



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

ENERGIA EÓLICA: PERSPECTIVAS NO BRASIL E NO MUNDO

Erica Werneck Duarte Melo¹; Isabela Pessanha Vilaça²; João José de Assis Rangel³

¹ Universidade Candido Mendes, Unidade de Mestrado Acadêmico em Engenharia de Produção –
erica87_adm@hotmail.com

² Universidade Candido Mendes, Unidade de Mestrado Acadêmico em Engenharia de Produção –
isabela.vilaca@hotmail.com

³ UENF - Universidade Estadual Norte Fluminense, Doutor em Engenharia de Materiais e Metalúrgica –
joão@ucam-campos.br

RESUMO

Este trabalho tem como foco analisar as perspectivas e os avanços da energia eólica no Brasil e no mundo, avaliando desde o seu surgimento até os dias atuais, em especial como diferentes países estão no ranking quanto ao uso dessa fonte de energia renovável e a tecnologia utilizada. É apresentado, diante de um cenário de mudança climática, como esta fonte pode ser significativamente mais limpa e economicamente viável, ainda que seja apenas o início para que se estabeleça. Mostra como deu-se sua consolidação e quais são os principais desafios enfrentados para que alcance, a longo prazo, a sua sustentabilidade. Com base em fontes nacionais e internacionais, destaca o crescente potencial competitivo dessa fonte energética e a necessidade de investimentos governamentais para o alcance de resultados satisfatórios.

Palavras-chave: Energia Eólica, perspectivas, sustentabilidade.

I. INTRODUÇÃO

A dependência da humanidade por recursos energéticos e fatores como poluição e mudança climática, por exemplo, estimularam investimentos em fontes energéticas renováveis, dentre as quais a energia eólica se destaca [JUNFENG et al., 2006]. Esta é produzida através da força dos ventos, que transforma energia cinética em energia elétrica. Em meio às inúmeras opções de energias renováveis, a eólica tem destaque no que diz respeito à segurança de

fornecimento, sustentabilidade ambiental e produção [GWEC, 2008; EWEA, 2010].

Para Junfeng et al., [2006] e Pengfei e Hu [2010], a energia eólica ganha destaque como uma das mais promissoras e competitivas fontes de energia renovável, além de produzir efeitos ambientais inferiores se comparada a outras fontes energéticas.

Considerando e analisando o passado recente da humanidade, resgata-se a primeira crise do petróleo como um acontecimento de significativa importância para o setor elétrico e para o início do movimento ambiental atual.

www.conepetro.com
.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

A dependência mundial de combustíveis fósseis e os impactos gerados por essa dependência, acentuados com uma nova crise do petróleo na década de 1980, forçou governos ao redor do mundo a darem início a políticas de incentivo ao desenvolvimento de tecnologias alternativas de energia, tendo como embasamento a capacidade de renovação dos insumos [JUNFENG et al., 2006].

Dentro desse cenário, a indústria de energia eólica ganhou maior destaque como exemplo de produção de energia limpa e a disponibilidade gratuita de seu combustível – o vento. Esse fato trouxe consequências positivas, fazendo com que em 2005 o setor obtivesse mais de US\$ 10 bilhões em investimentos e empregasse mais de 150 mil pessoas [JUNFENG et al., 2006]. Essa realidade contribuiu para estimular investimentos de várias formas ao setor e tornar esta modalidade de energia mais interessante economicamente.

Ao longo deste trabalho serão feitas comparações entre o Brasil e outros países, em especial como estão no ranking quanto ao uso dessa fonte de energia renovável, apresentando o processo de consolidação e os principais desafios enfrentados para que a energia eólica alcance, a longo prazo, a sua sustentabilidade.

1.1. Aerogeradores

Um [aerogerador](#) (**turbina eólica** ou **Sistema de Geração Eólica**) é um equipamento que usa a energia cinética do vento transformando-a em energia elétrica. Como no processo é utilizado uma fonte de energia infinita, denomina-se fonte de energia renovável, e também de energia eólica por utilizar o vento no processo.

Dois tipos de aerogeradores podem ser diferenciados de acordo com o tipo de rotor. Com rotor de eixo vertical, como mostra a Figura 1, normalmente possuem preços mais elevados que os de eixo horizontal, pois o gerador não gira seguindo a direção do vento, apenas o rotor gira enquanto o gerador fica fixo. Devido a isso, o de eixo horizontal possui desempenho inferior.

Os aerogeradores com rotor de eixo horizontal, Figura 2, são os mais conhecidos e os mais utilizados pela sua maior eficiência, compensando o seu custo mais elevado. Nesta categoria encontram-se os rotores multipás e os de 2 ou 3 pás. Os rotores constituídos por 3 pás são os mais usados para geração de energia elétrica em larga escala. São utilizadas como fonte de energia renovável, estes são impulsionados apenas pela força de sustentação. Estes apresentam também maior eficácia pela sua menor resistência ao ar.

A gama de potências dos aerogeradores estende-se desde os 100 W (comprimento das pás da ordem de 1 metro) até cerca de 8 MW (longitude das pás que supera os 80 metros).



Figura 1: Aerogerador Vertical

Fonte:

<https://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com/aerogerador-de-eixo-horizantal/gerador-eolico-de-eixo-vertical/>



Figura 2: Aerogerador Horizontal

Fonte: <http://www.portal-energia.com/funcionamento-de-um-aerogerador>

1.2. Perspectivas sobre a geração eólica no Brasil

De acordo com Melo [2014], ainda muito recente no Brasil, a energia eólica tem experimentado um virtuoso e exponencial crescimento no país. Esta fonte de energia já

vem colaborando em elevado grau para o desenvolvimento, abastecendo nos dias atuais cerca de quatro milhões de casas brasileiras, ou doze milhões de indivíduos, o que é equivalente a uma cidade do tamanho de São Paulo.

O desenvolvimento da fonte eólica no Brasil foi marcado pela instalação da primeira turbina eólica em 1992, em Fernando de Noronha, seguindo com a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). Fundamentado em um estruturado modelo de financiamento e políticas regionais e lançado em 2004, o PROINFA foi responsável pela contratação de 1.422,9 MW (megawatts), por meio de preços subsidiados [MELO, 2014].

Segundo Melo [2014], o Brasil se destaca com geração de energia elétrica renovável e limpa, preponderantemente hídrica, na qual a eólica é complementar. Quarenta e cinco por cento (45%) de sua matriz energética deriva de fontes que não emitem CO₂, contra menos de 20% da média mundial. A Figura 3 apresenta a evolução da produção de energia eólica no Brasil no período de 1990 a 2013.



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

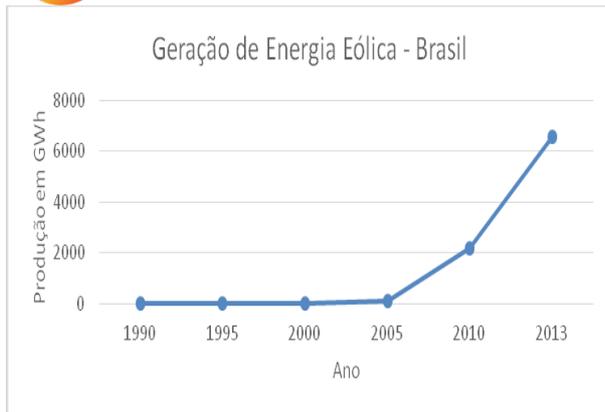


Figura 3: Geração de Energia Eólica – Brasil

Fonte: Adaptado do IEA

Segundo dados da IEA - International Energy Agency, em português - Agência Internacional de Energia, como mostra a figura acima, nos anos 90 não havia produção de energia eólica, sendo no ano 2000 o seu aparcimento, de uma forma ainda não expressiva. A partir de 2010 já começa tornar-se significativa.

O Brasil possui uma vantagem competitiva única, frente aos demais, devido a trajetória tecnológica, que é o principal fator de competitividade desta indústria. A exemplo disso pode-se citar o aumento na altura dos aerogeradores, de 50 m para 100 m, e o diâmetro das pás e dos rotores, somados a especificidades dos ventos brasileiros. Unindo esses fatores a uma conjuntura de crise internacional, com grande choque nos anos 2009 a 2012, o Brasil tornou-se, junto a Índia e a China, um importante foco de investimento para este setor.

Europa e EUA reduziram e, em alguns casos, cortaram seus investimentos em fontes renováveis subsidiadas. Esses fatores fazem com que a competição se torne ainda maior, de forma que os investidores, para ganhar mercado, tendem a aceitar uma remuneração menor para entrar e continuar no País [MELO, 2014].

Segundo o mesmo autor, a energia eólica é uma fonte renovável e limpa, que gera renda e empregos para o Brasil. Até 2013, foram criados 120 mil empregos diretos e, neste ano, está sendo investidos no setor em torno de R\$ 14 bilhões, com projeção de chegar a mais R\$ 60 bilhões até 2018.

Diante dos fatos apresentados, registra-se, especialmente a partir do ano de 2009, a chegada de muitos fabricantes interessados no mercado brasileiro e uma forte redução nos preços de venda. A estratégia destas empresas deu-se com a entrada agressiva no mercado brasileiro, com baixos preços, e com a oferta dos equipamentos em estoque e, no futuro, a instalação de fábricas no país. Por essa razão, no início houve uma tendência à entrada de equipamentos de tecnologia secundária para atender a demanda por equipamentos a preços menores, não representando, assim, equipamentos com tecnologia de ponta [MELO, 2014].

A partir dos leilões de 2010 e 2011, principalmente, houve modificação no

www.conepetro.com
.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

cenário. Os últimos equipamentos instalados refletem a tecnologia de ponta dos fabricantes. O Brasil atrai hoje o investimento em aerogeradores de última geração com potência de 3 MW, torres com 120 metros de altura e pás com mais de 60 metros [MELO, 2014].

Essas tecnologias referem-se a geração de energia eólica on-shore, uma vez que os parques off-shore estão tendendo para máquinas maiores, acima de 6 MW e, atualmente de 9 MW, em P&D. Em contrapartida, essa tecnologia de ponta ainda possui elevados custos no Brasil e ainda há muito o que se explorar em áreas on-shore no país.

O grau de evolução tecnológica e a estrutura do mercado mundial de equipamentos eólicos, demonstra que essa indústria encontra-se em seu estado inicial, no Brasil e no mundo, permitindo concluir que esse setor tem um grande potencial de crescimento [MELO, 2014].

Para Melo [2014], o Brasil ainda tem um extenso caminho visando melhorar a competitividade e garantir a sustentabilidade de longo prazo da fonte de energia eólica. Essa fonte passa essencialmente pela melhora da competitividade nos valores de produção das turbinas eólicas e nos demais custos do país, uma vez que essas turbinas são influenciadas densamente pela aquisição dos

insumos no país. Dessa forma, a diminuição nos preços das turbinas ainda é um dos maiores entraves para redução do custo total de produção de energia eólica. Isso mostra a necessidade de fortes incentivos ao progresso tecnológico, seja em investimentos em P&D e Inovação, ou no sentido de manutenção de uma relativa abertura do país para ganhar investimentos externos.

A possibilidade de produção de energia eólica no Brasil é quase infinita, tem-se potenciais eólicos de altíssima qualidade no Sul e Nordeste do país, e, mais recentemente, os estudos eólicos têm apresentado potenciais em São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, entre outros estados que ainda estavam fora da rota da energia dos ventos no passado. Com esse crescimento em alta velocidade, logo, o país estará entre os líderes mundiais no investimento e na produção em energia eólica [MELO, 2014].

O Brasil concluiu o ano de 2013 como 13º colocado no ranking mundial de parques eólicos construídos, sendo em 2014, o sétimo país que mais instalou novos parques de energia eólica, estando abaixo apenas, da China, Alemanha, Reino Unido, Índia, Canadá e EUA [MELO, 2014].

A indústria eólica hoje, em processo de consolidação, embora esteja enfrentando grandes desafios, ainda precisa superar alguns obstáculos, como os problemas de logística

para o transporte de equipamentos. Esses desafios podem ser considerados bons, pois serão a fim de desenvolver para desempenhar uma próxima etapa desta indústria virtuosa, alcançando, no longo prazo, a sua sustentabilidade [MELO, 2014].

1.3. Perspectivas sobre a geração eólica no Mundo

Segundo relatórios da Associação Mundial de Energia Eólica (WWEA - World Wind Energy Association), dados de 2010, mais de 80 países utilizam a energia eólica como fonte de energia elétrica, sendo esta energia renovável disponível que tem levado os países a investirem em grande escala, estabelecendo incentivos e conduzindo investimentos financeiros para estimular essa geração limpa. A figura 4 mostra a evolução dessa fonte alternativa no mundo.

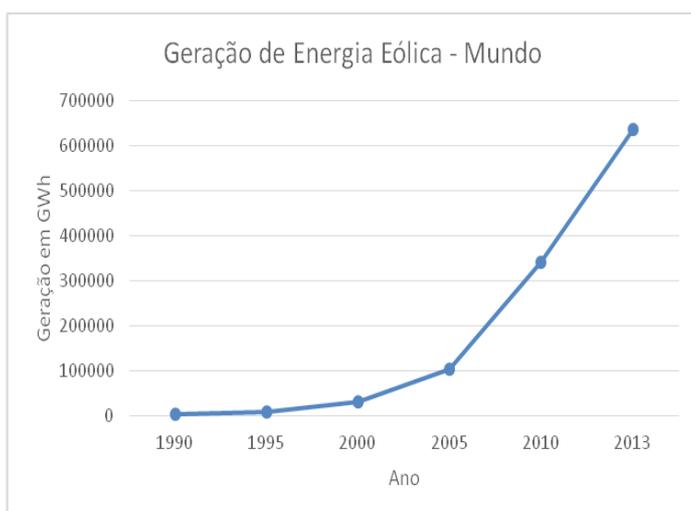


Figura 4: Geração de Energia Eólica – Mundo

Fonte: Adaptado do IEA

Como é possível observar na imagem acima, o aumento da geração de energia eólica dá-se pelo expressivo avanço tecnológico dos parques eólicos e pela queda dos preços de implementação. Esse rápido crescimento do setor eólico no mundo é estimulado pela nova orientação para a transferência dos combustíveis fósseis como fundamental fonte energética [CORREA, 2016].

A Alemanha, até 2005, estava no ranking como o país líder em produção de energia eólica, sendo superada pelos Estados Unidos no ano de 2008. A China tem se mostrado, desde 2010, o maior produtor, com um aumento significativo de 41%, com um total de 62.000 MW (62 GW).

Na Dinamarca, segundo ainda a WWEA, a demanda por energia eólica, no ano de 2007, representava 23% da produção, enquanto essa parcela era de 6% e 8% na Alemanha e Portugal respectivamente.

Conforme tabela abaixo, enquanto o Canadá teve um bom desempenho, subindo no ranking, a Espanha apresentou com 0 MW de capacidade adicionada. Algo jamais visto em se tratando de um país que já teve um papel de liderança e que não tinha se colocado ainda em posição de paralisação completa.



Wind Energy Worldwide

Top 15 countries by total wind installations

Position 2015	Country/Region	Total capacity end 2015** [MW]	Added capacity 2015*** [MW]	Growth rate 2015 [%]	Total capacity end 2014 [MW]
1	China	148'000	32'970	29.0	114'763
2	United States	74'347	8'598	13.1	65'754
3	Germany	45'192	4'919	11.7	40'468
4	India *	24'759	2'294	10.2	22'465
5	Spain	22'987	0	0.0	22'987
6	United Kingdom	13'614	1'174	9.4	12'440
7	Canada	11'205	1'511	15.6	9'694
8	France	10'293	997	10.7	9'296
9	Italy	8'958	295	3.4	8'663
10	Brazil	8'715	2'754	46.2	5'962
11	Sweden	6'025	615	11.1	5'425
12	Poland	5'100	1'266	33.0	3'834
13	Portugal	5'079	126	2.5	4'953
14	Denmark	5'064	217	3.7	4'883
15	Turkey	4'718	955	25.4	3'763
	Rest of the World	40'800	5'000	14.0	35'799
	Total	434'856	63'690	17.2	371'374

* by november 2015

** Includes all installed wind capacity, connected and not-connected to the grid.

*** Includes the net capacity added during the year 2015.

© WWEA - 2016

A IEA - International Energy Agency, em português - Agência Internacional de Energia, considera as energias renováveis um leque de opções para estabelecer um potencial energético seguro e sustentável. Apresentando em recente Relatório de Mercado de Energia Renovável de Médio Prazo, uma quota de geração de poder global superior a 26% de energias renováveis até 2020, contra 22% em 2013.

Continuando a análise, dados do Conselho Global de Energia Eólica (GWEC, na sigla em inglês), ratificam que a capacidade instalada de geração de energia

eólica mundial passou de 6,1 GW para 282,4 GW nos últimos 16 anos, dados de 2012. Considerando essas informações, o mundo teria capacidade de produzir o correspondente a 20 hidrelétricas de Itaipu em energia a partir do poder do vento.

A China, líder do grupo, prevê, segundo matéria exibida pela BBC NEWS, em 9 de janeiro de 2014, dobrar o número de turbinas eólicas no país ao longo dos próximos seis anos, pretendendo atingir a marca de 200 GW até 2020, sendo sua capacidade atual instalada de energia eólica de cerca de 75 gigawatts (GW). Perspectiva esta bem provável, uma

vez que foram os chineses que deram início ao maior impulso que as energias renováveis já receberam em todo o mundo.

O caminho para o crescimento dessa fonte renovável tem se mostrado tão significativo no país, que hoje duas usinas são instaladas por dia na região de Xinjiang. Dados de 2016 da WWEA apontam a China com uma quota de 51,8% do mercado de geração de energia eólica no mundo, somando 33 GW de nova capacidade.

Ainda segundo a mesma fonte citada anteriormente, o mundo assiste um recorde em novas instalações eólicas, acrescentando 63'690 MW no ano de 2015. A capacidade total de vento do mundo chegou a 435 GW.

A IEA considera as energias renováveis um leque de opções para estabelecer um potencial energético seguro e sustentável, apresentando em recente Relatório de Mercado de Energia Renovável de Médio Prazo, uma quota de geração de poder global superior a 26% de energias renováveis até 2020, contra 22% em 2013.

Segundo dados do Ministério Minas e Energia, quanto as emissões de CO₂, o indicador brasileiro é de 1,59 tonelada para cada mil quilos de energia consumida (tCO₂/tep). Com esse número, o país está muito abaixo da média mundial, como mostra a Figura 5.

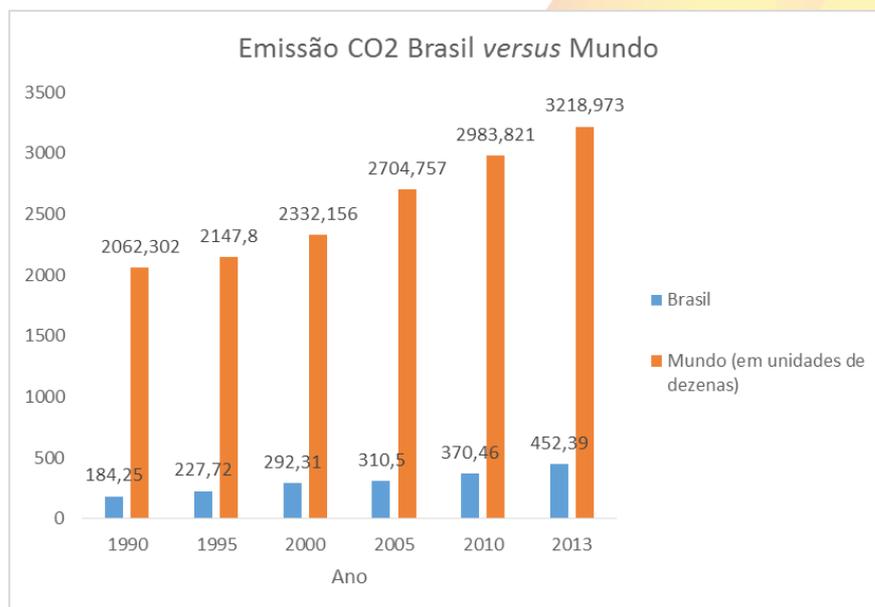


Figura 5: Emissão CO₂ Brasil versus Mundo,

Fonte: Adaptado do IEA



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

O sucesso da COP21 eleva as expectativas dos esforços globais em combater as alterações climáticas, o que afeta de forma positiva a dinâmica para a implantação de tecnologias renováveis e eficientes, fazendo com que as perspectivas em relação a um progressivo aumento da geração de energia eólica torne-se cada mais expressivo.

Segundo informações do portal ABE Eólica, do crescimento esperado das renováveis, 52% serão feitos por hidrelétricas e 28% por energia eólica. Grande parte do crescimento das hidrelétricas será nos países fora da OCDE, enquanto da energia eólica será nos países da organização.

II. METODOLOGIA

Para elaboração deste trabalho foram feitas revisões bibliográficas, utilizando dados de agências nacionais e internacionais especializadas no estudo das fontes renováveis de energia, neste caso com ênfase na energia eólica, objeto de estudo e comparação, o que possibilitou a consistência das informações e elaboração dos gráficos apresentados.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme apresentado neste trabalho, o Brasil e o mundo, nos últimos anos, têm

demonstrado expressivo interesse na expansão de energias renováveis. A energia eólica tem se destacado como exemplo de produção de energia limpa e a disponibilidade gratuita de seu combustível – o vento. Tendo impactos ambientais relativamente baixos e sofrido grande evolução tecnológica nos últimos tempos, seu custo de implantação e operação tem caído, tornando-a uma fonte alternativa cada vez mais competitiva em relação as outras.

No Brasil o trajeto ainda é longo na busca por se tornar um país mais sustentável e melhorar a competitividade nos custos com produção das turbinas eólicas. Estas são consideradas um dos agentes dificultadores mais relevantes para a redução do custo total de produção de energia eólica. No ano de 2013 o país foi o 13º colocado no ranking mundial de parques eólicos construídos, sendo em 2014, o sétimo país que mais instalou novos parques.

Estudos revelam um aumento do uso de energia eólica no mundo, com destaque para a China, que tornou-se o país com maior capacidade instalada, bem como o centro da indústria eólica internacional, ultrapassando 41% o total instalado, de 2010 a 2011. Estima-se que até o ano de 2050, a energia eólica seja responsável por uma parcela relevante no abastecimento mundial, cerca de

www.conepetro.com.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

25% a 30%, segundo o Conselho Global de Energia Eólica.

O melhor aproveitamento da energia eólica será de vital importância no futuro, pois espera-se que esta supra a necessidade de populações. A implantação do uso de energia eólica é uma premissa para aqueles que desejam uma indústria consolidada e um setor forte e sustentável, que depende unicamente do crescimento tecnológico da humanidade.

IV. CONCLUSÕES

Diante do exposto, verificou-se o significativo papel da evolução da energia eólica nos cenários brasileiro e mundial, com benefícios ambientais, contribuindo não apenas para a redução de gases poluentes, como também para a diminuição da dependência de combustíveis fósseis. Os custos de implantação e operação têm sofrido uma diminuição, o que torna essa fonte renovável ainda mais atrativa. No que se refere ao Brasil, em 2014 foi o sétimo país na instalação de novos parques de energia eólica, enquanto a China prevê dobrar o número, segundo Conselho Global de Energia Eólica. As estimativas positivas não desconsideram o fato dos projetos terem um custo elevado e com retorno em longo prazo, o que ratifica a necessidade de apoio governamental para que

esta fonte renovável de energia evolua e revolucione.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Como funciona um Aerogerador. Disponível em: <<http://www.portal-energia.com/funcionamento-de-um-aerogerador/>>. Acesso em: 24 maio 2016.

CORREA, Paula Machado. Energia Eólica: Análise teórica e sua aplicação no mundo. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26101/000755238.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 01 jun. 2016.

Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/>>. Acesso em: 01 jun. 2016.

Geração de energia elétrica deve crescer 93% até 2040 no mundo, segundo EUA. Disponível em: <<http://www.portalabeeolica.org.br/index.php/noticias/865-geração-de-energia-elétrica-deve-crescer-93-até-2040-no-mundo,-segundo-eua.html>>. Acesso em: 02 maio 2016.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL – GWEC. Global wind energy outlook 2008.



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

Brussels: GWEC, 2008. Global Wind report: annual market update 2010. Brussels: GWEC, 2010.

IEA to receive Spanish Wind Energy Association's Annual Award for emphasis on renewables: Recognition welcomed as sign that IEA increasingly seen as global clean energy hub. Disponível em: <<http://www.iea.org/newsroomandevents/agencyannouncements/iea-to-receive-spanish-wind-energy-associations-annual-award-for-emphasis-on-renewables.html>>. Acesso em: 03 maio 2016.

Investimentos em energia eólica no Brasil: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade. Disponível em: <<http://www.wwindea.org/the-world-sets-new-wind-installations-record-637-gw-new-capacity-in-2015/>>. Acesso em: 03 maio 2016.

JUNFENG, L. et al. A study on the pricing policy of wind power in China. Brussels: GWEC, 2006.

PENGFELI, S.; HU, G. China wind power outlook 2010. Bélgica: GWEC, 2010.

MELO, Elbia. Brasil um potencial gigante de produção de energia eólica. Disponível em:

<<http://www.portalabeeolica.org.br/index.php/artigos/2478-brasil-um-potencial-gigante-de-produção-de-energia-eólica.html>>. Acesso em: 03 maio 2016.

MELO, Elbia. Investimentos em energia eólica no Brasil: aspectos de inserção, tecnologia e competitividade. Disponível em: <<http://www.portalabeeolica.org.br/index.php/artigos/2476-investimentos-em-energia-eólica-no-brasil-aspectos-de-inserção,-tecnologia-e-competitividade.html>>. Acesso em: 03 maio 2016.

World Wind Energy Association. Disponível em: <<http://www.wwindea.org>>. Acesso em: 02 maio 2016.

www.conepetro.com
.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br