

Uma análise econômica compromissada com o futuro da energia eólica

Daniel Pinheiro Teixeira¹, *Student, IEEE*, Josimar Ribeiro Nolasco¹, Ângelo Rocha de Oliveira¹, *Student, IEEE*, Lindolpho Oliveira de Araújo Junior¹, Marlon José do Carmo¹, *Member, IEEE* and Paulo Fernando Ribeiro², *Fellow, IEEE*

Resumo -- O presente trabalho realiza uma visão geral a respeito das tecnologias e mercado de energia eólica em nível mundial, discorrendo sobre a evolução das turbinas, sua utilização *offshore*. O trabalho aborda também as tecnologias e seus produtores, expõe dados em relação aos preços de instalação das turbinas e da energia gerada, com perspectivas futuras de acordo com três cenários previstos: de referência, moderado e avançado.

Palavras-chave – Turbinas eólicas, Energia eólica, custos de eólicas.

I. INTRODUÇÃO

Como uma fonte de energia livre de poluentes, a energia cinética dos ventos representa uma alternativa atrativa para a geração de energia elétrica. Com crescimento anual da ordem de 25% nos últimos anos e com perspectivas positivas quanto à capacidade instalada, a energia eólica tem se tornado uma das fontes energéticas que mais crescem no mundo [1]. Estudos realizados apontam quedas no custo médio de implantação de fazendas eólicas, que no final dos anos 80 era de aproximadamente US\$ 4 milhões por megawatt instalado, passando para US\$ 2 milhões no final dos anos 90 e chegando a US\$ 1,7 milhões nos dias atuais [1]. Contudo, o preço da energia eólica teve um aumento devido a elevações no preço do aço, que é a principal matéria-prima dos equipamentos e da forte demanda do material.

O mercado de energia eólica em 2010 teve um crescimento abaixo da média prevista pela primeira vez em duas décadas, principalmente devido aos problemas econômicos enfrentados pelos Estados Unidos e à crise da União Europeia. Os Estados Unidos, que possuem o mais forte mercado de energia eólica

do mundo, tiveram uma queda de 50% em relação a 2009, instalando 5GW em 2010 em relação a 10GW no ano anterior [1].

Durante o ano de 2010, o crescimento mundial foi de 22,5%, correspondente a 35,8GW, crescimento estimulado principalmente pela China, onde foram instaladas cerca de metade de todas as novas turbinas, segundo o Conselho Internacional de Energia Eólica (GWEC) [2]. O desenvolvimento de turbinas comerciais com potências cada vez maiores se torna outro fator favorável à expansão das fazendas eólicas no mundo.

Em meio a este cenário, o presente trabalho apresenta um estudo sobre a evolução dos custos de implantação de parques eólicos em terra e *offshore*, passando pelos fabricantes e apontando tendências no que tange aos custos de fabricação dos equipamentos e de oferta deste tipo de energia no mundo.

II. EQUIPAMENTOS

O crescimento da capacidade eólica mundial tem estimulado a introdução de novas empresas no mercado produtor de equipamentos eólicos. Porém, neste mercado, novas empresas competem com outras que detêm mais de 70% do mercado, resultando em um movimento de fusão e aquisição, principalmente por fabricantes neófitos, que são empresas reconhecidas em outros mercados que, quando percebem a movimentação financeira do setor eólico, optam por comprar fabricantes com experiência nesta área. Um exemplo deste movimento foi a aquisição dos negócios da *Enron Wind* pela *General Electric*, adquirindo plantas na Alemanha e nos EUA [3].

A Tabela I apresenta os dez maiores fabricantes de aerogeradores do mundo, no período de 2005 a 2007, com seu percentual de participação no mercado, sendo notória a manutenção das posições dos principais fabricantes neste período. Pode ser observado que os fabricantes líderes de mercado (Vestas - Dinamarca, GE Wind - EUA e Gamesa - Alemanha) mantiveram suas posições no período, bem como sua participação no mercado, enquanto as empresas Acciona (Espanha) e Goldwind (China) aumentaram sensivelmente sua participação.

Os autores do presente trabalho agradecem ao CNPq, CAPES, FAPEMIG, Fundação CEFETMINAS e ao CEFET-MG pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

Daniel Pinheiro Teixeira¹, Josimar Ribeiro Nolasco¹, Ângelo Rocha de Oliveira¹, Lindolpho Oliveira de Araújo Junior¹, Marlon José do Carmo¹ are with the Department of Electrotechnics at CEFET-MG, Brazil. (e-mails: daniell.pinheiro.eng@gmail.com, josimarnolasco@yahoo.com.br, a.oliveira@ieee.org, lindolpho@leopoldina.cefetmg.br, marloncarmo@ieee.org)

P.F. Ribeiro² is with Technische Universiteit Eindhoven (e-mail: pfribeiro@ieee.org).

¹ Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Campus III, Rua José Peres 558, Bairro Centro, Leopoldina. Brasil. CEP: 36700-000. Phone: +55(32)3449-2300/3449-2318.

² Technische Universiteit Eindhoven Den Dolech 2, 5612 AZ, P.O. Box 513, CR 2.18 5600 MB Eindhoven, Netherlands

TABELA I
OS DEZ MAIORES FABRICANTES DE AEROGERADORES DO MUNDO.
FONTE: [3] (ADAPTADA).

Ranking (2007)	Fabricante	País de origem	Participação no Mercado (%)		
			2005	2006	2007
1	Vestas	Dinamarca	27,6	28,2	22,8
2	GE Wind	EUA	17,5	15,5	16,6
3	Gamesa	Espanha	12,6	15,6	15,4
4	Enercon	Alemanha	14,2	15,4	14
5	Suzion	Índia	6,1	7,7	10,5
6	Siemens	Dinamarca	5,4	7,3	7,1
7	Acciona	Espanha	1,9	2,8	4,4
8	Goldwind	China	1,1	2,9	4,2
9	Nordex	Alemanha	2,6	3,4	3,4
10	Sinovel	China	0	0,5	0,5

A. Evolução das turbinas

A busca pelo desenvolvimento de turbinas comerciais com potências cada vez maiores tem financiado o desenvolvimento do setor tecnológico. Entretanto, a energia eólica ganhou destaque a partir da busca por fontes de energia renováveis.

O período da Segunda Guerra Mundial, onde os países em geral empenhavam grandes esforços no sentido de economizar combustíveis fósseis, possibilitou os desenvolvimentos dos aerogeradores de médio e grande porte.

Porém, após este período, os combustíveis fósseis deixaram de ser uma preocupação. Estudos econômicos realizados na época mostravam que os projetos de aerogeradores não eram mais viáveis, sendo os projetos realizados apenas para pesquisas, com o intuito de se aprimorarem técnicas aeronáuticas na operação e desenvolvimento de pás, além de aperfeiçoamentos no sistema de geração.

Durante o período entre 1955 e 1968, a Alemanha contribuiu com avanços tecnológicos utilizados nos dias atuais. Tais avanços vieram por meio de um aerogerador em que o principal destaque era o fato das pás serem feitas de materiais compostos, aliviando os esforços em rolamentos, diminuindo assim os problemas de fadiga [4].

Outros pontos relevantes que levaram ao início do desenvolvimento dos equipamentos para geração de energia proveniente dos ventos são expressos na reta do tempo ilustrada na Fig. 1.

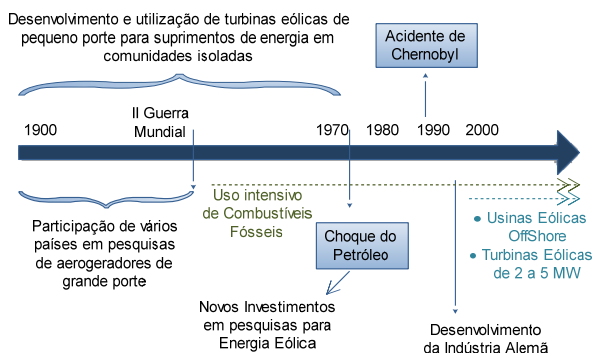


Fig. 1. Principais marcos do desenvolvimento da energia eólica. Fonte: [4] (adaptada).

As primeiras turbinas eólicas desenvolvidas tinham potências nominais entre 10 kW e 50 kW, passando para a faixa de 100 kW a 300 kW no início da década de 1990. Cinco anos depois, os fabricantes de grandes turbinas ofereciam modelos de 300 kW a 750 kW. Em 1997, foram introduzidas comercialmente as turbinas eólicas de 1MW e 1,5 MW, iniciando a geração de máquinas de grande porte. No ano 1999 surgiram as primeiras turbinas eólicas de 2MW e existem protótipos de 3,6MW e 4,5MW na Espanha e na Alemanha. Atualmente, existem protótipos de 5MW e 7MW. Já são mais de mil turbinas eólicas com potência nominal superior a 1 MW em funcionamento no mundo [3]. O desenvolvimento dos geradores eólicos em relação à potência nominal, ao diâmetro do rotor e a altura da torre é ilustrada graficamente na Fig. 2.

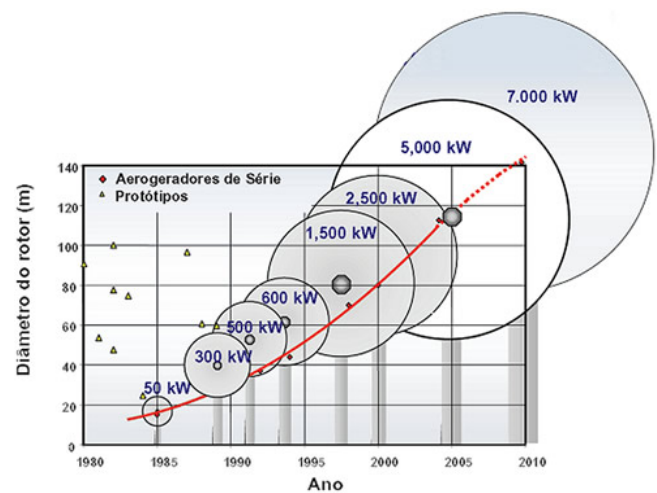


Fig. 2: Evolução dos aerogeradores desde 1985 – 2010. Fonte: [4].

No que tange a projetos em desenvolvimento, pode-se citar o projeto do Laboratório Nacional de Energia Sustentável da Universidade Técnica da Dinamarca (Risø DTU) onde são realizados testes em uma fazenda com uma capacidade nominal de 12 MW, que deverá estar operacional até 2012. Este equipamento terá 190 metros de diâmetro e torre de 170 metros de altura [2].

Conforme ilustrado na Fig. 2, as dimensões das pás referenciam a capacidade da turbina e, com uma tendência em direção à instalação de turbinas mais potentes, existem equipamentos com capacidade de 1,5 MW podendo apresentar hélices que pesam até 9 toneladas cada.

No mercado produtor de pás, pode-se dizer que existem três tipos básicos de fabricantes, sendo:

- os especializados na produção de pás com dimensões padronizadas (“de prateleira”), como é o caso da dinamarquesa LM;
- os especializados na fabricação de pás sob encomenda, como é o caso da brasileira Teccis; e
- os que não fabricam apenas pás, mas todos os componentes do aerogerador – caso da Wobben (subsidiária brasileira da alemã Enercon) [3].

As pás do aerogerador são, em geral, fabricadas com fibra de vidro e resina epóxi e podem significar mais de 20% do custo total do equipamento. Já as torres, sendo na maioria das vezes, a instalação por parte do fabricante do aerogerador, também podem representar mais de 20% do custo total do equipamento.

Com torres de instalação cada vez mais altas e com pás dimensionadas para proporcionar o máximo aproveitamento dos ventos, os aerogeradores que há cinco anos permaneciam 15% do tempo em repouso, agora permanecem por menos de 3%, aumentando o rendimento dos equipamentos [3] - [5]. Com o crescimento da competitividade no setor de energia eólica, o preço de turbinas no ano de 2005 caiu cerca de um milhão e trinta e nove mil dólares por megawatt, devido principalmente à grande capacidade de produção.

A maioria das turbinas em escala comercial instaladas atualmente é de 2 MW com custo de aproximadamente US\$ 3,5 milhões. Turbinas eólicas de 100 kW custam aproximadamente de US\$3 mil a US\$5 mil por quilowatt de capacidade. Isso significa que um aerogerador de 10 quilowatts (o tamanho necessário para atender uma casa média) pode custar US\$ 35.000 - US\$ 50.000.

B. Turbinas offshore

Na instalação em terra, os efeitos topográficos são uma das principais forças controladoras do regime dos ventos. Em mar aberto (*offshore*), sem os efeitos topográficos, os blocos de vento são muito mais densos e fortes. A principal desvantagem desta instalação em relação à instalação em terra tem sido o custo elevado de implantação, devido ao transporte, instalação e manutenção, com maiores custos com sustentação das turbinas e infraestrutura elétrica mais complexa para levar a energia gerada até o sistema de potência [6].

Apesar disso, instalações *offshore* têm crescido a cada ano, principalmente devido à redução de áreas de grande potencial eólico em terra. Os aerogeradores para instalação *offshore* possuem potência maior do que os de instalação em terra, tendo capacidade para gerar no mínimo 3 MW. A superfície dos oceanos é mais lisa à medida que se afasta da costa, o que resulta em maior velocidade dos ventos e em baixa instabilidade.

Embora este mercado ainda seja substancialmente menor do que o de instalação em terra, seu desenvolvimento e promoção é parte fundamental de muitas políticas energéticas de várias nações, e as expectativas são muito encorajadores. O mercado de energia eólica *offshore* é caracterizado por projetos que são significativamente maiores e mais arriscados do que a maioria dos projetos em terra. Nesses tipos de projetos trabalha-se em ambientes pouco explorados e com particularidades de acordo com cada região, sendo necessário prever, por exemplo, possibilidades de terremotos e variações climáticas mais bruscas do que as de uma instalação em terra [6]. O maior parque de energia eólica *offshore* do mundo, começou a operar no final de 2010 no Reino Unido. Ocupando uma área de 35 km² no mar da costa inglesa, o

parque possui 100 turbinas aerogeradoras capazes de produzir energia suficiente para abastecer 200 mil casas durante um ano. Cada turbina tem 115 metros de altura, 379 toneladas e pás de fibra de vidro e carbono que medem 44 metros. A construção do parque começou em 2008 e envolveu um investimento de 780 milhões de libras, cerca de dois bilhões de reais [7].

C. Tendências futuras

O desenvolvimento de turbinas eólicas convencionais com maiores potências por unidade tem sido o caminho comum de muitos fabricantes. Entretanto, alguns apostam em sistemas envolvendo inovações, tanto para operação em terra quanto *offshore*.

A empresa chinesa *Zhongke Hengyuan Energy Technology* tem trabalhado em um protótipo que visa à redução das perdas por atrito, utilizando o princípio da levitação magnética. A implantação começou em uma fazenda de grande porte no centro da China, em novembro de 2007. A empresa investiu aproximadamente 60 milhões de dólares na construção desta instalação, que vai produzir turbinas eólicas *Maglev* (*Magnetic levitation transport*) com capacidades que variam de 400-5000 kW. Usando a levitação magnética, as pás da turbina são suspensas em um colchão de ar, e a energia extraída pelos geradores é aumentada com redução das perdas por atrito. Outra vantagem deste tipo de turbina é a redução dos custos de manutenção e aumento da vida útil do gerador.

A empresa canadense *Magenn Air Rotor System (MARS)* apresentou um projeto no qual uma turbina eólica de eixo horizontal tem seu rotor em forma de um balão de hélio. A geração está a uma altitude de cerca de 300m, com transmissão de força para baixo por meio de cabos. Os geradores estão em cada extremidade do rotor (Fig. 3). As laterais do rotor são compostas por hélices em forma de cata-vento. O efeito Magnus associado à rotação do rotor estabiliza a posição do desse [6].

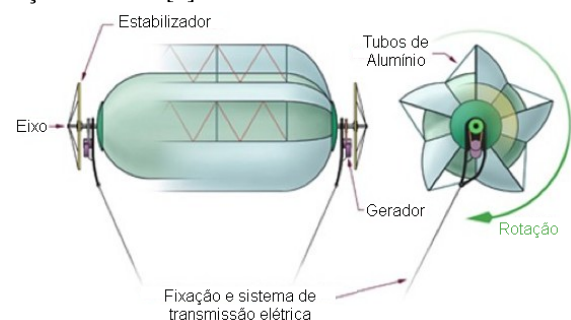


Fig. 3: Turbina Magenn Air Rotor System (M.A.R.S.).

Outro conceito de aerogerador, voltado para o uso doméstico, foi desenvolvido pela empresa *Renewable Devices*, em parceria com a também *Cascade Engineering*, denominando-se *Swift Wind Energy* (Fig. 4). Esta estrutura possui um rotor com diâmetro de 7 metros e foi projetada para instalação em telhados de residências, operando com velocidade mínima de 3,6 m/s e com baixa produção de ruídos. O equipamento é capaz de gerar 2.000 kWh/ano [3].

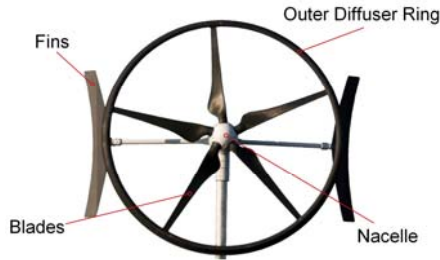


Fig. 4: Turbina SWIFT e partes constituintes.

Os projetos acima citados são apenas alguns que ilustram a engenharia criativa que tem surgido a partir dos desafios na busca por fontes renováveis de energia.

III. CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

A energia eólica tem apresentado rápido desenvolvimento a nível global, com crescimento de potencial instalado de 2.5 GW em 1992 a 197GW em 2010, de acordo com o relatório mundial de energia eólica [8].

Frente ao desenvolvimento do rendimento das turbinas eólicas, e o preço volátil dos combustíveis, a geração eólica de energia vem se tornando competitiva com as convencionais, esta seção abordará um comparativo dos preços para a instalação de estruturas eólicas *offshore* e com base em terra.

A. Custo dos materiais.

Aproximadamente 75% dos custos de uma estrutura estão relacionadas com os custos iniciais, tais como preço da turbina, fundação, equipamento elétrico, ligação à rede, entre outros.

Os parâmetros principais que regem a economia de energia eólica são:

- Custos de investimento;
- Custos de manutenção e operação;
- Produção de eletricidade em relação a velocidade média dos ventos na região;

A Tabela II apresenta o preço de uma estrutura típica de 2MW.

TABELA II
CUSTO DE UMA ESTRUTURA TÍPICA DE 2MW INSTALADA NA EUROPA (€2006)
FONTE: [9].

	Investimento (€1000/MW)	Parcela do custo total %
Turbina	928	75,6
Conexão à rede	109	8,9
Fundação	80	6,5
Aluguel do terreno	48	3,9
Instalação elétrica	18	1,5
Consultoria	15	1,2
Encargos financeiros	15	1,2
Construção de estradas	11	0,9
Sistemas de controle	4	0,3
Total	1228	100

Os custos de operação e manutenção para centrais em terra variam entre 1,5c€/kWh de energia produzida durante a vida útil da turbina.

B. Custo da energia gerada

O custo da energia gerada é calculado como uma função do regime dos ventos no local do parque eólico em questão, podendo variar entre 7 a 10 c€/kWh em locais cuja velocidade média do ar é baixa, até 5 a 6c€/kWh, em regiões costeiras.

Um método comparativo para a análise da velocidade dos ventos em relação aos parques eólicos é o funcionamento em horas à plena carga, que é a quantidade de horas que a turbina deveria trabalhar a plena carga para fornecer a energia que esta fornece durante um ano. A Fig. 5 mostra a relação de horas à plena carga das turbinas em relação ao preço do kWh.

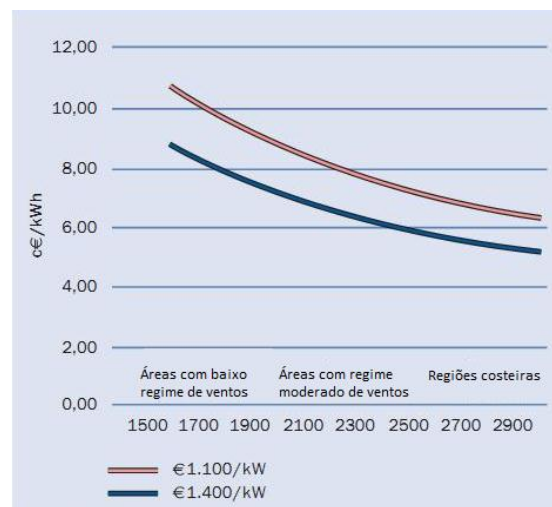


Fig. 5: Relação de horas a plena carga por preço do kWh. Fonte: [9].

O custo total pela geração de kWh é tradicionalmente calculado descontando e nivelando investimentos e os custos de operação e manutenção durante a vida útil da turbina, e dividindo pela produção anual de energia elétrica.

Entretanto, com os avanços tecnológicos, dos últimos quinze anos, vêm acontecendo uma grande melhoria da eficiência das turbinas eólicas, podendo se assumir uma otimização dos investimentos em turbinas eólicas, como descritos anteriormente.

Como uma função dependendo de uma série de fatores, o preço da energia elétrica gerada por turbinas em terra é variável em diferentes locais do globo. Através de uma medida nivelada do preço de energia (LCOE), é possível uma comparação entre os preços do megawatt-hora gerado em países diferentes, como por exemplo, os referentes à Tabela III.

Por sua vez, instalações *offshore*, apresentam um custo muito superior de implantação, podendo chegar de 2.5 a 3 vezes o custo de instalação de uma turbina em terra.

Apesar do alto custo inicial, se faz presente uma vantagem compensadora, que é a maior geração de energia elétrica. Este

fato se deve a maior velocidade do vento em regiões costeiras.

Enquanto uma instalação em terra geralmente atinge a marca de 2000 a 2300 horas a plena carga, uma turbina instalada *offshore* pode atingir mais de 3000 horas a plena carga por ano.

Até o presente momento, apenas uma pequena gama de dados está disponível em relação à produção de energia em alto mar, que servem como parâmetros estimados para o cálculo do LCOE do país em si, devido a este fato, ainda não são realizadas comparações entre países. A Tabela IV apresenta dados relatados em relação a custo e financiamento.

TABELA III
CUSTO NIVELADO DE ENERGIA GERADA POR TURBINAS EM TERRA EM DIFERENTES PAÍSES.
FONTE: [10]

LCOE (€/MWh)	
Suíça	120
Holanda	94
Alemanha	85
Espanha	83
Suécia	67
Estados Unidos	65
Dinamarca	61

TABELA IV
CUSTO NIVELADO DE ENERGIA GERADA POR TURBINAS EM ALTO MAR EM DIFERENTES PAÍSES.
FONTE: [10]

	2007 Holanda Prinses Amalia	2008 Dinamarca Rødsand II	2008 Alemanha Generic
Status do Projeto	2007 Projeções de custos	2008 Projeções de custos	2008 Projeções de custos
Ano de término	2007	Final de 2010	Não especificado
Tamanho da Unidade (MW)	2	2,3	5
Numero de Turbinas	60	90	12
Total de Horas a plena carga	3350	3800	3700
Investimento (€kW)	3315	1883	3230
Custos de Desmantelamento (€kW)	0	0	0
Outros custos (€/MWh)	11	0	0
Custos fixados de O&M (€kW)	149	0	123
Custos de O&M variáveis (€/MWh)	0	24	0
Total de custos de O&M convertidos	44	24	33
Vida Econômica	15	25	20
Retorno sobre dívida (%)	5	4,5	6,5
Retorno sobre patrimônio (%)	12	11,2	15
Parcela da dívida (%)	50	26	70
Participação acionária (%)	50	74	30
Duração do empréstimo (anos)	15	13	12
Taxas nacionais de impostos (%)	25,5	25	29,8

IV. TENDÊNCIAS FUTURAS EM RELAÇÃO AOS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E ENERGIA GERADA POR TURBINAS EM TERRA E EM OFFSHORE

Turbinas eólicas individuais têm apresentado crescimento em relação a sua capacidade nominal. Apesar do tamanho das turbinas diferirem dramaticamente de país para país, existe uma tendência de mercado que aponta à utilização de maiores turbinas em contexto mundial. Segundo o instituto *Global Wind Energy Council* [11] esta é uma tendência que deverá ser mantida por algumas décadas.

A. Quanto ao fator de capacidade

O fator de capacidade de uma turbina está relacionado com o aproveitamento de energia fornecido com a parcela de energia mecânica entregue à turbina, sendo este, variável em relação ao rendimento da turbina e ao regime dos ventos no local de instalação das mesmas.

Atualmente, o fator de capacidade atinge uma média de 25%, assumindo uma melhoria na tecnologia de ambas as

produções e rendimentos das turbinas eólicas (em terra e *offshore*), conseqüentemente haverá uma melhoria constate no fator de capacidade médio.

O fator de capacidade é muito mais elevado em regiões costeiras e em mar aberto, onde o regime dos ventos é constante e mais elevado. O aumento considerável da exploração da geração de energia elétrica *offshore*, principalmente na Europa, será outro fator considerável na elevação da média do fator de capacidade.

As perspectivas apontam para um aumento em relação ao fator de capacidade para 28% em 2015. Embora as médias variem de local para local, foi assumida esta média global para os cenários regionais, como descritos abaixo.

B. Perspectivas em relação aos cenários de referência, moderado e avançado

O cenário de referência é o mais conservador, levando em consideração projeções a partir da Agência Internacional de Energia (IEA). Ela leva em conta apenas as atuais políticas e medidas, mas considera as perspectivas para mudança contínua em relação ao preço da eletricidade e do gás, a

liberação do comércio internacional, a política de combate à poluição e o crescimento da utilização de energia eólica.

O cenário moderado leva em conta as medidas políticas para apoiar as energias renováveis em todo o mundo. Assume também que as metas de muitos países em relação a energias renováveis e redução e emissões sejam atingidas com sucesso, assim como a implementação de novas políticas destinadas a poluição e redução de emissões.

O cenário avançado por sua vez, é o mais ambicioso, levando em consideração o crescimento da indústria de energia eólica na melhor das hipóteses. O cenário avançado mostra as metas que o setor de energia eólica poderia atingir, se fosse dado devido investimento e compromisso político, levando em consideração as mudanças de temperatura globais e as crises no setor de segurança energética.

Estes cenários serão utilizados para expor as tendências futuras, levando em consideração que a previsão até o ano de

2014 é de fato mais realista, visto que os dados disponíveis em relação ao crescimento do mercado de energia eólica, para turbinas eólicas já autorizadas.

Com base em projeções realizadas nos três cenários, de acordo com [11] a parcela de energia elétrica gerada através de turbinas eólicas pode ser calculada.

No cenário de referência, a energia eólica seria responsável por 1000TWh de eletricidade em 2020, cobrindo por volta de 4,5% a 4,8% da demanda global de energia elétrica.

Já no cenário moderado, por volta de 2020 a energia eólica contribuiria com cerca de 8,9% a 9,5% da demanda global de energia elétrica, com a produção de 2000TWh.

De acordo com os estudos e previsões, a Fig. 6 apresenta a relação do custo do kW instalado em relação aos três contextos, e a Tabela V apresenta previsões em relação a capacidade global instalada por ano e qual o custo do kW instalado no ano em estudo.

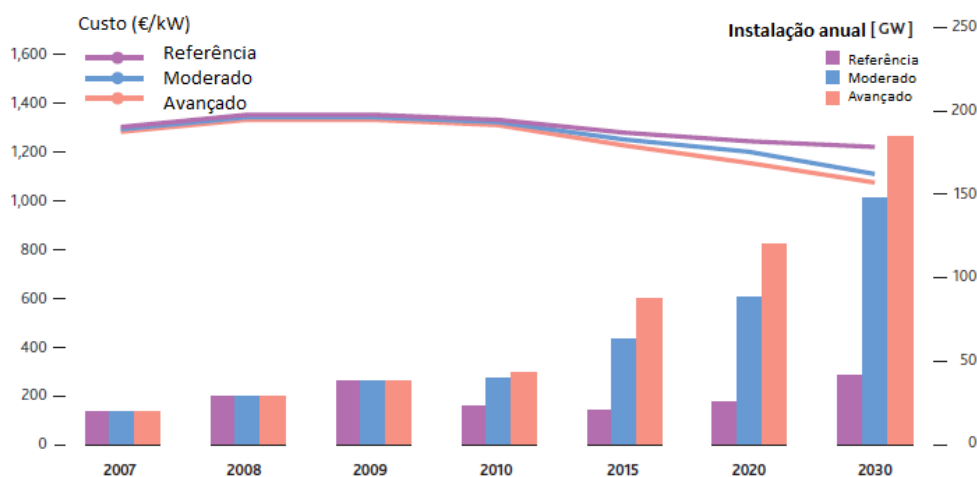


Fig. 6: Custo e capacidades. Fonte: [11].

TABELA V
RELAÇÃO ENTRE INSTALAÇÃO ANUAL E CUSTO DO kW INSTALADO.
FONTE: [11].

Cenário de referência						
	2007	2008	2009	2010	2015	2020
Instalação anual (MW)	19865	28700	38343	26735	20887	25712
Custo (€/kW)	1300	1350	1350	1327	1276	1240
Cenário Moderado						
	2007	2008	2009	2010	2015	2020
Instalação anual (MW)	19865	28700	38343	40212	65887	88133
Custo (€/kW)	1300	1350	1350	1329	1276	1240
Cenário Avançado						
	2007	2008	2009	2010	2015	2020
Instalação anual (MW)	19865	28700	38343	43263	87641	120135
Custo (€/kW)	1300	1350	1350	1328	1245	1172

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho mostrou uma visão geral a respeito das tecnologias e mercado de energia eólica em nível mundial, discorrendo sobre a evolução das turbinas, sua utilização *offshore*. As tecnologias envolvidas e fabricantes de turbinas. Também mostrou tendências no que tange a preços e custos de geração de energia eólica e mostraram-se as boas perspectivas para o uso da energia eólica nos próximos anos.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] R. Polito. (2010, Setembro 02). "Porque os Custos Caem", *Portal Energia Hoje*. [Online]. Disponível em: <http://www.energiahoje.com/brasilenergia/noticiario/2010/09/02/416937/porque-os-custos-caem.html>
- [2] Á. Pinilla, "El poder del viento", *Revista de Ingeniería*, vol. 28, pp. 64-69. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Novembro 2008. ISSN. 0121-4993
- [3] R. A. Costa, B. P. Casotti e R. L. S. Azevedo. "Um Panorama da indústria de bens de capital relacionados à energia eólica". *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, nº 29, p. 229-278, Março 2009.
- [4] *Tutorial de Energia Eólica - Princípios e Tecnologias*, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB). Rio de Janeiro, Brasil, 2008. [Online]. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>
- [5] Leao, R.P.S.; Antunes, F.L.M.; Lourenco, T.G.M.; Andrade, K.R.; , "A Comprehensive Overview on Wind Power Integration to the Power Grid," *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)* , vol.7, no.6, pp.620-629, Dec. 2009. doi: 10.1109/TIA.2009.5419358
- [6] "Wind Energy - The Facts", European Wind Energy Association, Bélgica, Março 2009. [Online]. Disponível em: http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publication/s/WETF/1565_ExSum_ENG.pdf
- [7] B. Vanessa. (2010, Setembro). "Maior parque eólico offshore do mundo é inaugurado", *Revista Exame*, Brasil [Online]. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/economia/meio-ambiente-e-energia/noticias/inglaterra-inaugura-maior-parque-eolico-offshore-mundo-599250>
- [8] "Global Wind Report: Annual market update 2010", Global Wind Energy Council (GWEC), Bruxelas, Bélgica, Março 2011. [Online]. Disponível em: <http://www.gwec.net/index.php?id=103>
- [9] "The economics of wind energy", European Wind Energy Association, Bélgica, Março 2009. [Online]. Disponível em: http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publication/s/reports/Economics_of_Wind_Main_Report_FINAL-lr.pdf
- [10] P. Schwabe, S. Lensink, M. Hand, "IEA Wind Task 26 : Multi-national Case Study of the Financial Cost of Wind Energy", International Energy Agency (IEA) Wind, Março 2011. [Online]. Disponível em: <http://www.ieawind.org/Publications.html>
- [11] "Global Wind Energy Outlook 2010", Global Wind Energy Council (GWEC), Bruxelas, Bélgica, Outubro 2010. [Online]. Disponível em: <http://www.gwec.net/index.php?id=103>
- [12] "World Wide Energy Report 2009", World Wind Energy Association (WWEA), Bonn, Alemanha, Março 2010. [Online]. Disponível em: http://www.windea.org/home/images/stories/worldwindenergyreport2009_s.pdf

- [13] "World Wide Energy Report 2010", World Wind Energy Association (WWEA), Bonn, Alemanha, Abril 2011. [Online]. Disponível em: http://www.windea.org/home/images/stories/pdfs/worldwindenergyreport2010_s.pdf
- [14] "Global Wind 2006 Report", Global Wind Energy Council (GWEC), Bruxelas, Bélgica, 2007. [Online]. Disponível em: http://www.gwec.net/fileadmin/documents/Publications/gwec-2006_final_01.pdf
- [15] Ming-Shun Lu; Chung-Liang Chang; Wei-Jen Lee; Li Wang; , "Combining the Wind Power Generation System With Energy Storage Equipment," *Industry Applications, IEEE Transactions on* , vol.45, no.6, pp.2109-2115, Nov.-dec. 2009. doi: 10.1109/TIA.2009.2031937

VII. BIOGRAFIAS



Daniel Pinheiro natural de Cataguases, Minas Gerais, nascido em 6 de junho, 1990. Eletrotécnico formado pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET – MG), graduando em Engenharia de Controle e Automação pelo CEFET-MG. Possui interesse nas seguintes linhas de pesquisa: controle industrial, sistemas elétricos de potência e automação de processos.



Josimar Ribeiro Nolasco natural de Leopoldina, Minas Gerais, nascido em 10 de fevereiro, 1990. Eletrotécnico formado pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET – MG), graduando em Engenharia de Controle e Automação pelo CEFET-MG. Possui interesse nas seguintes linhas de pesquisa: eficiência energética, controle industrial, máquinas elétricas e correção de fator de potência.



Ângelo Rocha de Oliveira possui graduação (2003) e mestrado (2005) pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Brasil, e é doutorando pela UFJF, Brasil. Atualmente trabalha no Departamento de Controle e Automação/Eletrotécnica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET-MG, Campus III – Leopoldina. Possui interesse nas seguintes linhas de pesquisa: otimização, operação e proteção de sistemas de potência e energia, redes neurais artificiais e automação industrial.



Lindolpho Oliveira de Araújo Junior possui graduação (1994) pela Universidade Católica de Minas Gerais, Brasil, mestrado (1998) pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Brasil, e doutorado (2006) pela Universidade de São Paulo (2006), Brasil. Atualmente trabalha no Departamento de Controle e Automação do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET-MG, Campus III – Leopoldina. Possui interesse nas seguintes linhas de pesquisa: sistemas de controle e automação, otimização, inteligência computacional e sistemas dinâmicos a eventos discretos.



Marlon José do Carmo possui graduação em Ciências e Matemática pelas Faculdades Integradas de Cataguases (2002), Mestrado em Engenharia Elétrica pela UFJF (2006) e é doutorando em Engenharia Elétrica pela UFRJ, Brasil. Atualmente trabalha no Departamento de Controle e Automação/Eletrotécnica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET-MG, Campus III – Leopoldina. Possui interesse nas seguintes linhas de pesquisa: automação Industrial, controle de processos, controle digital, identificação

de sistemas, educação em engenharia e em controle, eletrônica de potência, supercondutividade.



Paulo F. Ribeiro (M'79, SM'88, F'03) Ph.D. pela Universidade de Manchester, Manchester, Reino Unido. É Professor Associado do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Técnica de Eindhoven, Eindhoven, Holanda. Possui interesse nas seguintes linhas de pesquisa: eletrônica de potência, qualidade de energia e modelagem e simulação de sistemas.