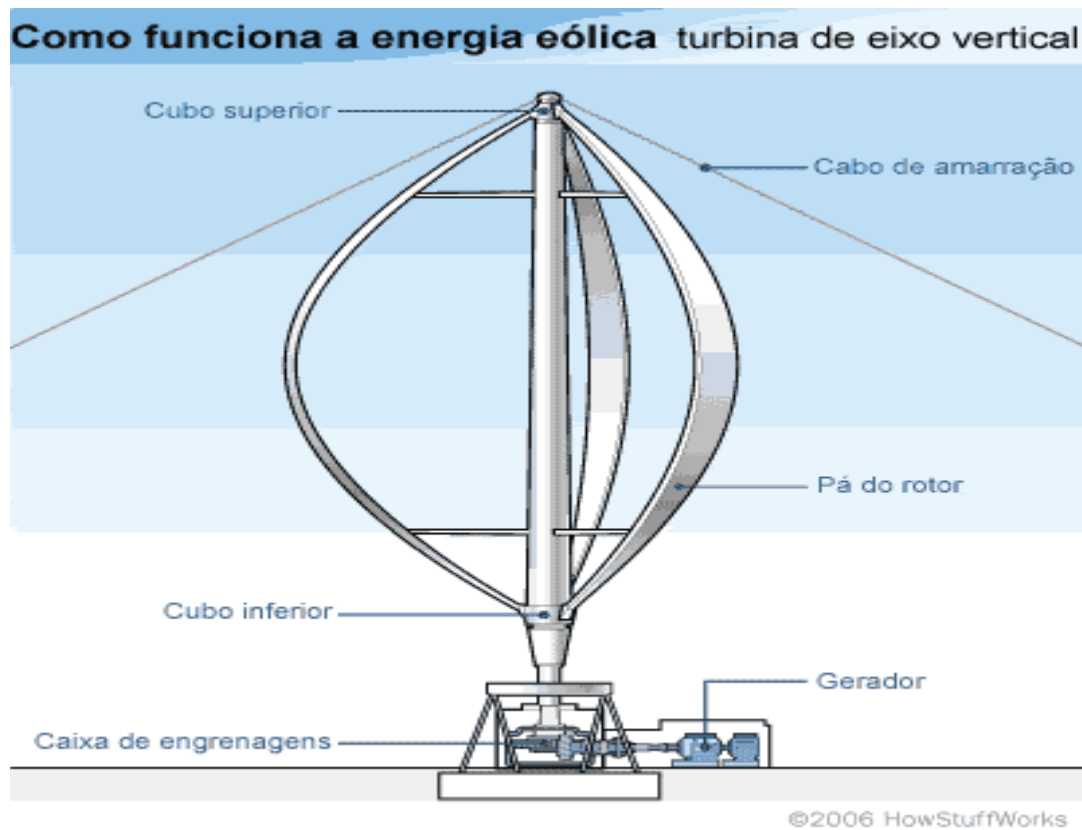


Figura 1.4: TEEV de projeto Darrieus

Fonte: LAYTON, J. 2012.

Ainda que exista o modelo de TEEV, as mais utilizadas e produzidas em larga escala são as TEEHs. Este tipo de turbina eólica é montado na horizontal, paralela ao solo e necessita de ajuste sempre que a direção do vento muda. Seu sistema de ajuste padrão é composto por motores elétricos e caixas de engrenagens que movem o rotor para a direção desejada. Por um controlador eletrônico da turbina é feita uma leitura da posição de um dispositivo catavento, que pode ser mecânico ou eletrônico, que ajusta a posição do rotor para apanhar o máximo de energia eólica possível. A altura elevada é ideal para um maior aproveitamento da energia dos ventos, além de utilizar um terreno menor para sua instalação (LAYTON, 2012).

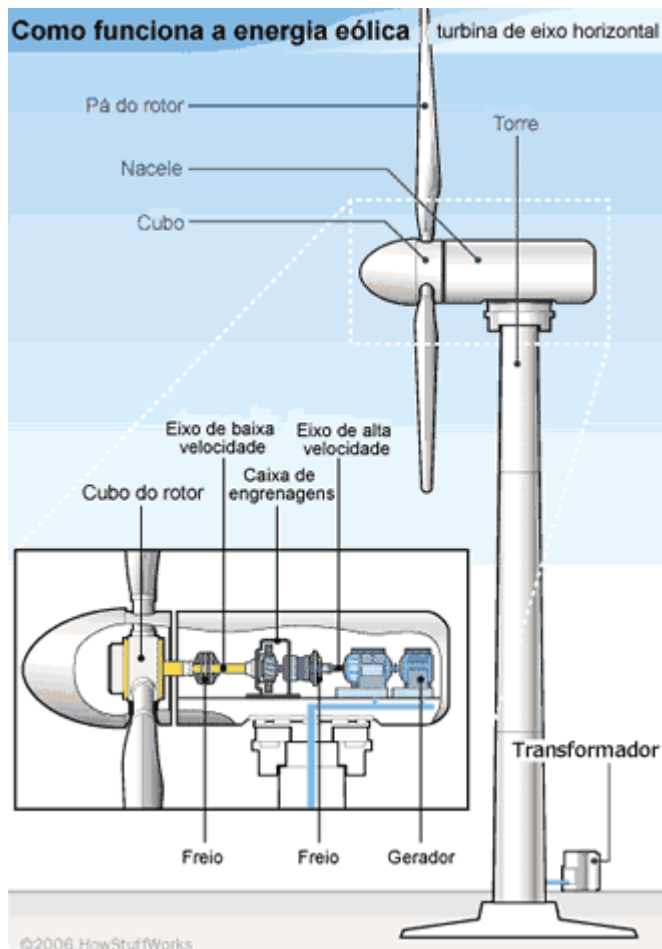


Figura 1.5: Como funciona a energia eólica

Fonte: LAYTON, J. 2012.

Conforme a figura mostrada 1.5 acima, uma turbina eólica ou uma TEEH é composta, de acordo com Layton (2012), por:

1. **pás do rotor:** capturam a energia do vento e a convertem em energia rotacional no eixo;
2. **eixo:** transfere a energia rotacional para o gerador;
3. **nacelle:** é a carcaça que abriga:
 - 3.1. **caixa de engrenagens:** aumenta a velocidade do eixo entre o cubo do rotor e o gerador;
 - 3.2. **gerador:** usa a energia rotacional do eixo para gerar eletricidade a partir de indução eletromagnética;

3.3. **unidade de controle eletrônico** (não mostrada): monitora o sistema, desliga a turbina em caso de mau funcionamento e controla o mecanismo de ajuste para alinhamento da turbina com o vento;

3.4. **controlador** (não mostrado): move o rotor para alinhá-lo com a direção do vento;

3.5. **freios**: detêm a rotação do eixo em caso de sobrecarga de energia ou falha no sistema.

4. **torre**: sustenta o rotor e a nacela, além de erguer todo o conjunto a uma altura onde as pás possam girar com segurança e distantes do solo;

5. **equipamentos elétricos**: transmitem a eletricidade do gerador através da torre e controlam os diversos elementos de segurança da turbina.

Esse conjunto de componentes são ativados por um tipo de princípio, conhecido como o princípio da aerodinâmica.⁴

1.3.3. Parques Eólicos com sistemas *offshore* e *onshore*

Além dos tipos de turbinas eólicas, existem também dois tipos de tecnologias para a instalação de parques eólicos, que são os sistemas *onshore* e *offshore*.

⁴ A maioria dos princípios de aerodinâmica estão ligados às duas forças aerodinâmicas básicas – sustentação e arrasto. **Sustentação** é uma força aerodinâmica produzida pelo movimento de um aerofólio (asa) através do ar. A sustentação dá a um avião a capacidade de subir no ar e aí se manter durante o voo. Um aerofólio que se move no ar produz a sustentação porque exerce em sua superfície inferior uma pressão maior do que na superfície superior. Um aerofólio cria essa diferença de pressão por causa de sua forma especial, chamada curvatura, e da deflexão (desvio) do ar. A quantidade de sustentação produzida por uma asa depende em parte de seu ângulo de ataque e de seus dispositivos de alta sustentação. **Arrasto**. É uma força aerodinâmica que opõe resistência ao movimento de um objeto para diante. A forma do objeto aumenta a força de arrasto. Aos objetos fabricados com formas destinadas a produzir o mínimo possível de arrasto damos o nome de aerodinâmicos. Os projetistas da indústria aeronáutica, desenham os aviões de modo a reduzir ao mínimo o arrasto. Os aviões construídos segundo esses princípios precisam de motores menos potentes para voar, e a redução do arrasto também melhora o desempenho do avião. Outros meios de transporte também estão sujeitos ao arrasto.

Os parques eólicos dotados com sistema *offshore* são aqueles instalados em superfícies aquáticas, como mares e grandes lagos. Eles ganharam força na última década, onde um número bem maior de países passaram a instalar essas turbinas gigantes em suas águas (CINTRA, 2012).

O maior parque eólico do mundo com sistema *offshore*, entrou em operação recentemente ao largo da costa do Reino Unido. Os benefícios destes tipos de turbinas, são que elas são menos agressivas ao meio ambiente e à paisagem, que as instaladas em terra, uma vez que seu tamanho e ruído são atenuados pela distância. Como a água tem menor coeficiente de atrito que as superfícies de terra (especialmente água profunda), a velocidade média do vento é geralmente muito maior sobre a água em alto mar. No entanto, seu custo de instalação é bem maior que aquelas instaladas em terra (CINTRA, 2012).



Figura 1.6: Parque eólico *offshore* de Middelgrunden (Dinamarca)
Fonte: http://www.apab.org/fr/page.php?id_rubrique=3&id_sous_rubrique=23

Os parques eólicos *onshore*, existentes em maior escala, são aqueles parques compostos por aerogeradores com sua base instalada no solo. Seu principal ponto positivo é o baixo custo de instalação, quando comparado com os sistemas *offshore*. O lado ruim são os ruídos que os aerogeradores produzem e a poluição visual, dada pela quantidade de turbinas.



Figura 1.7: Parque eólico em Osório (RS), um dos pioneiros e maiores complexos de energia gerada pelo vento do Brasil, exemplo de parque eólico *onshore*

Fonte: COUTO, 2012.

1.3.4. Vantagens e Desvantagens da Energia Eólica

Como a energia eólica é uma fonte de energia quase 100% limpa, uma vez que mesmo os subprodutos dos aerogerados sejam recicláveis e o impacto ambiental seja relativamente baixo, é possível verificar que os pontos positivos de sua utilização superam os negativos. Como todas as fontes de energia, ela também possui pontos negativos. Já o aspecto da viabilidade econômica de sua obtenção e uso, que foi grande empecilho para seu maior desenvolvimento no passado, será discutido em capítulos posteriores.

A tabela abaixo irá mostrar os pontos positivos e negativos da energia em questão.

Vantagens	Desvantagens
É inesgotável;	A intermitência, ou seja, nem sempre o vento sopra quando a eletricidade é necessária, tornando difícil a integração da sua produção no programa de exploração;
Não emite gases poluentes, nem gera resíduos;	Pode ser ultrapassado com as pilhas de combustível (H2) ou com a técnica da bombagem hidroelétrica;
Diminui a emissão de gases do efeito estufa (GEE);	Morte de pássaros, por conta do choque com as pás;
Criação de emprego;	Ruídos provocados pelos aerogeradores.
Geração de investimento em zonas desfavorecidas;	
Benefícios financeiros (proprietários);	
Reduz a elevada dependência energética do exterior;	
Poupança devido à menor aquisição de direitos de emissão de CO2 por cumprir o protocolo de Kyoto e diretivas comunitárias, e menores penalizações por não cumprir;	
Possível contribuição de cota de GEE para outros sectores da atividade económica;	
É uma das fontes mais baratas de energia podendo competir em termos de rentabilidade com as fontes de energia tradicionais;	
Requer escassa manutenção (semestral);	
Boa rentabilidade do investimento.	

Tabela 1.3: Vantagens e Desvantagens da utilização da Energia Eólica

Fonte: ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2012. Elaboração própria.

Dado o panorama geral sobre os princípios e fundamentos da geração da energia eólica, seu impacto com meio ambiente e um breve histórico de seu desenvolvimento, vamos no capítulo a seguir discutir alguns aspectos econômicos da energia eólica no mundo.

Capítulo 2. A Energia Eólica no Mundo

Antes de analisarmos o panorama mundial da Energia Eólica, faremos uma abordagem geral dos principais tipos de energia utilizadas em âmbito mundial, juntamente com a análise da importância de utilizar energias renováveis, para aí sim falar dos aspectos mundiais da Energia Eólica. Neste segundo momento, analisaremos o *ranking*¹ dos 10 países que utilizam a energia eólica como uma das principais fontes de obtenção de energia em sua matriz energética, a evolução desta no decorrer dos anos, bem como seus preços. Por fim será feito um diagnóstico a respeito da previsão da energia eólica mundial para os próximos 18 anos, juntamente com as perspectivas de preço da mesma.

2.1. Principais tipos de energia utilizadas no mundo

Não é de se espantar que a maioria dos insumos energéticos utilizados a nível mundial são o carvão, o petróleo e o gás natural, segundo a CNI (2007). No entanto, as fontes energéticas utilizadas em cada país está diretamente relacionada à disponibilidade das mesmas em cada região, da necessidade de uso e do poder de compra dos países (CAIUBI, 2011).

De acordo com a Confederação Nacional das Indústrias (2007), a CNI, são dez os países que concentram 85% das reservas mundiais de petróleo, sendo que a maioria deles encontram-se envolvidos em conflitos geopolíticos. Dessa porcentagem total a maior parte destina-se ao setor de transporte (gasolina, óleo diesel e querosene), e uma outra parte, em menor quantidade que os combustíveis na geração de algum tipo de energia, destina-se aos produtos industrializados com sua base no petróleo, que vão desde a parafina e da nafta petroquímica aos tecidos e plásticos (IBP, 2010).

¹ Ranking: classificação.

Países	Quantidade (em bilhões de barris equivalentes)
1° - Rússia	379,1
2° - Irã	314,3
3° - Arábia Saudita	308,7
4° - Qatar	174,6
5° - Emirados Árabes	135,6
6° - Iraque	134,9
7° - Kuwait	112,7
8° - Venezuela	107,1
9° - Brasil	94,4
10° - Nigéria	69,0

Tabela 2.1: As 10 maiores reservas de petróleo do mundo
Fonte: Petrobrás e British Petroleum (Base de dados de 2007)

A tabela abaixo, segundo a ANEEL (2004), distribui mais especificamente entre os países detentores, por parcela de contribuição, as reservas mundiais de petróleo:

	Reservas (R)		Produção (P)		Consumo		R/P*
	10 ⁶ ton	Participação no total	10 ⁶ ton	Participação no total	10 ⁶ ton	Participação no total	Anos
América do Norte	6.400	4,8%	664,40	18,7%	1.064,90	30,2%	9,63
América do Sul e Central	14.100	9,4%	335,72	9,4%	214,80	6,1%	42,00
Europa e antiga URSS	13.300	9,3%	784,21	22,0%	925,20	26,3%	16,96
Oriente Médio	93.400	65,4%	1.014,60	28,5%	207,40	5,9%	92,06
África	10.300	7,4%	376,44	10,6%	118,60	3,4%	27,36
Ásia (Pacífico)	5.200	3,7%	381,42	10,7%	991,60	28,1%	13,63
Total	142.700	100,0%	3.556,79	100,0%	3.522,50	100,0%	40,12
Brasil	1.100	0,8%	74,40	2,1%	85,40	2,4%	14,78

Tabela 2.2: Reservas provadas, produção e consumo de petróleo no mundo em 2002
Fonte: ANEEL, 2004.

(*) Tempo que as reservas durariam, sem novas descobertas e com o nível de produção de 2002.

Igualmente de origem fóssil, o carvão mineral e o gás natural também são utilizados para gerar energia, no entanto não possuem a mesma unanimidade na utilização como o petróleo. Estima-se que o total empregado, tanto do carvão mineral como do gás natural, na geração de energia no ano de 2002, se deu por volta de 23,5% e 21%, respectivamente (MIRANDA, 2012).

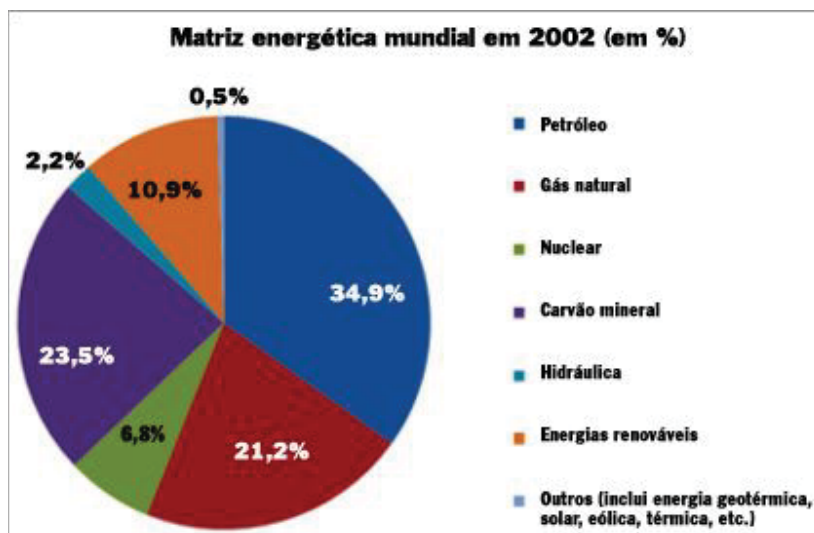


Gráfico 2.1: Matriz energética mundial em 2002

Fonte: IEA - International Energy Agency - Key World Energy Statistics, 2004 Edition

Devido ao grande dano causado ao meio ambiente, muitos países vêm buscando incorporar às suas matrizes energéticas fontes de obtenção de energia renovável, com a intenção de que incorporando e desenvolvendo tal tipo de geração de energia em seus países, haverá uma tendência em diminuir muitos dos danos causados ao meio ambiente, onde os esforços de obtenção de energia leva à um deles.

Vale lembrar que tais tentativas não seguem a plena conscientização de seus governantes aos males causados ao meio ambiente, mas sim às imposições de órgãos mundiais no intento de diminuir as emissões de gases, como o dióxido de carbono (CO₂), que contribuem para o aquecimento global.

2.2 A importância da Energia Renovável

Além de estar na moda, o termo renovável nos soa como a esperança de que uma solução ainda é possível. Foi deste pensamento que nasceram as energias renováveis.

Atualmente, a energia renovável vem sendo encarada como decisiva no combate às emissões de gases contribuintes para o aquecimento global. Muitos países começaram a utilizá-las na tentativa de diversificar suas matrizes energéticas, com a tentativa de diminuir a dependência de abastecimento externo, devido ao petróleo existir em poucos países no mundo, como também na tentativa de assumir seus compromissos firmados com o Protocolo de

Kyoto². É interessante notar que a geração de energia por fontes renováveis é uma das atividades de projetos do MDL³, que originou-se com o Protocolo de Kyoto.

Órgãos mundiais preocupados com as mudanças climáticas, como é o caso da ONU e do Pnuma, vem estudando formas de diminuir os impactos causados ao meio ambiente e se mostram cada vez mais engajados em atingir esses objetivos. As Nações Unidas têm criado projetos para ajudar governos e sociedade civil a lidar com as mudanças climáticas e a criar maneiras de apelar os efeitos do aquecimento global (UNIC-RJ, 2012).

Projeções do Banco Mundial mostram que a América Latina poderá sofrer conseqüências devastadoras na economia e no meio ambiente, devido a estas mudanças climáticas, algumas das quais já começaram a ocorrer. As geleiras andinas retrocedem a passos vistos e podem desaparecer em 10 ou 20 anos, a diminuição dos recifes de corais no Caribe tem afetado em demasia a sua economia e dados da ONU indicam que caso a temperatura mundial aumente entre 1 e 2 graus Celsius, a floresta Amazônica poderá diminuir em 80% (UNIC-RJ, 2012). Além destas conseqüências ambientais, podemos também prever desaceleramento de economias, como já podemos visualizar, doenças, escassez de água, entre muitos outros fatores.

Frente a essas terríveis conseqüências, muitos países vêm buscando alternativas viáveis para deter o aquecimento global e mitigar seus efeitos como a dessalinização dos mares por meio da energia eólica, a recuperação de recifes de coral e o desenvolvimento de novos combustíveis, como é o caso do Etanol no Brasil (UNIC-RJ, 2012).

Segundo dados recentes da ONU e do Pnuma, houve um avanço significativo na erradicação do uso de substâncias nocivas à camada de ozônio, na eliminação da utilização de chumbo em combustíveis, na melhora do acesso a fontes de água limpa e no aumento das pesquisas sobre a poluição dos mares, no entanto não houve praticamente nenhum avanço no que diz respeito ao combate massivo às mudanças climáticas (BELTRAME, 2012).

² Protocolo de Kyoto: Constitui-se no protocolo de um tratado internacional com compromissos mais rígidos para a redução da emissão dos gases que agravam o efeito estufa, considerados, de acordo com a maioria das investigações científicas, como causa antropogênicas do aquecimento global.

³ O mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) é um dos mecanismos de flexibilização criados pelo Protocolo de Kyoto para auxiliar o processo de redução de emissões de gases do efeito estufa (GEE) ou de captura de carbono (ou sequestro de carbono).

O gráfico abaixo mostra a evolução da utilização de energias renováveis para obtenção de energia elétrica (CRUZ e VENTURA, 2012):

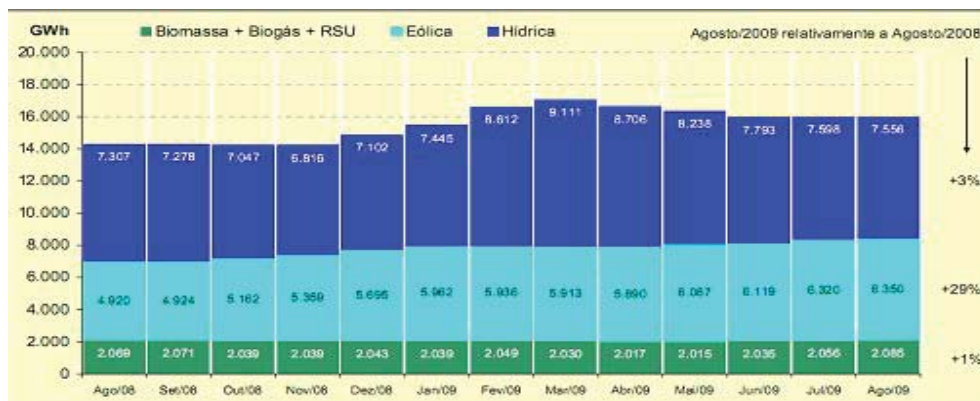


Gráfico 2.2: Produção de Energia Elétrica através de Energias Renováveis de Agosto de 2008 e Agosto de 2009

Fonte: CRUZ e VENTURA, 2012. Pág. 16.

Com o aumento da utilização de recursos renováveis, juntamente com uma utilização correta e eficiente de outras formas tradicionais de produção de energia, pode-se contribuir para abrandar as mudanças climáticas e principalmente para reduzir o aquecimento global (CRUZ e VENTURA, 2012).

2.3 Energia Eólica: Panorama Mundial

2.3.1 Da comercialização à capacidade instalada (cenário Europeu)

A Dinamarca foi um dos primeiros países a receber uma turbina eólica comercial ligada à rede elétrica. Passados 15 anos, a Associação Europeia de Energia Eólica decide estabelecer metas de instalação a serem cumpridas, mas mal sabia ela que tais metas seriam cumpridas antes do tempo previsto e superariam as previsões iniciais (ANEEL, 2005). Por estes fatos, podemos comprovar que desde sua introdução inicial no ramo comercial ao auge um pouco mais maduro deste setor, não se levou muito tempo.

Desde sua instalação no fim do século XX, com 4000 MW de capacidade instalada, até a primeira década do século XXI, a capacidade instalada de energia eólica em alguns

países da Europa tiveram leve queda enquanto em outros, em compensação, como o caso da Alemanha, quase sextuplicaram conforme podemos ver no gráfico abaixo:

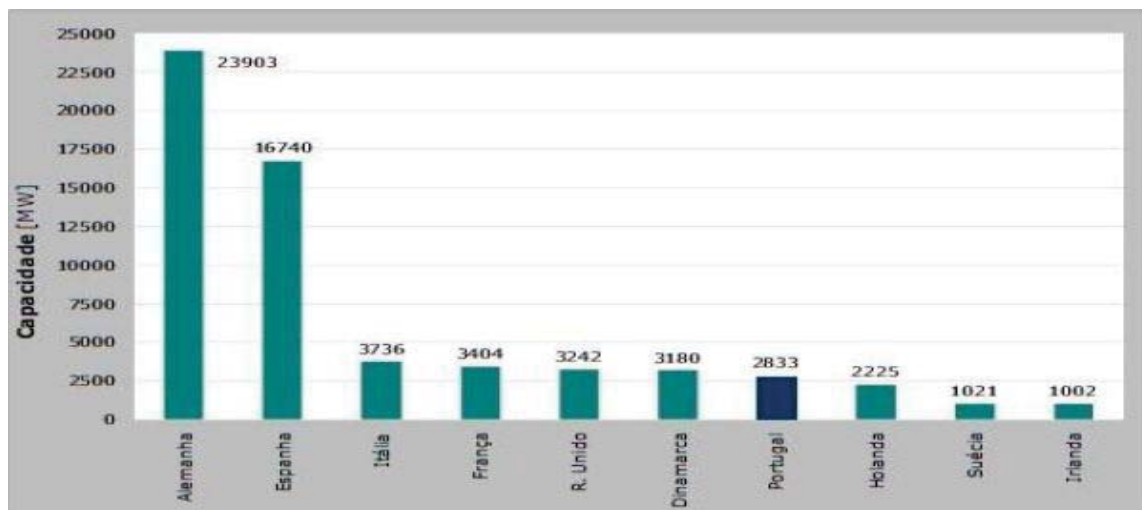


Gráfico 2.3: Capacidade instalada na Europa final de 2008

Fonte: CRUZ e VENTURA, 2012. Pág. 9.

Para fins de entendimento e comparativos, a tabela a seguir faz uma comparação de capacidade instalada entre a Usina Hidrelétrica Binacional de Itaipu no ano de 2011 e os Parques Eólicos de Portugal no ano de 2008.

Tipo de fonte de obtenção de energia elétrica	no	Capacidade de gerada	Unidades geradoras
Hidrelétrica (Usina Hidrelétrica Binacional de Itaipu)	011	14000 MW	20
Eólica (Parques Eólicos de Portugal)	008	2672 MW	1427

Tabela 2.3: Comparação de capacidade gerada por capacidade instalada entre a Usina Hidrelétrica Binacional de Itaipu e Parques Eólicas de Portugal

Fontes: Itaipu Binacional; Global Wind Energy Council (GWEC). Elaboração própria.

Apesar das estatísticas não serem das mais animadoras para o cenário da energia eólica na tabela acima, é de extrema importância notar que Portugal era, e continua sendo, um dos países com menor capacidade gerada de energia elétrica dentre os demais países da

Europa. Outro fator que merece destaque é a defasagem de anos existente entre a análise dos dois casos.

De acordo com o GWEC (2012), há uma quantidade maior de países europeus engajados na geração de energia elétrica por energia eólica, mesmo que seus percentuais de capacidade gerada não sejam tão expressivos quanto em outros continentes.

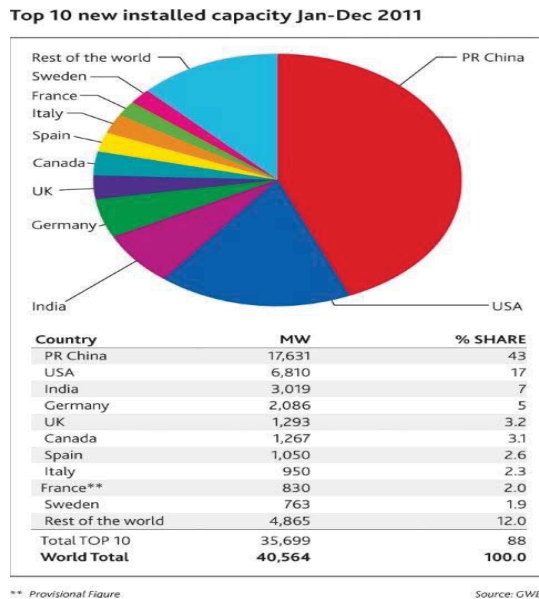


Figura 2.1: Top 10 de novas capacidades instaladas Jan/Dez 2011

Fonte: GWEC, 2012. Disponível em <http://www.gwec.net/global-figures/graphs/>

2.3.2 Os 10 países que utilizam Energia Eólica em suas matrizes energéticas e a evolução dos preços da mesma

Apesar do continente europeu possuir um maior número de países que utilizam a energia eólica em suas matrizes energéticas, vemos que outros países espalhados pelos demais continentes, utilizam, e em maior quantidade, tal prática para obter energia elétrica.

<u>Países</u>	<u>Capacidade Instalada</u>	<u>Colaboração na matriz energética do país</u>
1º EUA	35.000 MW	2%
2º Alemanha	26.000 MW	7%
3º China	25.1000 MW	*
4º Espanha	19.740 MW	14%
5º Índia	10.925 MW	1,6%
6º Itália	4.850 MW	*
7º França	4.492 MW	*
8º Reino Unido	4.000 MW	*
9º Portugal	3.535 MW	15%
10º Dinamarca	3.465 MW	*

Tabela 2.4: Dez países líderes em capacidade instalada de Energia Eólica. Ano base 2009

Fonte: TULLOCH, James. 2012.

(*)Percentual não especificado.

A preocupação ambiental aliada ao enorme progresso tecnológico no segmento das energias renováveis proporcionou um recente movimento em direção a fontes de energias mais limpas. Sendo assim, a expansão da energia eólica nestes últimos anos já era esperada: o parque de geração eólica instalada no mundo dobrou em apenas 3 anos (2006 a 2009).

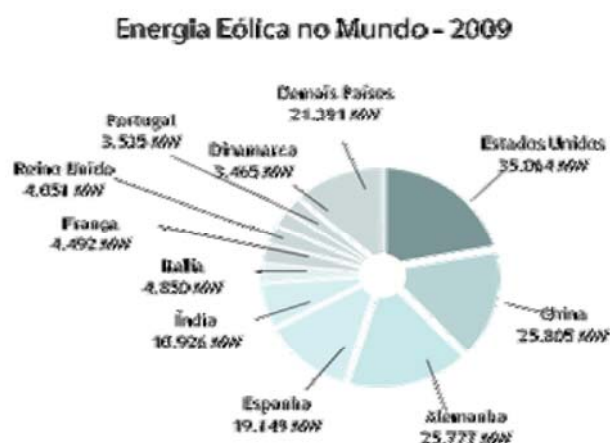


Gráfico 2.4: Energia Eólica no Mundo (2009)

Fonte: MML Energia, 2012.

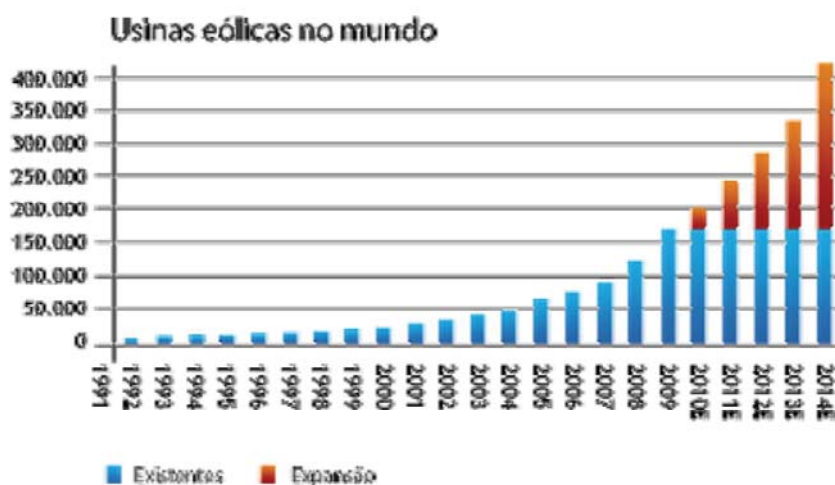


Gráfico 2.5: Usinas eólicas no mundo
 Fonte: *MML Energia, 2012.*

Outro dado um tanto interessante, divulgado pela CRESESB no ano de 2006, são os custos das externalidades⁴ causadas por quatro tipos de fonte de energia. As fontes citadas são carvão, turbina a gás, nuclear e fazenda eólica, sendo que seus valores calculados em centavos de dólar/kWh são, respectivamente, 1,94 a 14,60; 0,97 a 3,89; 0,19 a 0,58; 0,05 a 0,24. De acordo com os dados, podemos ver nitidamente a vantagem da utilização da energia eólica não somente pelo lado ambiental, como também pelo custo-benefício alcançado.

Ainda segundo a mesma pesquisa citada acima, o que se observou desde o fim da década de 1970, até os primeiros anos do século XXI, foi uma significativa melhoria na eficiência e disponibilidade da energia eólica, melhoria da tecnologia e dos métodos de produção, turbinas cada vez maiores e torres mais altas, queda nos custos de operação e manutenção, redução dos custos das turbinas eólicas e, principalmente, redução significativa do preço de obtenção de energia eólica (CRESESB, 2012).

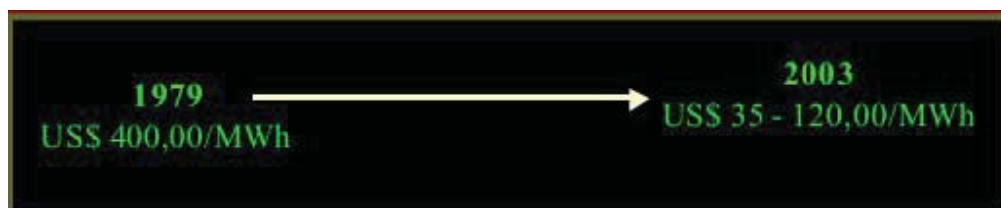


Figura 2.2: Redução do preço da energia eólica entre 1979 até 2003
 Fonte: *CRESESB, 2012.*

⁴ Estimativa de custos para a sociedade e para o ambiente decorrentes de uso de combustíveis fósseis e nucleares, não incluindo lixo nuclear e custos de desativação.

2.3.3 Estimativas para a capacidade instalada e custos para a Energia Eólica, no mundo, para os próximos 18 anos

Atualmente, os sistemas inovadores desenvolvidos têm melhorado a aerodinâmica dos equipamentos, sua confiabilidade e reduzido os custos de implantação de parques eólicos, assim como os custos de geração de energia a partir desses aerogeradores (ANEEL, 2005). Entretanto, a crescente diminuição das jazidas de petróleo no mundo, o aumento da demanda mundial por energia e o compromisso com os órgãos externos de diminuição das emissões de GEE, somado aos investimentos crescentes dos governos em seus países, como também nos países com maior potencial eólico, trazem perspectivas altamente positivas para o cenário mundial da energia eólica.

De acordo com pesquisas da CRESESB (2012), os custos por U\$/MWh da energia eólica até o ano de 2030, terão uma queda muito significativa. Esta significativa queda poderá ser sentida não somente no setor eólico, mas nas energias obtidas por fontes renováveis como um todo, como pode ser visto pelo gráfico a seguir.

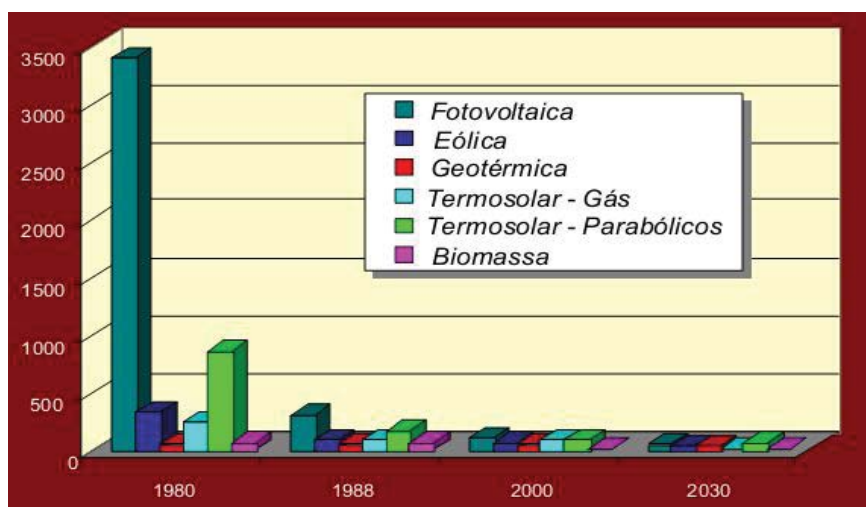


Gráfico 2.6: Evolução dos Custos de Energias Renováveis(US\$/MWh)
Fonte: CRESESB, 2012.

As taxas de crescimento da capacidade instalada superaram as previsões mais otimistas. Apenas em 2007, foram adicionados cerca de 20 GW de capacidade eólica no mundo, destacando-se os EUA (5,2 GW), a Espanha (2,3 GW), a China (3,4 GW) e a Índia (1,7 GW) (CNI, 2007).

Estima-se que o potencial eólico mundial até o ano de 2007, era de aproximadamente 94 GW, com destaque para a Alemanha, com mais de 22 GW, e os Estados Unidos, com aproximados 17 GW de capacidade instalada (CNI, 2009).

Mais otimistas ainda, são as perspectivas de crescimento da energia eólica para o ano de 2030. Daqui 18 anos, estima-se que 40% da energia mundial eletricidade mundial será proveniente de usinas nucleares e combustíveis renováveis, com destaque para a energia hidroelétrica e eólica (EXXON MOBIL, 2012).

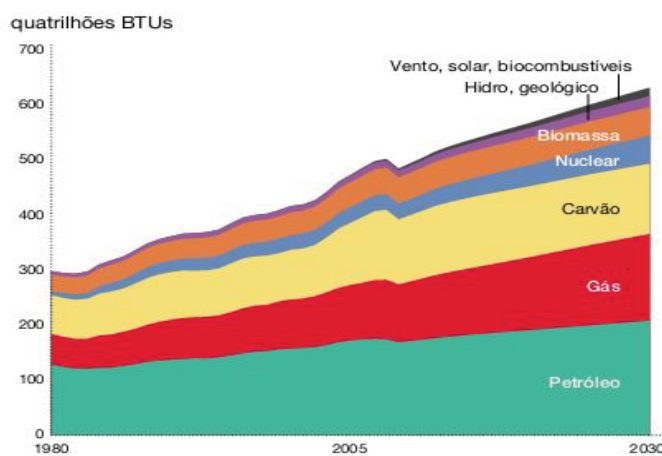


Gráfico 2.7: Oferta global de energia (perspectivas para 2030)
Fonte: EXXON MOBIL, 2012

Com isso, verificarmos o panorama mundial da energia eólica e entendemos sua importância e necessidade para diminuição dos impactos ambientais e aumento do uso das energias renováveis. Vamos a seguir tratar do desenvolvimento e atual estágio de utilização da energia eólica no Brasil.

Capítulo 3. A Energia Eólica no Brasil

Este último capítulo irá analisar a composição da matriz energética brasileira e o cenário da energia eólica dentro da mesma.

Primeiramente será feita a abordagem de quais são os tipos de fontes de obtenção de energia presentes dentro da matriz energética do Brasil, posteriormente analisaremos dentro dela qual é a porcentagem destas fontes que são provenientes de fontes renováveis, para então fazer uma comparação entre a matriz energética brasileira com a matriz energética mundial. Em seguida, será feita a análise do cenário da energia eólica no país – a quantidade de parques eólicos, suas localizações, a capacidade de energia gerada, etc. E finalmente, a evolução da geração de energia eólica no país, suas perspectivas futuras de construção de parques eólicos e a previsão da viabilidade da incorporação da energia eólica na matriz energética do Brasil, como uma fonte complementar importante às hidrelétricas.

3.1 A composição da matriz energética do Brasil

Na década de 1970, o Brasil possuía uma demanda de energia primária de cerca de 70 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo) e contava com um total de 93 milhões de habitantes. Já nos anos 2000, além de experimentar um intenso desenvolvimento econômico, houve também um aumento de quase três vezes na demanda interna, alcançando um total de 190 milhões de tep, com uma população aproximada de 175 milhões de habitantes (TOLMASQUIM et al, 2007).

Além do significativo aumento no consumo de energia e da população, houve também uma clara tendência de diversificação da matriz energética brasileira. De acordo com o gráfico 3.1, é possível observar a predominância de duas fontes de energia, petróleo e lenha, correspondendo a 78% do consumo. O início do século XXI no Brasil, traz consigo a incorporação de uma terceira fonte de energia em sua matriz energética, a energia hidráulica. Esta, somada às duas anteriores correspondiam a 74% do consumo de energia (TOLMASQUIM et al, 2007).

A projeção feita pela EPE para 2030, é de que haja uma relativa diminuição da utilização da lenha, e seus substitutos perfeitos sejam a cana-de-açúcar e o gás natural.

Portanto, as quatro fontes necessárias para satisfazer 77% do consumo interno, serão: energia hidráulica, petróleo, gás natural e cana-de-açúcar, conforme observado no gráfico abaixo (TOLMASQUIM et al, 2007).

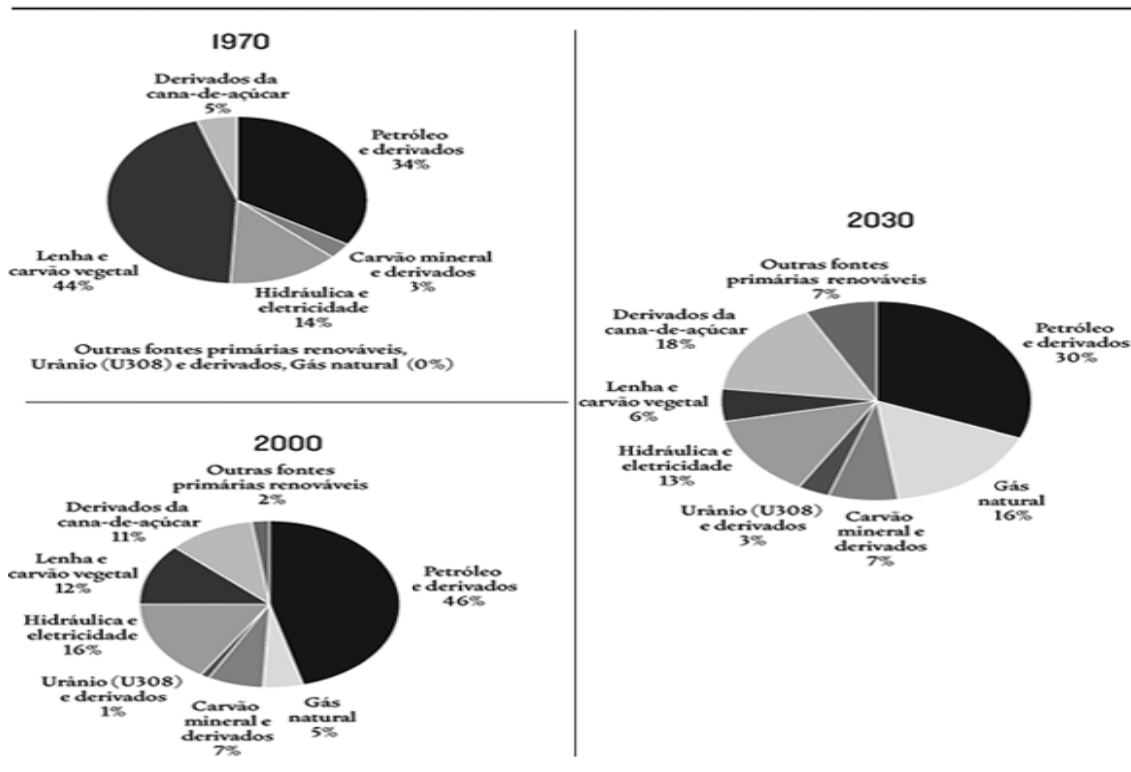


Gráfico 3.1: Evolução de estrutura de oferta de energia 1970-2030

Fonte: BRASIL, 2007

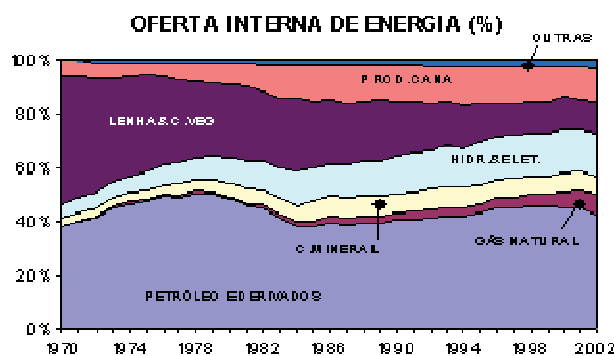


Gráfico 3.2: Oferta interna de energia (%) 1970-2002

Fonte: Economia e Energia, 2003

3.1.1 Recursos não-renováveis pertencentes à matriz energética brasileira: Carvão Mineral e derivados, Petróleo e derivados, Urânio e Gás Natural

Daremos enfoque somente nas fontes de energia mais utilizadas dentro da matriz energética brasileira, no caso o petróleo e o gás natural.

3.1.1.1 Petróleo

O Brasil possui aproximadamente 54% de sua matriz energética composta por fontes de energia não-renováveis, sendo este percentual o mais baixo entre as maiores economias do mundo.



Gráfico 3.3: Emissões no Brasil e Metas mundiais (OCDE)

Fonte: ZANCAN, 2009.

Desde 2006, o país é auto-suficiente na produção de petróleo, possuindo uma das maiores empresas do mundo e se posiciona como líder mundial em tecnologia de extração *offshore*¹ em águas profundas (MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES, 2009).

Recentemente, com a ajuda da Petrobras, foi descoberta uma das maiores reservas de petróleo de boa qualidade no país, uma sequência de rochas sedimentares que se estende por 800 km da costa brasileira, localizada entre os estados do Espírito Santo e Santa Catarina, afastada de 100 a 300 km da costa. A camada pré-sal é uma jazida de petróleo que

¹ *offshore*: termo visto no capítulo 1, item 3.1.3.

possui um volume aproximado de 50 bilhões de barris (PORTAL BRASIL, 2007); (VIDAL et al, 2012).

A descoberta da camada pré-sal irá influenciar as obras de infraestrutura no país, trazendo melhorias para as estradas, ferrovias, portos, aeroportos e também para as escolas e hospitais. Diminuirá o preço da gasolina e forçará o país a adquirir, cada vez mais, conhecimento e tecnologia para explorar áreas de grande profundidade. Contudo, os danos ambientais causados decorrentes da exploração do mesmo até agora nada se falou.

De acordo com cálculos de ambientalistas, se o Brasil utilizar todas as reservas estimadas do pré-sal², ele irá emitir ao longo de 40 anos o correspondente a 1,3 bilhões de toneladas de CO₂ por ano só com refino, abastecimento e queima de petróleo, o colocando entre os três maiores emissores de CO₂ no mundo. Outro ponto importante, que vale a pena ressaltar, é que as estimativas de danos causados ao meio ambiente decorrentes de tal ação, não incorporam os riscos possíveis de vazamentos nas plataformas de petróleo (SIQUEIRA et al, 2012).

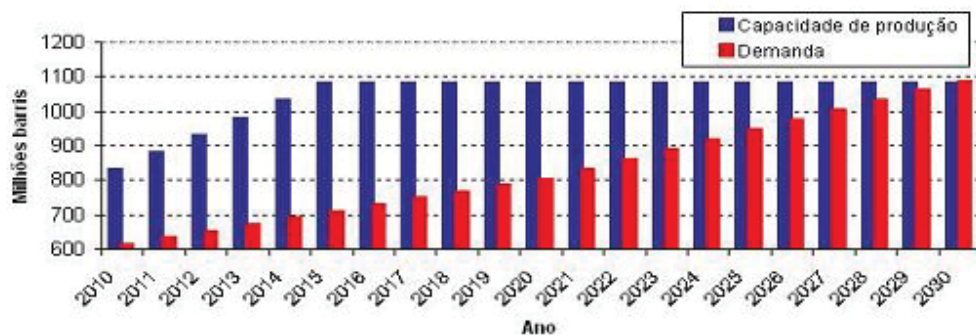


Gráfico 3.4: Petróleo: Capacidade de Produção x Demanda
Fonte: BRONZATTI e NETO, 2008.

3.1.1.2 Gás Natural

Até a década de 1990, o gás natural não possuía muita importância dentro da matriz energética brasileira, pois não acreditava-se que o Brasil era detentor de recursos significantes de gás natural. Esse cenário começou a mudar em meados da década de 90, quando as descobertas de gás na bacia de Campos, juntamente com o racionamento de

² O pré-sal é uma camada de petróleo localizada em grandes profundidades, sob as águas oceânicas, abaixo de uma espessa camada de sal (SATO, 2012).

energia elétrica, impulsionaram a importância do gás natural como componente da matriz energética do Brasil (BRONZATTI e NETO, 2008).

Com a descoberta de tais reservas de gás natural, houve um salto de 220 bilhões de m³ em 1996 para 312,2 bilhões de m³ em 2005, representando um aumento de 41% nas reservas. Com relação ao consumo de gás natural no Brasil, esse tem crescido a uma taxa de 10,3% ao ano, sendo a indústria e o setor energético uns dos responsáveis por este crescimento. Considerando o cenário de crescimento do país, as projeções de reserva, e intenções de investimento, estima-se que em 2030 a produção possa chegar em torno de 251,7 milhões de m³/dia com crescimento de 5% ano, enquanto seu consumo pode chegar a 4% ao ano (BRONZATTI e NETO, 2008).

3.1.2 Recursos renováveis pertencentes à matriz energética brasileira: Derivados de cana-de-açúcar, Lenha e Carvão Vegetal, Hidráulica e Energia Solar.

Assim como no caso anterior, daremos enfoque nos tipos de energias mais utilizadas, sendo, neste caso, a energia hidráulica e os derivados de cana-de-açúcar.

3.1.2.1 Hidráulica

Não é a toa que o Brasil leva o título de país “abençoado por Deus e bonito por natureza”, conforme a letra da música de Jorge Ben Jor. Além da rica biodiversidade e do clima tropical, é o primeiro país em disponibilidade hídrica em rios do mundo (RICARDO, 2005). Essa dádiva natural, que é escassa na maioria dos países do mundo, nos possibilita desfrutar de muitos benefícios. Um deles é a obtenção de energia por meio das usinas hidrelétricas.

De acordo com a ANEEL (2004), o Balanço Energético Nacional do ano de 2003 mostra que a contribuição da energia hidrelétrica na matriz energética nacional é da ordem de 14%, participando com, aproximadamente, 83% da energia elétrica gerada no país.

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

Tabela 3.1: Potencial hidrelétrico brasileiro por bacia hidrográfica: situação em março de 2004

Fonte: ANEEL (CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS – ELETROBRAS. Sistema de informação do potencial hidrelétrico brasileiro – SIPOT. Rio de Janeiro, abr. 2003).

Apesar do grande potencial energético obtido pelas usinas hidrelétricas, estima-se que o país utiliza apenas 1/3 da capacidade existente para geração de energia elétrica por parte das mesmas.

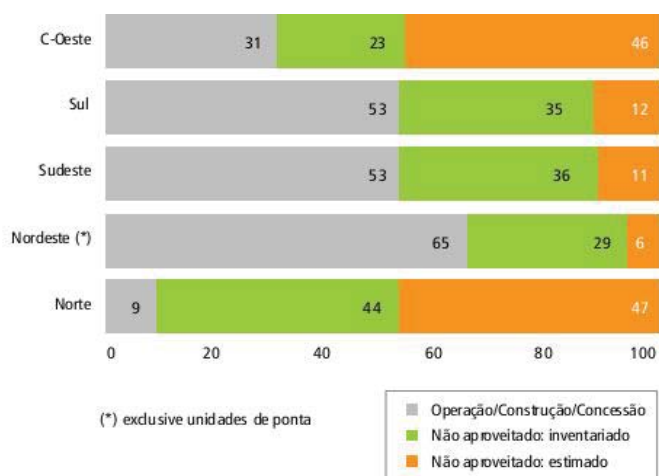


Figura 3.1: Aproveitamento do Potencial Hidrelétrico Brasileiro, por Região (%)

Fonte: MME [(PDEE (20076-2015), MME/EPE (20067, SIPOT. Eletrobrás (2005)].

É fato que a energia obtida pelas usinas hidrelétricas é uma energia limpa e de baixo custo de produção, se analisarmos a questão do ponto de vista da matéria-fonte geradora de energia, que neste caso é a água. No entanto, ao observarmos outro aspecto não relacionado à matéria-fonte, mas referente ao impacto ambiental gerado pela instalação das usinas hidrelétricas, vemos que a biodiversidade é severamente afetada, as inundações de terras férteis são de grande escala e a população ribeirinha comprometida.

Um exemplo real e não muito distante de nós, está na construção da usina hidrelétrica Sérgio Motta, conhecida como a usina hidrelétrica de Porto Primavera, localizada no Rio Paraná, entre os Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul. A construção desta usina hidrelétrica está entre a terceira pior usina hidrelétrica do mundo, em termos de custo/ benefício no aspecto área alagada/energia produzida. De acordo com a Comissão Pastoral da Terra Regional Mato Grosso do Sul (1998), a construção da usina de Porto Primavera destruiu um dos mais importantes ecossistemas de Mato Grosso do Sul, região comparada ao Pantanal em suas características, se colocando como um exemplo claro de insustentabilidade, quando nos remetemos a danos ambientais causados pelas usinas hidrelétricas (CPT/MS, 1998).

Dessa forma, vemos que ela não pode ser considerada uma forma sustentável de obtenção de energia, uma vez que este é um termo que engloba cuidados e baixo impacto dos aspectos ambientais e sociais, conforme definição do Relatório *de Brundtland* (1987), onde o uso sustentável dos recursos naturais deve "suprir as necessidades da geração presente sem afetar a possibilidade das gerações futuras de suprir as suas". Dessa forma, vemos que a obtenção de energia de forma sustentável através das usinas hidrelétricas é algo difícil de ser realizado, uma vez que a sustentabilidade é um conceito sistêmico, relacionado com a continuidade dos aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais da sociedade humana.

3.1.2.2. Derivados de Cana-de-açúcar

Antes mesmo de o efeito estufa e o aquecimento global se tornarem em uma das principais preocupações de líderes mundiais, o Brasil já buscava o uso de fontes renováveis para substituir o combustível fóssil (VEJA-ONLINE, 2012). Foi a partir da década de 1970, com o choque do petróleo, que o etanol, extraído da cana-de-açúcar, passa a ser incorporado na matriz de combustíveis brasileira.

O Proálcool, criado em 1975, estabeleceu as bases para a produção, distribuição e comercialização do etanol. A criação, em 2003, de veículos com gerenciamento eletrônico

para ser alimentado por combustíveis diferenciados, conhecidos como *flex-fuel*³, passou a impulsionar a utilização do etanol em todo território brasileiro, chamando a atenção do mundo (MAROCCIA, 2007). Em dezembro de 2005, 73% dos automóveis vendidos no país já funcionavam tanto a gasolina como a álcool (GUANDALINI E SILVA, 2006).

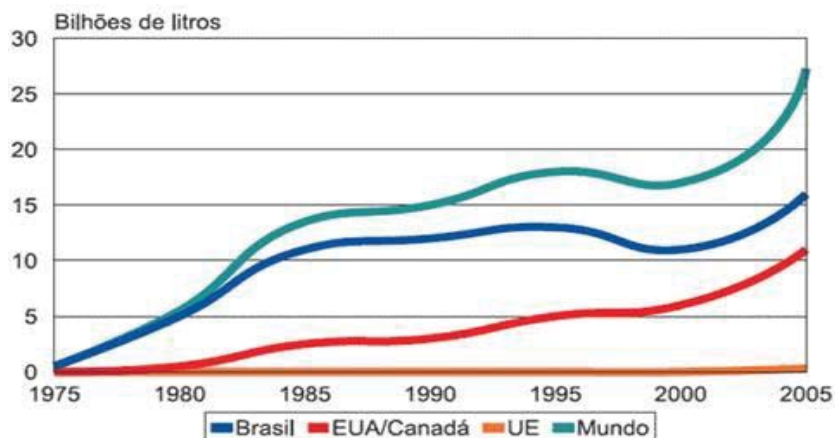


Gráfico 3.5: Evolução da produção do etanol no mundo
Fonte: TROVATTO e VICTOR, 2011.

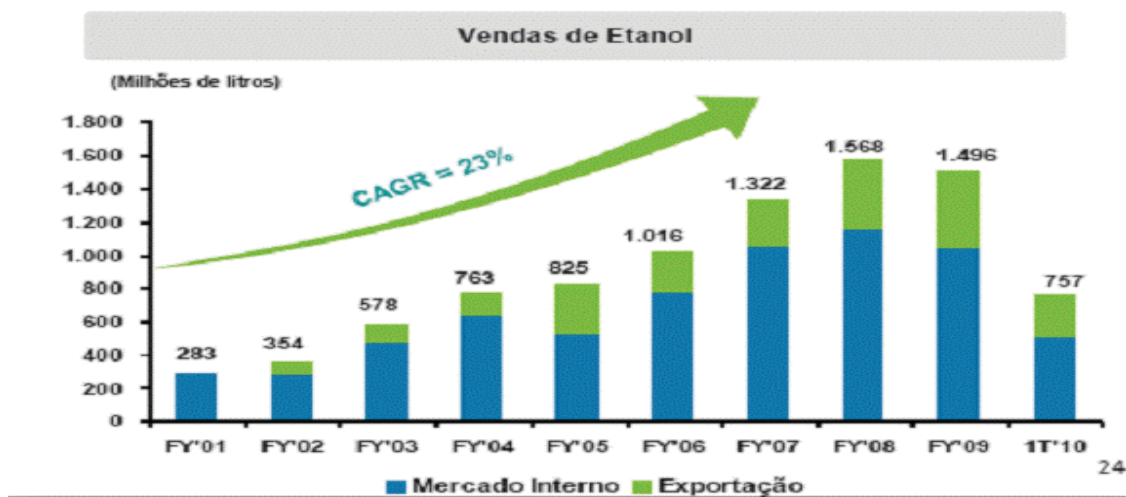


Gráfico 3.6: Comparação das vendas no mercado interno e externo de etanol da empresa COSAN

³*flex-fuel*: Os motores com o sistema flex-fuel podem ser abastecidos tanto com álcool, quanto com gasolina.

Fonte: TROVATTO e VICTOR, 2011.

A tecnologia *flex* possibilitou o consumidor a não ser refém do petróleo, além de permitir a conscientização entre consumir um combustível renovável que não agride o meio ambiente ou consumir derivados de petróleo que contribuem para a emissão de gases poluentes, já que seus preços se assemelham pelo fato do país ter se tornado auto-suficiente na produção de ambos.

Outro exemplo de biocombustível inserido na matriz energética brasileira é o biodiesel, no entanto, este não deriva da cana-de-açúcar, mas necessita do etanol para seu processo de produção e é uma fonte de energia renovável (BIODIESELBR, 2012).

3.2 Um Brasil de energias renováveis

Por possuir uma geografia com várias vantagens agrônomas e se situar em uma região tropical, associada a uma disponibilidade hídrica e regularidade de chuvas, o Brasil torna-se o país com maior potencial para produção de energia renovável. Estima-se que menos de um terço de sua área agricultável é explorada, mas ainda assim constitui-se uma das maiores fronteiras agrícolas para expansão no mundo (BIODIESELBR, 2012).

O país possui vários programas de incentivo à produção de energias renováveis, sendo eles o Plano Nacional de Agroenergia, o Programa do Biodiesel, o Proinfa e o Proger.

O Plano Nacional de Agroenergia foi criado pela Embrapa e pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), com o intuito de traçar as diretrizes para as ações públicas e privadas de geração de conhecimento e tecnologia para a produção de energia a partir de produtos agrícolas. O objetivo do programa é garantir sustentabilidade, competitividade e maior equidade entre os agentes das cadeias de agroenergia. Ele busca aliar-se a outros programas, como o programa de biocombustíveis e o Proinfa (EMBRAPA, 2007).

O Programa Biodiesel ou Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), é gerido pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) e pela Secretaria da Agricultura Familiar (SAF), que além de estimular a produção de um novo combustível, busca dar apoio à participação da agricultura familiar na sua produção (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO, 2012).

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (Proinfa), criado em 2002, previa um montante de 3300 MW de ERSs (Energias Renováveis Sustentáveis) até 2006, sendo um terço desse total gerado por energia eólica. Atingindo com êxito a primeira etapa, a previsão da segunda vai mais além e busca, em 2020, com a ajuda do Governo brasileiro, alcançar um total de 10% do total da eletricidade do país proveniente de fontes renováveis (VIAN, 2007). O objetivo do programa é agregar maior diversificação energética possível, de acordo com a Embrapa.

O Programa Tecnológico de Energias Renováveis (Proger), foi instituído em 2004 pela Petrobras, para realizar pesquisas com biodiesel, álcool e outras ERSs.

Quando o assunto em questão é programas de incentivo à produção de energias renováveis, o Brasil se posiciona no 8º lugar, dentre os 23 países do mundo eleitos, segundo pesquisas realizadas pela KPMG *International* (CICLO VIVO, 2012).

Dentre as políticas de incentivos à investimentos em energias renováveis, as que mais se destacam são: *feed-in-tariff*⁴; cota obrigatória de concessionária de energia elétrica; medição da rede; medição líquida⁵; obrigatoriedade de uso do biodiesel (*biodiesel obligation*); obrigatoriedade do uso de biomassa para geração de calor (*heat obligation*); certificados comercializáveis de energia renovável (*tradable REC*); subsídio de capital e descontos; investimento e créditos fiscais de produção; redução de impostos, taxas ou IVA (imposto sobre valor acrescentado) sobre a comercialização de energia; pagamento de energia ou geração de créditos fiscais; investimentos públicos, empréstimos e financiamentos; e licitações públicas (CICLO VIVO, 2012).

A pesquisa feita pela KPMG *International* ainda mostra que, segundo o próprio sócio e líder global de tributos para energia – Roberto Haddad, o Brasil possui uma particularidade que é o regime fiscal especial destinado a produtores e importadores o PIS (Programa de Integração Social) e o Cofins (Contribuição para Financiamento da Seguridade Social), que oferecem significativas reduções fiscais aos mesmos para desenvolvimento do setor. Os investidores no país ainda contam com o financiamento do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), que oferecem uma

⁴ feed-in-tariff: mecanismo de estímulo à produção de energia renovável.

⁵ medição líquida: créditos gerados pelo balanço de consumo entre fontes próprias de energia renovável do consumidor e as fontes tradicionais utilizadas.

grande variedade de financiamento para estimular a produção de energia renovável (CICLO VIVO, 2012).

3.3. Matriz energética Brasileira versus Matriz energética Mundial

De acordo com Chade (2011), o Brasil ocupa o 5º lugar no *ranking* mundial de investidores em energias renováveis. Estima-se que o montante de investimento no setor, somente em 2010, se aproxime dos US\$ 7 bilhões. Segundo tais dados publicados pela ONU, é a primeira vez na história, que investimentos mundiais em inovação tecnológica em energias alternativas superaram os investimentos em tecnologia para energia fóssil, sendo que tais investimentos estão se concentrando substancialmente em mercados emergentes (CHADE, 2011).

Quando comparado com a matriz energética mundial, o Brasil acaba saindo na frente quando o assunto é percentual de energia renovável produzida no país.

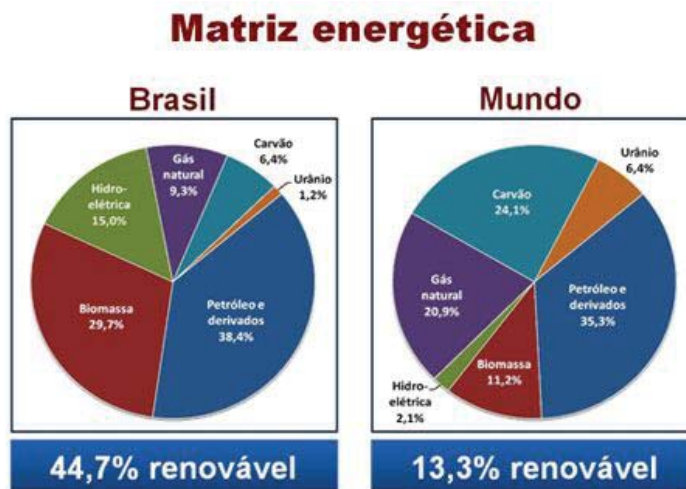


Gráfico 3.7: Matriz energética do Brasil versus Matriz energética Mundial, em termos de percentual de energia renovável produzida – 2006

Fonte: MME. 2006.

3.4 A Energia Eólica no Brasil

Há tempos, a energia eólica é utilizada no Brasil em pequenos cata-ventos para bombeamento de água. No entanto, como vimos no primeiro capítulo, ela passa a ser

utilizada como fonte de obtenção de energia elétrica em meados da década de 1990 no mundo, inclusive no Brasil.

Como o Brasil possui uma matriz energética com grande percentual de energia renovável, tendo como maior responsável pela geração de energia elétrica as hidrelétricas, há grande necessidade de atenção para esses fatores, pois estas dependem primariamente de fatores climáticos para funcionar, e secundariamente, de capacidade de armazenamento de água. Com os blecautes ocorridos em 2001, houve uma maior preocupação para a necessidade de diversificação da matriz energética do país. Dentro deste contexto, há a necessidade de uma fonte de obtenção de energia que seja complementar às usinas hidrelétricas, é aí que entra a funcionalidade aliada ao grande potencial da energia eólica existente no país (AZEVEDO, 2011).

3.4.1. Potencial Eólico brasileiro e os principais Parques Eólicos

Há pouco mais de 8 anos, as estimativas de potencial eólico brasileiro eram da ordem de 60.000 MW, sendo que os primeiros e principais estudos se concentraram no Nordeste, em especial no Ceará e em Pernambuco (ANEEL, 2004). Atualmente, segundo levantamentos do Centro de Pesquisa em Energia Elétrica (Cepel), por pesquisas encomendadas pelo Ministério de Minas e Energia (MME), o potencial eólico brasileiro é de 143, 5 GW. O estudo levou em conta geradores de energia eólica de até 50 metros de altura (LAYTON, 2012). É necessário lembrar que o potencial eólico brasileiro pode diferir entre especialistas e instituições por falta de informações (dados de superfície) e das diferentes metodologias empregadas (ANEEL, 2004).

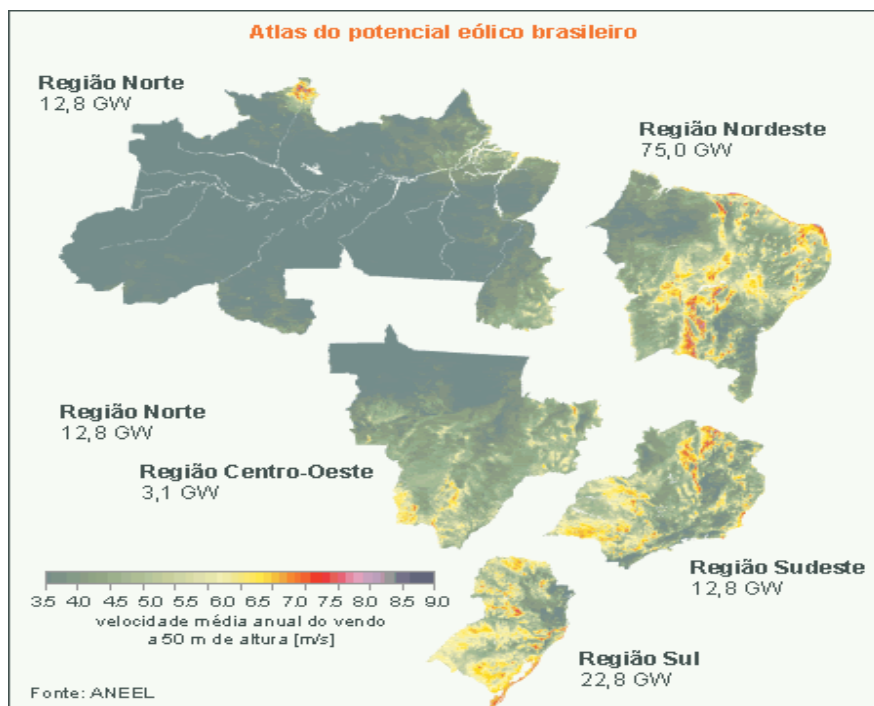


Figura 3.2: Atlas do potencial eólico brasileiro
 Fonte: LAYTON, 2006. (ANEEL)

Deste total de potencial eólico presente no Brasil, atualmente contamos com apenas 2,4 GW, segundo a presidente executiva da Agência Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), Élbis Melo (CANAL ENERGIA, 2012).

Apesar dos primeiros estudos estarem concentrados na época, em 1998, no nordeste, o primeiro parque eólico a ser tirado do papel foi o parque de Osório em 2006, localizado na cidade de mesmo nome no estado do Rio Grande do Sul. Além de ter sido o primeiro parque eólico a funcionar no país, ele foi o primeiro a receber licença de instalação da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM, 2012), foi o primeiro a desenvolver e executar a metodologia específica para análise e avaliação de impactos ambientais gerado por este tipo de empreendimento, além de ser o parque pioneiro no país a conectar-se à rede básica do Sistema Interligado Nacional (VENTOS DO SUL, 2012).

Possuindo 150 MW de energia instalada, é o maior complexo gerador de energia a partir do vento da América Latina. O projeto é integrado por três parques, que reúnem 75 aerogeradores de 2 megawatts cada um, instalados em torres de concreto, a 100 metros de altura (PORTAL BRASIL, 2012).

Atualmente, o número de parques eólicos brasileiros está em torno de 44 parques em operação, todos construídos com incentivos do Proinfa, sendo que até o ano de 2013, a expectativa é de que esse número se eleve para 141 parques e a participação dos mesmos no setor elétrico passará de 0,5 % em 2007, para 4,3% em 2013 (FREITAS JR., 2012).

Os principais parques eólicos brasileiros, são Complexo Eólico Alto Sertão I, localizado no semiárido baiano, as 184 torres geram 294 megawatts de energia (cerca de 30% de toda energia eólica gerada no Brasil), inaugurado em junho de 2012, o complexo pertence à empresa Renova Energia e teve investimento de 1,2 bilhão de reais, aproximadamente. O Parque Eólico de Osório, instalado no município gaúcho de Osório, é o maior centro de geração de energia eólica do Brasil (em 2011), possui a capacidade instalada de 150 megawatts. A Usina de Energia Eólica de Praia Formosa, está instalada na cidade de Camocim (Ceará), possui a capacidade instalada de 104 megawatts. O Parque Eólico Alegria instalado na cidade de Guamaré (Rio Grande do Norte), possui a capacidade instalada de 51 megawatts. O Parque Eólico do Rio de Fogo, instalado na cidade de Rio do Fogo (Rio Grande do Norte), possui capacidade instalada de 41 megawatts. O Parque Eólico Eco Energy está instalado na cidade de Beberibe (Ceará), possui capacidade instalada de 25 megawatts. Relembrando que os dados citados acima podem diferir entre pesquisadores e instituições, de acordo com a superfície analisada.

Um fato importante que também merece destaque, são os diversos benefícios auferidos pela implementação desses parques eólicos, principalmente na região nordeste que possui uma população mais carente, sendo que um deles é a geração de renda à população destas regiões que recebem as instalações destes parques, ocasionados pelos investimentos feitos em tais áreas mais isoladas.

3.4.2 Perspectivas futuras da Energia Eólica

Até o ano de 2030, espera-se atingir o número de 281 parques eólicos construídos, sendo que a maioria deles estarão concentrados na região nordeste do país, devido sua proximidade da costa, conseqüentemente, das zonas de maior incidência de ventos (GOULART, 2011).

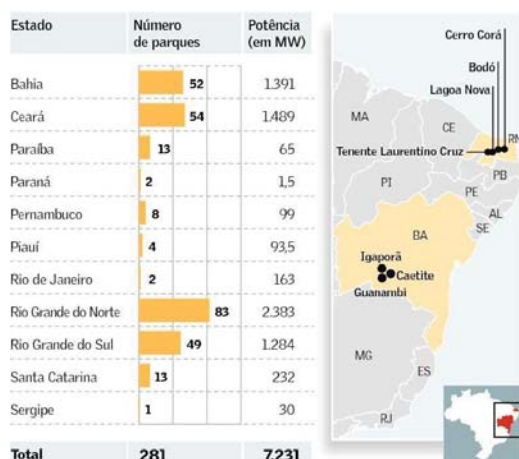


Figura 3.3: O mapa das eólicas

Fonte: GOULART, 2011.

A produção de energia eólica no Brasil dá sinais de que pode finalmente deslançar. A crise nos mercados desenvolvidos colocou o país na mira dos fabricantes de aerogeradores, e a valorização do real barateou o custo dos investimentos. Mais do que isso, o governo parece comprometido a bancar a expansão desta fonte na matriz energética, o que agrada os ambientalistas (FREITAS JR., 2011).

A previsão é de que os moinhos de vento respondam por algo próximo a 5,3 GW, mais do que as pequenas hidrelétricas (2,7 GW) e praticamente o mesmo que as usinas de biomassa (5,4 GW). Ainda é pouco, se levado em conta que o aumento na capacidade de energia proveniente das termelétricas movidas a óleo, gás natural e carvão, fontes fósseis e poluentes, deverá ultrapassar a marca dos 12,1 GW.

O problema, explicam os especialistas, é que ainda pairam dúvidas sobre a confiabilidade da energia eólica. Os moinhos dependem da intensidade dos ventos e, por isso, estão sujeitos às variações climáticas. Desde 2006, os parques eólicos entregaram apenas 79% da energia com a qual se comprometeram nos leilões, segundo a ANEEL. Os melhores resultados foram obtidos em 2007 e 2008, quando alcançaram 93% e 94% da produção esperada. Mas não entregaram mais que 78%, em 2009, e 80% no ano passado.

Maurício Tolmasquim, presidente da EPE, questiona o dado. Segundo ele, a produção média das 26 usinas que operam há ao menos um ano superou o volume previsto nos contratos de licitação. “Além disso, no Brasil, a energia eólica complementa a

hidráulica, pois os ventos são mais fortes nos períodos mais secos”, afirma (FREITAS JR., 2011).

CONCLUSÃO

Como pudemos observar, o caminho de solução para afastar o fantasma do racionamento e assegurar níveis competitivos de preços da energia, recomenda a diversificação da matriz energética. A seleção racional das opções de aproveitamento energético deve ter como foco, as especificidades do país e as vantagens comparativas de que dispomos (CNI, 2009).

As chamadas fontes alternativas de obtenção de energia elétrica, no momento, ainda são complementares de interesse na oferta total de energia no Brasil. A experiência mundial mostra que a fonte eólica é promissora. Mas seu leque de opções de aproveitamento energético parece ser modesto, enquanto os custos relativos desses empreendimentos não baixarem e as barreiras às oportunidades de negócio no setor continuarem.

Apesar da energia eólica não ser atualmente tão competitiva, quando relacionamos custo de geração, quando comparada com as fontes tradicionais de geração do Brasil (excluindo as externalidades), ela traz como benefícios inquestionáveis: a diversificação da nossa matriz energética, assentada basicamente em grandes hidrelétricas; a redução da participação de combustíveis fósseis em plantas térmicas; a redução do risco geopolítico relacionado ao acesso ao gás natural consumido no país e a otimização do sistema elétrico nacional, dada a complementaridade entre a afluência. Além disso, um programa de incentivos para a energia eólica no Brasil pode fortalecer a indústria nacional e gerar novos empregos (CNI, 2009).

Desta forma, um programa de incentivos de longo prazo da energia eólica no Brasil, para ser efetivo, necessita ser transparente nos objetivos a serem alcançados. Ele deve, ainda, focar nas razões pelas quais a energia eólica deve ser promovida, considerando as particularidades do caso brasileiro. A clara percepção das vantagens da opção eólica no Brasil e seus resultados num programa de incentivos de longo prazo é condição necessária para o sucesso.

Feito isto, e sabendo que a presença da geração eólica em escala considerável está sujeita a alguma forma de incentivo, faz-se necessária políticas de incentivo à participação das fontes alternativas renováveis.

Referencias Bibliográficas

ANEEL. **Atlas de energia elétrica no Brasil – Capítulo 6: Energia Eólica** p.93. 2. Ed. Brasília: ANEEL, 2005.

BELTRAME, F. **Segundo relatório do Pnuma, de 90 metas internacionais para o meio ambiente, apenas quatro tiveram avanços significativos.** Disponível em:

<http://www.eccaplan.com.br/index.php?option=com_lyftenbloggie&view=entry&category=noticias&id=455:rio20-carbono-relatorio-pnuma-de-90-metas- apenas-quatro-tiveram-avancos&Itemid=14> Acesso em: set.2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Matriz Energética Nacional 2030** / Ministério de Minas Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME:EPE, 2007.p. 254.

BRONZATTI, F. L.; NETO, A. L. **Matrizes energéticas no Brasil: cenário 2010-2030.** XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2008.

CAIUBI. **A matriz energética no mundo e no Brasil.** Disponível em:

<<http://caiubi.blogspot.com.br/2011/07/matriz-energetica-no-mundo-e-no-brasil.html>> Acesso em: set. 2012.

CHADE, J..O Estado de S.Paulo, 30 de novembro de 2011. **Brasil é o 5º maior em energias renováveis.** Disponível em:

<<http://www.estadao.com.br/noticias/impreso,brasil-e-o-5-maior-em-energias-renovaveis,804727,0.htm>> Acesso em: out.2012.

Ciclo Vivo. **Brasil ocupa o 8º lugar em políticas de incentivo à energia renovável.**

Disponível em:

<http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/5227/brasil_ocupa_oitavo_lugar_em_politicas_de_incentivo_a_energia_renovavel/> Acesso em: set.2012.

CINTRA, R. **Parques Eólicos Offshore e os Turbine Installation Vessels.** Disponível em: < <http://portalmaritimo.com/2010/11/08/parques-eolicos-offshore-e-o-turbine-installation-vessel/> > Acesso em: nov. 2012

Comissão Pastoral da Terra Regional Mato Grosso do Sul. Campo Grande, junho de 1998. **Usina de Porto Primavera.** Disponível em: <

<http://www.riosvivos.org.br/Noticia/Usina+de+Porto+Primavera/2> >Acesso em: ago.2012.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Energia eólica: panorama mundial e perspectivas no Brasil.** Brasília : CNI, 2009. 34 p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Matriz energética: cenários, oportunidades e desafios** CNI. Brasília : CNI, 2007. 82 p.

- CRESESB. **Energia eólica: estado atual e perspectivas**. Disponível em: <http://www.agg.ufba.br/cier_eolica.pdf> Acesso em: set.2012.
- CRUZ, R e VENTURA, R. **integração da energia eólica na rede**. Disponível em: <<https://woc.uc.pt/deec/getFile.do?tipo=2&id=11123>>. Acesso em: set. 2012.
- ECONOMIA E ENERGIA. **Notícias do balanço energético MME 2003: Análise energética brasileira – período 1970 a 2002**. Nº 40: setembro – outubro, 2003.
- ENERGIAS RENOVÁVEIS. Disponível em: <<http://energiasalternativas.webnode.com.pt/energias-renovaveis/energia-eolica/>> Acesso em: out. 2012
- EXXON MOBIL. **Panorama Energético: Perspectivas para 2030**. Disponível em: <http://www.esso.com/Brazil-Portuguese/PA/Files/Panorama_Energetico2030.pdf> Acesso em: nov. 2012
- FARIAS, R. L. R. Relatório de sustentabilidade 2010. Disponível em: <http://www.fibria.com.br/rs2010/pt/template?go=ambiental/ambiental_operacoes_indicadores.html> Acesso em: out.2012.
- GAVINO, N. A. **Energia Eólica: uma análise dos incentivos à produção (2002-2009)**. 2011. 117f. Monografia de conclusão de curso (graduação). Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- GOLDEMBERG, J. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento**. São Paulo: Edusp, 1998. 234 p.
- GUANDALINI, G.; SILVA, C.. **A dupla conquista**. Revista veja, edição 1941, 1 de fevereiro de 2006. Disponível em: <http://veja.abril.com.br/010206/p_090.html> Acesso em: set.2012.
- GWEC. **Global Wind Energy Council - Global statistics**. Disponível em: <<http://www.gwec.net/global-figures/graphs/>> Acesso em: set. 2012.
- HASWANI, M. **A comunicação do Estado democrático de direito na mobilização para a sustentabilidade**. Disponível em: <http://www.abrapcorp.org.br/anais2008/gt6_furlan.pdf>. Acesso em: nov. 2012
- INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL. **O risco da escassez. Água doce e limpa: de "dádiva" à raridade**. Março de 2005. Disponível em: <<http://www.socioambiental.org/esp/agua/pgn/>> Acesso em: out.2012.
- ITAIPU BINACIONAL. **Participação nos mercados**. Disponível em: <<http://www.itaipu.gov.br/energia/participacao-nos-mercados>> Acesso em: set.2012.
- LAYTON, J. **Como funciona a energia eólica**. Disponível em: <http://www.fiec.org.br/artigos/energia/energia_eolica.htm> Acesso em: out. 2012

MATRIZ ENERGÉTICA LIMPA. Desenvolvimento sustentável, responsabilidade e compromisso de todos. Disponível em: <<http://www.cop15.gov.br/pt-BR/indexe293.html?page=panorama/matriz-energetica-limpa>> Acesso em: out.2012.

MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES. **Recursos não-renováveis**. Disponível em: <<http://www.itamaraty.gov.br/temas/temas-multilaterais/energia-e-biocombustiveis/recursos-nao-renovaveis>> Acesso em: set.2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Parque eólico de Osório.**, Aneel, Governo do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/sobre/economia/energia/obras-e-projetos/parque-eolico-de-osorio-rs>> Acesso em: out.2012.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. **Programa nacional de produção e uso de biodiesel (pnpb)**. . Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/portal/saf/programas/biodiesel>> Acesso em: out. 2012.

MIRANDA, A. T.. **Fontes de energia (2): Carvão, petróleo, gás, água e urânio**. Disponível em: <<http://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/fontes-de-energia-2-carvao-petroleo-gas-agua-e-uranio.htm>> Acesso em: set. 2012.

MML ENERGIA. **A energia eólica no mundo**. Disponível em: <<http://www.mmlenergia.com.br/mmlenergia/ui/EnergiaEolica/NoMundo.aspx>> Acesso em: nov. 2012

PETROBRAS E BRITISH PETROLEUM. As 10 maiores reservas de petróleo do mundo. Disponível em: <<http://lista10.org/diversos/as-10-maiores-reservas-de-petroleo-do-mundo/>> Acesso em: set.2012.

PETRÓLEO. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/07-Petroleo%282%29.pdf>> Acesso em: out.2012.

PORTAL BRASIL, desde 2010. **Petrobras anuncia descoberta do pré-sal**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/linhadotempo/epocas/2006/petrobras-anuncia-descoberta-do-pre-sal>> Acesso em: out.2012.

REVISTA CULTURA E CIDADANIA. **Artigos: Matrizes Energéticas do Brasil**. Publicado em 08 de maio de 2012. Disponível em: <<http://revistaculturacidania.blogspot.com.br/2012/05/artigos-matrizes-energeticas-do-brasil.html>> Acesso em: ago.2012.

SATO, P. **O que é a camada pré-sal?**. Disponível em: <<http://revistaescola.abril.com.br/geografia/fundamentos/camada-pre-sal-474623.shtml>> Acesso em: out. 2012

SIQUEIRA, L.; BATISTA, R.; OLIVEIRA, T. **A descoberta do Pré-sal e suas vantagens e desvantagens**. Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense v. 2, n. 1, p. 277-281, 2012.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos estud. - CEBRAP n.º.79 São Paulo, 2007.**

TULLOCH, J. **Os 10 melhores países em energia eólica.** Disponível em: <<http://sustentabilidade.allianz.com.br/energia/renovaveis/?747/Os-dez-melhores-paises-em-energia-eolica>> Acesso em: set.2012.

UNIC - RJ. **A ONU e o meio ambiente.** Disponível em: <<http://unic.un.org/imucms/rio-de-janeiro/64/39/a-onu-e-o-meio-ambiente.aspx>> Acesso em: set. 2012.

VEJA ON-LINE. **Do “ouro negro” a uma nova matriz energética.** Disponível em: <http://veja.abril.com.br/idade/exclusivo/energias_alternativas/contexto1.html> Acesso em: out.2012.

VIAN, C. E. F. **Programas de energia renovável sustentável.** Plano Nacional de Agroenergia. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_54_22122006154840.html> Acesso em: out.2012.

VIDAL, O.; FERREIRA, L. P. **Descoberto em 2007, pré-sal guarda 50 bilhões de barris de petróleo.** Disponível em: <<http://redeglobo.globo.com/globociencia/noticia/2012/05/descoberto-em-2007-pre-sal-guarda-50-bilhoes-de-barris-de-petroleo.html>> Acesso em: mai. 2012.

WADA, C. **Relatório do Clube de Roma** . Disponível em: <<http://www.cmqv.org/website/artigo.asp?cod=1461&idi=1&moe=212&id=17072>> . Acesso em: nov. 2012.

ZANCAN, F. L.; **Fórum Matriz Hidrotérmica e a Segurança do Sistema Elétrico Nacional. O Papel do Carvão Mineral Nacional na Matriz Energética: Contribuição e Desafios.** ABCM, Associação brasileira de carvão mineral. Rio de Janeiro, 20 de agosto de 2009. Disponível em: <http://www.carvaomineral.com.br/abcm/palestras/20_08_09/seguranca_energetica.pdf> Acesso em: ago.2012.