

DEMANDAS ENERGÉTICAS ATUAIS: ENERGIA EÓLICA COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA “LIMPA”.

Área Temática: energia e sociedade

Alessandra Carla Guimarães Sobrinho 1, Alexandre Carlos Guimarães Sobrinho 2

¹Universidade Federal do Pará - UFPA, Campus Belém, Belém-PA–
acgs.sobrinho@gmail.com

²Universidade Federal do Pará - UFPA, Campus Belém, Belém-PA–
alexandre3257@hotmail.com

Resumo

Inúmeros estudos sobre o consumo de energia vêm sendo realizados nos últimos anos e estes por sua vez, têm apontado os aspectos e impactos socioambientais deste consumo. As fontes renováveis de energia são apresentadas como a principal alternativa para atender a sociedade com relação à qualidade e segurança do atendimento da demanda de eletricidade. Logo, a utilização de soluções energéticas que agridem em menor escala o meio ambiente tem destacado a energia eólica. Porém, como toda tecnologia energética, o aproveitamento dos ventos para geração de energia elétrica apresenta algumas características ambientais desfavoráveis. Inicialmente, o artigo descreve a evolução do aproveitamento da energia eólica, incluindo dados e informações sobre a situação atual do uso desse recurso para geração de energia elétrica. Estudos mostram que o Brasil possui ventos que fazem desta fonte uma opção complementar para a geração de energia, com reduzido impacto ambiental. Com o aumento da potencial eólico instalado, torna-se necessário o desenvolvimento de procedimentos de previsão da quantidade de energia eólica gerada. O presente artigo apresenta pesquisas realizadas no Brasil acerca do potencial de produção de energia eólica, localização das estações de coleta de dados eólicos e a relevância da utilização desse recurso para geração de energia elétrica.

Palavras-chave: Fontes renováveis; Energia eólica; Energia elétrica.

1 Introdução

A qualidade de vida de uma sociedade está intimamente ligada ao seu consumo de energia. O crescimento da demanda energética mundial em razão da melhoria dos padrões de vida nos países em desenvolvimento trazem algumas preocupações em relação a os aspectos essenciais para a política e planejamento energético de todas as economias emergentes. Dentre eles, podemos citar a segurança no suprimento de energia necessária para o desenvolvimento social e econômico de um país e os custos ambientais para atender a esse aumento no consumo de energia (GOLDEMBERG; VILLANUEVA, 2003).

Atualmente o suprimento de energia está associado às perspectivas de esgotamento das reservas de petróleo nas próximas décadas e a elevação dos preços de mercado dos combustíveis fósseis em consequência de problemas políticos e sociais nas principais regiões produtoras. Fatores ambientais como longos períodos de estiagem podem reduzir a segurança energética afetando a produtividade de biomassa e a geração de hidrelétrica (FILGUEIRAS, 2003; PEREIRA, 2007).

As buscas de novas soluções para o fornecimento de energia elétrica impulsionam ainda mais a comunidade mundial a abrir mais espaço para a penetração das energias renováveis, em especial a energia eólica, fazendo desta opção uma alternativa de grande importância na elaboração de novos cenários energéticos ecologicamente melhores. Os fatos expostos vêm oferecendo sustentabilidade às pesquisas científicas que disseminam a implantação de energia eólica, como alternativa capaz de atender às demandas socioambientais e o desenvolvimento tecnológico e econômico.

As fontes de energia chamadas “limpas”, ou seja, fontes de energia que não acarretam a emissão de gases do efeito estufa como a energia eólica, tem demonstrado potencial para contribuir significativamente no atendimento dos requisitos necessários quanto aos custos de produção, segurança de fornecimento e sustentabilidade ambiental. Porém, como toda tecnologia energética, o aproveitamento dos ventos para geração de energia elétrica apresenta algumas características ambientais desfavoráveis como por exemplo: danos à fauna, ruído, interferência eletromagnética, uso da terra e impacto visual. Porém, algumas destas características podem ser significativamente minimizadas e até mesmo eliminadas com planejamento adequado e inovações tecnológicas.

O conhecimento dos países líderes em geração de energia eólica mostra que o rápido desenvolvimento da tecnologia e do mercado

apresentam vantajosas implicações socioeconômicas. Diversos estudos apontam a geração de emprego e o domínio da tecnologia como fatores importantes para o ambiente e para a segurança energética dos países da comunidade europeia dando continuidade aos investimentos no aproveitamento da energia eólica (AGNOLUCCI, 2007; SZARKA, 2006).

No Brasil, a capacidade eólica é muito pequena quando comparada aos países líderes em geração de energia eólica. Apesar disso, políticas de incentivos estão começando a produzir os primeiros resultados e esperasse um crescimento da exploração deste recurso nos próximos anos. Para dar base a esse crescimento, torna-se necessário a formação de recursos humanos e o desenvolvimento de pesquisas científicas de âmbito nacional com o intuito de produzir e disponibilizar informações confiáveis sobre os recursos eólicos no território brasileiro (MARTINS et al., 2008).

Este artigo tem como objetivo descrever os produtos e resultados das pesquisas em desenvolvimento no Brasil, que são discutidos com o intuito de ilustrar a aplicação prática, implantação e funcionamento de aerogeradores e vários conceitos qualitativos discutidos no decorrer do artigo referente à oferta de energia sustentável, e ainda, pretende divulgar a importância da busca de pesquisas científicas a nível nacional referente à possibilidade de implantação da energia eólica para concepção de uma sociedade mais sustentável, ou seja, uma sociedade que satisfaça as suas necessidades sem comprometer a capacidade de gerações futuras.

A metodologia aplicada na produção do artigo foi bibliográfica, realizada em bibliotecas, e através de consultas feitas pela internet. Foram consultados sites de relevância contextual e que abordam o assunto com seriedade tratando o assunto em questão como fator fundante no que tange o futuro do planeta. Dentro desta pesquisa também foram consultados artigos publicados sobre o assunto, fazendo-se uma análise geral e opinando direta ou indiretamente, tornando-a assim, uma pesquisa de grande relevância.

2 Fundamentos da energia eólica

2.1 Origem

O vento – ar em movimento – tem sua origem na associação entre a energia solar e a rotação planetária. Todos os planetas envoltos por gases em nosso sistema solar demonstram a existência de distintas formas de circulação atmosférica e apresentam ventos em suas superfícies. Trata-se de

um mecanismo solar-planetário permanente; sua duração é mensurável na escala de bilhões de anos. O vento é considerado fonte renovável de energia. (AMARANTE et al., 2001).

2.2 Histórico

A partir da Idade Média o homem passou a utilizar em maior escala as forças aerodinâmicas de sustentação, permitindo as grandes navegações e também maior eficiência as máquinas eólicas. Possivelmente, máquinas eólicas movidas por forças de sustentação foram introduzidas na Europa pelas Cruzadas, por volta do século XI (ELDRIDGE, 1980). O certo é que no século XIV, na Holanda, essas máquinas já apresentavam grande evolução técnica e de capacidade em potência e ampla aplicação como fonte de energia, principalmente em moagem de grãos, serrarias e bombeamento d'água. No ano de 1500, havia muitos milhares de moinhos de vento em toda a Europa, da Península Ibérica aos países nórdicos. Durante os séculos seguintes, as máquinas eólicas tiveram grande expansão na Europa, com aplicações na fabricação de papel para atender à demanda após a invenção da imprensa, para produção de óleos vegetais e até em grandes projetos de drenagem (ELDRIDGE, 1980). Com a expansão do uso de máquinas a vapor, no século XIX, os moinhos de vento europeus entraram gradualmente em desuso.

A aplicação em larga escala de máquinas eólicas no século XIX pode ser observada nos Estados Unidos. Após a abolição da escravidão naquele país, em 1863, iniciou-se a disseminação da utilização do cata-vento multipá para bombeamento d'água. Cata-ventos multipás chegaram a ser produzido industrialmente em escalas de centenas de milhares de unidades/ano, por diversos fabricantes, o que possibilitou preços acessíveis a grande parte da população. Ao mesmo tempo em que constituiu um importante fator da economia, muitos historiadores atribuem parcela do sucesso e da rapidez da expansão colonizadora do Oeste à disponibilidade de cata-ventos multipás de baixo custo – que facilitaram o acesso à água e a fixação de apoios em grandes áreas áridas ou semiáridas (AMARANTE et al., 2001).

Nos Estados Unidos, a partir da década de 1930, iniciou-se uma ampla utilização de pequenos aerogeradores para carregamento de baterias, o que favoreceu o acesso à energia elétrica aos habitantes do meio rural. Entre 1930 e 1960, dezenas de milhares desses aerogeradores foram produzidos e instalados nos Estados Unidos, bem como exportados para diversos países. A produção dessas máquinas foi gradualmente desativada

nas décadas de 1950 e 1960, à medida que as redes de eletrificação passaram a dominar o atendimento rural.

A geração de eletricidade em grande escala, para alimentar de forma suplementar o sistema elétrico com o uso de turbinas eólicas de grande porte, é uma tecnologia que existe há diversas décadas. Os primeiros aproveitamentos eólico-elétricos foram realizados durante as décadas de 1940 e 1950 nos Estados Unidos (Smith-Putnam) e Dinamarca (Gedser). Pode-se dizer que o precursor das atuais turbinas eólicas surgiu na Alemanha (Hütter, 1955), já com pás fabricadas em materiais compostos, controle de passo e torre tubular esbelta (AMARANTE et al., 2001).

Na década de 1970 e até meados da década de 1980, após a primeira grande crise de preços do petróleo, diversos países – inclusive o Brasil – dispenderam esforços em pesquisa sobre utilização da energia eólica para a geração elétrica. Data dessa época a turbina DEBRA 100kw (DEBRA= DEutsche BRAsileira), desenvolvida em conjunto entre os institutos de pesquisa aeroespacial do Brasil e da Alemanha.

No entanto, foi a partir de experiências de estímulo ao mercado, realizadas na Califórnia (década de 1980), Dinamarca e Alemanha (década de 1990), que o aproveitamento eólico-elétrico atingiu escala de contribuição mais significativa ao sistema elétrico, em termos de geração e economicidade. O desenvolvimento tecnológico passou a ser conduzido pelas nascentes indústrias do setor, em regime de competição, alimentado por mecanismos institucionais de incentivo – especialmente via remuneração pela energia produzida. Características também marcantes desse processo foram: (a) devido à modularidade, o investimento em geração elétrica passou a ser acessível a uma nova e ampla gama de investidores; (b) devido à produção em escalas industriais crescentes, o aumento de capacidade unitária das turbinas e novas técnicas construtivas, possibilitaram-se reduções graduais e significativas no custo por kilowatt instalado e, conseqüentemente, no custo de geração de energia. O principal problema ambiental inicial – impactos das pás em pássaros – praticamente desapareceu com as turbinas de grande porte e menores velocidades angulares dos rotores. Por se mostrar uma forma de geração praticamente inofensiva ao meio ambiente, sua instalação passou a simplificar os minuciosos – e demorados – estudos ambientais requeridos pelas fontes tradicionais de geração elétrica, bastando, em muitos casos, aos poderes concedentes a delimitação das áreas autorizadas para sua instalação. Esse último fato, aliado às escalas industriais de produção de turbinas, tornaram a geração eólico-elétrica uma das tecnologias de maior crescimento na

expansão da capacidade geradora (REHFELDT; THE WINDICATOR, 2001).

3 Mecanismos da energia eólica

O ar é um fluido como qualquer outro, exceto que suas partículas estão na forma gasosa, em vez de líquida. Quando o ar se move rapidamente, na forma de vento, essas partículas também se movem rapidamente. Esse movimento significa energia cinética, que pode ser capturada, como a energia da água em movimento é capturada por uma turbina em uma usina hidrelétrica. No caso de uma turbina eólica, suas pás são projetadas para capturar a energia cinética contida no vento. O gerador transforma essa energia rotacional em eletricidade. Fundamentalmente, gerar eletricidade a partir do vento é transferir energia de um meio para outro (NUNES; MANHÃES, 2010).

Toda a energia eólica começa com o sol. Quando o sol aquece uma determinada área de terra, o ar ao redor dessa massa de terra absorve parte desse calor. A certa temperatura, esse ar mais quente começa a se elevar muito rapidamente, pois um determinado volume de ar quente é mais leve do que um volume igual de ar mais frio. As partículas de ar que se movem mais rápido (mais quentes) exercem uma pressão maior do que as partículas que se movem mais devagar, de modo que são necessárias menos delas para manter a pressão normal do ar em uma determinada elevação. Quando esse ar quente mais leve se eleva subitamente, o ar mais frio flui rapidamente para preencher o espaço vazio deixado. Esse ar que velozmente preenche o espaço vazio é o vento (NUNES; MANHÃES, 2010).

3.1 Tipos de aerogeradores para geração de energia elétrica

3.1.1 Rotores de Eixo Vertical

Em geral, os rotores de eixo vertical têm a vantagem de não necessitarem de mecanismos de acompanhamento para variações da direção do vento, o que reduz a complexidade do projeto e os esforços devido às forças de Coriolis. Os rotores de eixo vertical também podem ser movidos por forças de sustentação (lift) e por forças de arrasto (drag). Os principais tipos de rotores de eixo vertical são Darrieus, Savonius e turbinas com torre de vórtices (DUTRA, 2001; TWELE, 2002).



Figura 1 – Rotor Darrieus (à esquerda), Rotor Savonius (à direita). Fonte: opexenergy.com, mywindenergy.blogspot.com

3.1.2 Rotores de Eixo Horizontal

Os rotores de eixo horizontal são os mais comuns, grande parte da experiência mundial está voltada para a sua utilização. São movidos por forças aerodinâmicas chamadas de forças de sustentação (lift) e forças de arrasto (drag). Um corpo que obstrui o movimento do vento sofre a ação de forças que atuam perpendicularmente ao escoamento (forças de sustentação) e de forças que atuam na direção do escoamento (forças de arrasto). Ambas são proporcionais ao quadrado da velocidade relativa do vento. Adicionalmente, as forças de sustentação dependem da geometria do corpo e do ângulo de ataque (formado entre a velocidade relativa do vento e o eixo do corpo) (DUTRA, 2001; TWELE, 2002).

Os rotores que giram predominantemente sob o efeito de forças de sustentação permitem liberar muito mais potência do que aqueles que giram sob efeito de forças de arrasto, para uma mesma velocidade de vento. Os rotores de eixo horizontal ao longo do vento (aerogeradores convencionais) são predominantemente movidos por forças de sustentação e devem possuir mecanismos capazes de permitir que o disco varrido pelas pás esteja sempre em posição perpendicular ao vento. Tais rotores podem ser constituídos de uma pá e contrapeso, duas pás, três pás ou múltiplas pás (multivane fans).

Construtivamente, as pás podem ter as mais variadas formas e empregar os mais variados materiais. Em geral, utilizam-se pás rígidas de madeira, alumínio ou fibra de vidro reforçada (DUTRA, 2001).



Figura 2 – Rotores de eixo horizontal : (a) 1 lâmina; (b) 2 lâminas; (c) 3 lâminas; (d) multipás. Fonte: minerva.ufpel.edu.br

Quanto à posição do rotor em relação à torre, o disco varrido pelas pás pode estar à jusante do vento (downwind) ou a montante do vento (upwind). No primeiro caso, a “sombra” da torre provoca vibrações nas pás. No segundo caso, a “sombra” das pás provoca esforços vibratórios na torre. Sistemas a montante do vento necessitam de mecanismos de orientação do rotor com o fluxo de vento, enquanto nos sistemas a jusante do vento, a orientação realiza-se automaticamente (DUTRA, 2001; TWELE, 2002).

Os rotores de eixo horizontal são os mais conhecidos e os mais utilizados, por terem uma eficiência maior que a dos rotores de eixo vertical. O seu maior custo é compensado pela sua eficiência, fazendo destes os mais utilizados para geração de energia em larga escala. Esse tipo de aerogerador requer um mecanismo que possibilite posicionar o eixo do rotor na direção do vento. Assim, poderemos obter um rendimento maior em locais onde exista muita mudança de direção dos ventos.

3.2 Energia eólica

A Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2008), define energia eólica como sendo a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). O vento por sua vez surge com o aquecimento desigual da superfície da Terra. (OLINTO, 2008)

O aproveitamento eólico para produção de energia mecânica ou eletricidade é obtido através da captura de parte da energia cinética presente no vento, sendo este, por sua vez, resultado do deslocamento das massas de ar devido às diferentes camadas de temperatura presentes na atmosfera e das desigualdades de conformação existentes na superfície da terra. Os diferentes níveis de pressão que se registram em diversas regiões do planeta resultam também das diferenças de temperaturas nestas regiões. Devido às

diferentes pressões o ar flui das regiões de altas pressões para as de baixas (VAROL apud SILVA, 2006).

Data-se de 1888 o desenvolvimento do primeiro aerogerador por Charles Brush (1849-1929), proprietário da Brush Electric, situada em Cleveland – Ohio – EUA, a turbina, com capacidade de produção de 12kw, era formada por 144 pás de madeira de 17m de e operou por 20 anos armazenando energia em baterias (PASSOS, 2008), como mostra a Figura 3.

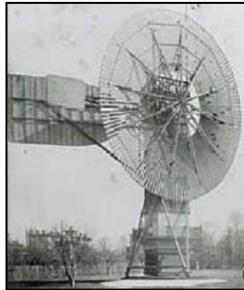


Figura 3 – Primeiro aerogerador desenvolvido por Brush. Fonte: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2007)

Segundo Stefan Gsänger, secretário geral da Associação Mundial de Energia Eólica (do inglês - World Wind Energy Association – WWEA), a capacidade eólica instalada no planeta somou 282 GW em 2012. O número cobre 3% da demanda mundial de energia. Devido à capacidade total das unidades eólicas construídas no ano 2012 chegarem aos 45 gigawatts (GW), enquanto em 2011 havia sido de 40 GW.

Atualmente a energia eólica responde por 2,5% de participação na matriz elétrica mundial, mas esse número pode saltar para 18% até 2050, segundo dados de um relatório lançado na segunda-feira, 21 de outubro, pela Agência Internacional de Energia (AIE). De acordo com o documento (IEA Technology Roadmap: Wind Energy – 2013 Edition), os cerca de 300 GW que essa fonte renovável entrega pode aumentar pelo menos sete vezes (AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA, 2013).

Atualmente o maior aerogerador do mundo está instalado em Emden, na Alemanha com diâmetro de 126 m e uma capacidade de instalação de 7,5 Megawatts (Mw) (ENERCON, 2012).



Figura 4 – Maior Aerogerador do mundo. Fonte: MEDEIROS et al. (2009)

No Brasil, a instalação da primeira turbina eólica aconteceu no Arquipélago de Fernando de Noronha, 1992, em um convênio realizado pelo Grupo de Energia Eólica da Universidade Federal de Pernambuco, financiado por um Instituto de Pesquisas Dinamarquês – Folkcenter em parceria com a Companhia Energética de Pernambuco – CELPE. A referida turbina possui um gerador assíncrono de 75 kW, rotor de 17 m de diâmetro e torre de 23 m de altura, na época de sua instalação a capacidade de produção era de cerca de 10% da energia gerada na Ilha, perfazendo uma economia de aproximadamente 70.000 litros de óleo diesel por ano. A segunda turbina de Fernando de Noronha foi instalada em maio de 2000 entrando em operação em 2001. O projeto foi realizado pelo Centro Brasileiro de Energia Eólica, com a colaboração do RISØ Laboratório Nacional da Dinamarca, e financiado pela ANEEL. As duas turbinas geravam até 25% da eletricidade consumida no Arquipélago (ANEEL, 2006). A primeira central eólica no país foi projetada pela CEMIG/CBEE (Companhia Energética de Minas Gerais/Comercializadora Brasileira de Energia Emergencial), e instalada em 1994 em Minas Gerais dotada de quatro turbinas Tacke, 250 kW (MACEDO, 2002).

O Brasil ocupa atualmente a oitava posição entre os países que mais incentiva o desenvolvimento de energias renováveis. Segundo o Departamento Nacional de Aquecimento Solar – DARSOL:

A geração de energia a partir de fontes renováveis deve continuar crescendo durante os próximos cinco anos, é o que afirma o relatório liberado hoje pela Agência Internacional de Energia (IEA, na sigla em inglês). No relatório, a agência reconhece a maturidade do setor e diz que, apesar das dificuldades econômicas enfrentadas em um grande número de países, a geração mundial de energia hidrelétrica, eólica, solar e de outras

fontes renováveis deve crescer mais de 40%, alcançando a marca de 6.400 TWh.

De acordo com o estudo Impostos e Incentivos para a Energia Renovável, realizado pela empresa líder em prestação de serviços profissionais, KPMG Internacional, no ano de 2012 (a sigla é formada pelas iniciais dos fundadores – Klynveld, Peat, Marwick e Goerdeler), o Brasil ocupa tal colocação em relação aos incentivos de desenvolvimento de energias renováveis devido às políticas adotadas de incentivo à geração de energia renovável, entre elas:

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia, criado em 2002 pelo governo brasileiro para apoiar a produção de eletricidade a partir de biomassa, geração eólica e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs);

O programa de apoio do BNDES, que oferece aos investidores diversas facilidades de financiamento para estimular a produção de energia renovável e;

O regime fiscal destinado a produtores e importadores de biodiesel, que oferece reduções significativas no Programa de Integração Social (PIS) e na Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (Cofins).

Atualmente, a geração de 88,8% da produção de Energia elétrica no Brasil se dá através de fontes renováveis. Embora ainda ocorra a predominância da produção de energia a partir das hidrelétricas, a energia eólica como fonte geradora de energia obteve cerca de 2,7 mil gigawattshora (GWh) em 2011 e, de acordo com o Balanço Energético Nacional 2012 realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), noticiado por Panorama Brasil, o elevado percentual de crescimento prenuncia o que deve ocorrer de forma ainda mais expressiva nos próximos quatro anos, quando novos parques – já em construção – entrarão em operação.

Para o diretor geral da Associação Mundial de Energia Eólica Stefan Gsänger o sucesso da energia eólica em escala global se deve principalmente ao fato de ser uma opção barata de produção de energia, além das condições geográficas e climáticas que algumas regiões oferecem. Não podendo deixar de ressaltar que esse tipo de energia não agride o meio ambiente, uma das principais preocupações da sociedade moderna.

Apesar da crise econômica dos últimos anos em vários países os investimentos em energias renováveis no Brasil não pararam de crescer. O mercado de usinas eólicas no Brasil está em expansão e já conta com um número considerável de turbinas eólicas no Ceará, no Paraná, em Santa

Catarina, em Minas Gerais, no Rio de Janeiro, em Pernambuco, na Ilha de Marajó, na Bahia e no Rio Grande do Norte.

Devido ao grande potencial eólico do Brasil, confirmado através de pesquisas e estudos da Aneel, será possível, num futuro próximo produzir eletricidade a custos competitivos com centrais termoeletricas, nucleares e hidrelétricas, com custo reduzido.

Atualmente várias instituições se dedicam ao estudo do potencial eólico brasileiro, entre elas podemos citar a ANEEL, o Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT, o Centro Brasileiro de Energia Eólica – CBEE da Universidade Federal de Pernambuco que publicou a primeira versão do Atlas Eólico da Região Nordeste em 1998, o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica – CRESESB/CEPEL que publicou o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, entre outras.

A inserção da energia eólica na matriz brasileira em uma escala condizente com o seu potencial é de grande importância para a segurança do sistema elétrico brasileiro, pois apresenta complementaridade com as demais matrizes elétricas no país. Como o Brasil ainda utiliza em grande escala de energias esgotáveis que causam inúmeras consequências socioambientais, logo, haverá crescente necessidade de geração energia complementar. Assim, energia eólica é perfeitamente adequada para a reversão de tais problemas, pois destaca-se por sua produção sustentável, fonte inesgotável e principalmente pelo baixo impacto ambiental, comparando-se com as demais matrizes energéticas (NUNES; MANHÃES, 2010).

3.3 Resultados e produtos de pesquisas desenvolvidas no Brasil

No Brasil, ainda encontramos certa resistência ao emprego de técnicas de pesquisas referente à energia eólica propriamente dita. Porém, é percebida uma evolução ainda que não comparada a outros países. Ao ponto de podermos citar o CPTEC / INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) que gerencia uma importante rede de coleta de dados de vento e dados ambientais voltados a atender certa demanda por informações do setor energético – (Rede SONDA - Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais). O SONDA é um projeto ligado à área de pesquisas em clima e meteorologia, porém com um enfoque delimitado ao suporte de atividades na área de energias renováveis. O projeto tem como objetivo principal o desenvolvimento de uma base de dados completa, integrada e de alta

confiabilidade que contemple as necessidades dos setores da sociedade envolvidos com a pesquisa, o desenvolvimento, o planejamento e o investimento em uso e aplicações de energias renováveis, principalmente, a energia solar e eólica. Ou seja, o objetivo principal da rede SONDA é descobrir informações que permitam o aperfeiçoamento e validação de modelos numéricos para estimativa de potencial energético de fontes renováveis (NUNES; MANHÃES, 2010).

O projeto SONDA prevê a instalação de 25 estações distribuídas pelo território brasileiro, para medição de dados ambientais, radiométricos e anemométricos. Das 25 estações previstas, 15 já foram instaladas e possuem dados disponíveis (INPE, 2009). As estações SONDA, cujas localizações estão identificadas na Figura 5, são classificadas conforme os tipos de sensores instalados, em: Referência (dados ambientais e anemométricos); Solar Avançada; Solar Básica e Anemométrica (torre eólica) (NUNES; MANHÃES, 2010).



Figura 5 – Localização e tipo das estações da rede SONDA. Fonte: INPE (2009)

Outro resultado importante do trabalho desenvolvido por pesquisadores brasileiros, que não poderia deixar de ser citado é o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (Figura 6), o qual cobre todo o território nacional. Seu objetivo é fornecer informações para capacitar tomadores de decisão na identificação de áreas adequadas para aproveitamentos eólico-elétricos. O Atlas descreve informações do vento geostrófico contidas numa base de dados que são gerados a partir da simulação da circulação atmosférica de grande escala por um modelo de sistema de software de modelamento numérico dos ventos de superfície. Esse sistema simula a

dinâmica atmosférica dos regimes de vento e variáveis meteorológicas correlatas, a partir de amostragens representativas de um banco de dados validado para o período 1983/1999. A partir desses dados de vento geostrófico, foi empregado o refinamento físico com o código WindMap para estimar os dados de vento na altura típica dos aerogeradores (50 m). Os valores apresentados no mapeamento foram validados a partir de dados de vento coletados na superfície e o desvio padrão observado para a diferença entre a velocidade estimada e a velocidade medida foi da ordem de 7,5%. Segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, mais de 71.000 km² do território nacional possuem velocidades de vento superior a 7 m/s ao nível de 50 m, o que propicia um potencial eólico da ordem de 272 TWh/ano de energia elétrica. Essa é uma cifra bastante significativa considerando que o consumo nacional de energia elétrica é de 424 TWh/ano. Sendo que a maior parte desse potencial está na costa dos estados nordestinos, como consequência dos ventos alísios (NUNES; MANHÃES, 2010).

Figura 6 – Atlas do Potencial Elétrico Brasileiro. Fonte: ANEEL (2009)

O levantamento dos recursos de energia eólica no Brasil também foi uma das metas do projeto SWERA (Solar and Wind Energy Resources Assessment) desenvolvido sob a coordenação da Divisão de Clima e Meio Ambiente do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (DMA/CPTEC) e financiamento do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). A metodologia empregada no mapeamento dos recursos eólicos adotou o modelo numérico Eta utilizado rotineiramente para a previsão de tempo e estudos climáticos pelo CPTEC/INPE. O modelo foi alimentado com dados de topografia e de cobertura do solo com resolução de 1 km e a base de dados de reanálises do NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction) foi utilizada para promover as informações nas fronteiras das regiões estabelecidas para o mapeamento. Os resultados obtidos foram comparados e validados com dados de vento coletados em aeroportos brasileiros, e em estações meteorológicas automáticas e torres eólicas da rede SONDA. As informações acerca do mapeamento produzido pelo modelo Eta apresentou boa concordância com os resultados apresentados no Atlas Eólico Brasileiro, no entanto, devido à escassez de dados de campo nas regiões de maior discrepância entre as duas metodologia ainda não se pode afirmar qual apresenta a maior confiabilidade (NUNES; MANHÃES, 2010).

3.4 Benefícios ambientais

O mais importante benefício ao meio ambiente da geração de energia eólica é a não emissão de dióxido de carbono na atmosfera. O dióxido de carbono é o gás com maior responsabilidade pelo agravamento do efeito estufa levando a mudança climática global a consequências desastrosas. A moderna tecnologia eólica apresenta um balanço energético extremamente favorável e as emissões de CO₂ relacionadas com a fabricação, instalação e serviços durante todo ciclo de vida do aerogerador são “recuperados” depois dos três a seis meses de fabricação.

Além do mencionado anteriormente, estes fatores também impulsionam a energia eólica:

Reduz a dependência de combustíveis fósseis, sendo o vento um recurso abundante e renovável.

As centrais eólicas ocupam um pequeno espaço físico e permitem a continuidade de atividades entre os aerogeradores (pastagens e agricultura).

Melhora a economia local e oferta de empregos. Estudos realizados na Escócia calculam ser entre 500 a 1500 empregos associados a cada 0,3 a 1 GW de potência instalada.

A emissão de poluentes é mínima, não contribuindo para a mudança climática global, chuva ácida, etc.

É uma indústria em grande ascensão e com bom potencial no Brasil (principalmente em algumas regiões do litoral nordestino).

Contribui para a diversidade de suprimento de energia e pode ser conectada à rede.

A tecnologia está completamente dominada e ainda em grande desenvolvimento, com redução constante de custos de construção e geração.

3.4.1 Emissão de gases

O mais importante benefício que a energia eólica oferece ao meio ambiente está no fato de que ela não emite poluente ou CO₂ durante sua operação. Dessa forma, pode-se fazer um comparativo entre cada unidade (kWh) de energia elétrica gerada por turbinas eólicas e a mesma energia que seria gerada por uma planta convencional de geração de energia elétrica. Ao fazer essa análise chega-se à conclusão de que a energia eólica apresenta grandes vantagens na redução de emissão de gases de efeito estufa e na redução da concentração de CO₂ durante a sua operação. Com o

avanço de programas de eficiência energética, com o propósito de tornar mais eficiente o parque gerador de energia, as emissões de CO₂ e de gases de efeito estufa têm-se reduzido ao longo dos anos, mas permanecem, ainda, em uma faixa muito alta (JACOBSON; MASTERS, 2001).

3.5 Impactos socioambientais

3.5.1 Impactos sobre a fauna

A maior preocupação relativa à fauna é com os pássaros, os quais podem vir a colidir com estruturas (torres de alta tensão, mastros, janelas de edifícios) e com as turbinas eólicas, devido à dificuldade de visualização. Outros motivos, como o tráfego de veículos em autoestradas e a caça, também são responsáveis pela morte dos pássaros. Porém, o comportamento dos pássaros e as taxas de mortalidade tendem a ser específicos para cada espécie e também para cada lugar. Estimativas de mortes de pássaros nos Países Baixos, causadas por várias ações diretas e indiretas do homem, mostram que o tráfego de veículos apresenta uma taxa que, em comparação às estimativas de mortes por parque eólico de 1 GW, é cem vezes maior (BOURILLON, 1999).

Em alguns casos de parques localizados em zonas de migração de aves, tais como Tarifa no sul de Espanha, tem-se observado um elevado número de aves mortas pelo movimento de rotação das pás.

No entanto, estes incidentes não constituem um caso sério na grande maioria do parque. A forma de evitar estes incidentes é uma correta planificação na localização dos parques evitando as rotas de migração.

Fora das rotas de imigração, estudos mostram que raramente os pássaros são incomodados pelas turbinas, e que eles tendem a mudar sua rota de voo entre 100 a 200 metros, passando acima ou ao redor da turbina, em distâncias seguras. Na Alemanha, morrem mais pássaros vitimados pelo impacto em torres de antenas do que em turbinas eólicas (TOLMASQUIM, 2004).



Figura 7 – Aerogerador Chinês. Fonte: Agostinho Vieira (2013)

3.5.2 Ruído

O ruído proveniente das turbinas eólicas tem duas origens: mecânica e aerodinâmica. O ruído mecânico tem sua principal origem da caixa de engrenagens, que multiplica a rotação das pás para o gerador. O conjunto de engrenagens funciona na faixa de 1.000 a 1.500 rpm, onde a vibração do mesmo é transmitida para as paredes da nacele, onde é fixada. A transmissão de ruído mecânico também pode ser ocasionada pela própria torre, através dos contatos desta com a nacele. Com o avanço dos estudos a respeito do ruído mecânico gerado pelas turbinas eólicas, é possível a construção das mesmas com níveis de ruído bem menores, melhorando a tecnologia. Outra tecnologia utilizada em turbinas eólicas está no uso de um gerador elétrico multipolo conectado diretamente ao eixo das pás. Esse sistema de geração dispensa o sistema de engrenagens para multiplicação de velocidade, pois o gerador funciona mesmo em baixas rotações. Sem a principal fonte de ruído presente nos sistemas convencionais, as turbinas que empregam o sistema multipolo de geração de energia elétrica são significativamente mais silenciosas.

O ruído aerodinâmico é um fator influenciado diretamente pela velocidade do vento incidente sobre a turbina eólica. Ainda existem vários aspectos a serem pesquisados e testados tanto nas formas das pás quanto na própria torre para a sua redução. Pesquisas em novos modelos de pás, procurando um máximo aproveitamento aerodinâmico com redução de ruído, são realizadas, muitas vezes, de modo semi-empírico, proporcionando o surgimento de diversos modelos e novas concepções em formatos aerodinâmicos das pás.



Figura 8 – Aero geradores da Cidade de Caetit , Bahia. Fonte: Pablo Jacob (2013)

3.5.3 Interferência eletromagnética

Os aerogeradores, em alguns casos podem refletir as ondas eletromagnéticas podendo interferir e perturbar sistemas de telecomunica es.

Isso acontece quando a turbina eólica   instalada entre os receptores e transmissores de ondas de r dio, televisão e micro-ondas. As p s das turbinas podem refletir parte da radia o eletromagnética em uma dire o, tal que a onda refletida interfere no sinal obtido.

O grau e a natureza da interferência dependerão da localiza o da turbina entre o transmissor e o receptor, as características das pás, frequência do sinal, características do receptor e a propaga o das ondas de rádio na atmosfera local (EWEA, 2009).



Figura 9 – Aero geradores com Interferências. Fonte: Manu Dias/ GOV BA, (2013)

3.5.4 Uso da terra

Geralmente 99% da área em que uma usina eólica típica está construída ficam fisicamente disponíveis para uso como antes. As fundações das turbinas, embora, com aproximadamente 10 m de diâmetro, estão normalmente enterradas, permitindo mantendo qualquer atividade agrícola até próxima à base da torre (EWEA, 2000e).



Figura 10 – Parque Eólico. Fonte: Canaltech Corporate (2012)

3.5.5 Impacto visual

As usinas eólicas são instaladas preferencialmente em áreas livres (sem obstáculos naturais) para que sejam comercialmente viáveis, sendo, desta forma, visíveis. A reação provocada por um parque eólico é altamente subjetiva. Muitas pessoas olham a turbina eólica como um símbolo de energia limpa sempre bem-vindo, outras reagem negativamente à nova paisagem.

Os efeitos do impacto visual têm sido minimizados, principalmente, com a conscientização da população local sobre a geração eólica. Através de audiências públicas e seminários, passa-se a conhecer melhor toda a tecnologia e, uma vez conhecendo-se os efeitos positivos da energia eólica, os índices de aceitação melhoram consideravelmente.



Figura 11 – Aerogerador de grande porte. Fonte: CicloVivo (2012)

4 Conclusões

A utilização de soluções energéticas que agredem em menor escala o meio ambiente tem mostrado a energia eólica como uma fonte alternativa de grande importância na elaboração de novos cenários energéticos ecologicamente eficientes, mesmo apresentando, como toda tecnologia energética, algumas características ambientais desfavoráveis, conforme visto neste artigo, o aproveitamento dos ventos para geração de energia elétrica deve ser encorajado e algumas destas características podem ser significativamente minimizadas e até mesmo eliminadas com planejamento adequado e inovações tecnológicas. Além disso, não contribui para a diminuição dos recursos não renováveis, que atualmente estão sendo utilizados em larga escala.

Dessa forma, quanto maior for a capacidade da política de incentivos adotados no Brasil, maior será o seu sucesso e mais desenvolvido será o setor eólico nacional. Nessa questão, o Brasil possui uma grande vantagem que é a possibilidade de aprendizado a partir das experiências dos países líderes no setor. Isso é importante, pois o país pode antecipar-se frente às dificuldades, adotando soluções bem-sucedidas ou apresentando novas soluções para evitar ou minimizar os problemas.

5 Referências Bibliográficas

AMARANTE, O. A. et al. Atlas do potencial eólico brasileiro. Brasília: MME; Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2001. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/atlas_eolico_brasil/atlas-web.htm>. Acesso em: 19 jul. 2014.

AGNOLUCCI, P. Wind electricity in Denmark: a survey of policies, their effectiveness and factors motivating their introduction. Renewable and Sustainable Energy. Rev. 11, p. 951, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Atlas da energia elétrica do Brasil, 2008. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1689>. Acesso em: 20 jul. 2014.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA - IEA Technology Roadmap: Wind energy – 2013 Edition - S/ data. Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Wind_2013_Roadmap.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2014

BOURILLON, C. Wind Energy - Clean Power for Generations Renewable Energy 16, 1-4 , Jan, 1999: 948-953.

DUTRA, R. M. Viabilidade Técnico-Econômica da Energia Eólica face ao Novo Marco Regulatório do Setor Elétrico Brasileiro. 309f Dissertação (Mestrado), Programa de Planejamento Energético, COPPE/UFRJ , Rio de Janeiro, Brazil, 2001.

ELDRIDGE, F. R. Wind machines, 2nd edition. Van Nostrand Reinhold, New York, 1980.

EWEA - European Wind Energy Association. Wind Energy and the Environment 2000e. Disponível em: <<http://www.ewea.org/src/environment.htm>>. Acesso em: 27 de ago. De 2014

EWEA - European Wind Energy Association. The Economics of Wind Energy. Bruxelas, 2009. Disponível em: <http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/Economics_of_Wind_Main_Report_FINAL-lr.pdf>. Acesso em: 27 de ago 2014.

ENERCON, magazine for Wind Energy, 2012. Disponível em: <<http://www.enercon.de/en-en/index.html>>. Acesso em: 31/08/2014

FILGUEIRAS, A.; SILVA, T. M. V. Wind energy in Brazil – present and future. Renewable and Sustainable Energy. Rev.7, p.439-451, 2003.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Energia de Cataventos. Revista Pesquisa, ed. 135, 2007. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/?art=3212&bd=1&pg=1&lg=>>>. Acesso em: 20 jul. 2014.

GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L.D. Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento, 2ª edição Revista - EDUSP, São Paulo, Brasil, 2003.

INPE. SONDA - Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais: INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. Disponível em: <<http://sonda.cptec.inpe.br/index.html>>. Acesso: 19 de jul. de 2014.

JACOBSON, M. Z., MASTERS, G. M. Exploiting Wind Versus Coal Science 293. August, 2001.

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R.A.; PEREIRA, E.B. O aproveitamento da energia eólica, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 30, n. 1, 1304, 2008. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br>>. Acessado em: 19 de jul. de 2014.

MEDEIROS, S. S. et. al. Energia Eólica: um estudo sobre a percepção ambiental no município de Currais Novos/RN. Natal, Holos, 2009, Ano 25, Vol. 3.

NUNES, G. A.; MANHÃES, A. A. Energia eólica no Brasil: uma alternativa inteligente frente às demandas elétricas atuais. Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, v. 1, p. 163-167, 2010.

OLINTO, C. R.; SANTOS, S.M. Aproveitamento da energia dos ventos, 2008. Disponível em: <<http://termo.furg.br/claudio/energia%20eolica/Energia%20eolica.pdf>>. Acesso em: 20 de jul. 2014.

PASSOS, J. C. Energias renováveis: energia eólica. Florianópolis: UFSC, 2008. Disponível em: <<http://www.lepten.ufsc.br/disciplinas/emc5483/eolica1.pdf>>. Acesso em: 20 de jul. de 2014.

PEREIRA, E.B., Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia, no prelo, 2007.

REHFELDT, K. e CHRISTIAN, S. Windenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland - Stand 31.12.2000. DEWI MAGAZIN, Wilhelmshaven, n.18, Feb. 2001.

SILVA, Neilton Fidelis. Fontes de energia renováveis complementares na expansão do setor elétrico brasileiro: o caso da energia eólica. 2006. 263f. Tese (Doutorado) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SZARKA, J. Wind power, policy learning and paradigm change. Energy Policy 34, 3041-3048, 2006.

THE WINDICATOR: Operating Wind Power Capacity. Windpower Monthly, v.17, n.4, Apr. 2001.

TOLMASQUIM, MAURÍCIO T. et al. Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil. Editora Relume Dumará. Rio de Janeiro, 2004.

TWELE, J., GASCH, R. Wind Power Plants – Fundamentals, Design, Construction and Operation. ISBN 1-902916-36-7, James & James London, 2002.