



Somática  
e d u c a r

Curso: Operador de parque eólico

Tema: A geração da energia eólica e o meio ambiente

Aluno: Kennedy Noberto De Lima

Email: kennedynoberto@gmail.com

## RESUMO

Atualmente vários países vêm investindo na complementação e transformação de seus parques energéticos com a introdução de fontes alternativas de energia, sendo que as questões ambientais alavancaram em muito estes investimentos, principalmente devido aos impactos causados pelas formas tradicionais de geração de energia. A utilização de soluções energéticas que agredem em menor escala o meio ambiente tem destacado a energia eólica como uma fonte alternativa de grande importância na elaboração de novos cenários energéticos ecologicamente melhores. Porém, como toda tecnologia energética, o aproveitamento dos ventos para geração de energia elétrica apresenta algumas características ambientais desfavoráveis. Neste trabalho procura-se descrever quais são estas características e algumas medidas que podem ser tomadas no sentido de diminuir os impactos ambientais na instalação e operação de parques eólicos. Baseado na bibliografia analisada, conclui-se que os investimentos em a energia eólica devem ser encorajados e algumas destas características podem ser significativamente minimizadas e até mesmo eliminadas com planejamento adequado e inovações tecnológicas.

## INTRODUÇÃO

Com a preocupação em torno das questões ambientais, iniciadas com grande pressão devido aos acidentes nucleares nos reatores de Three Mile Island em 1979, nos Estados Unidos e, mais tarde, em 1986 na cidade de Chernobyl, na ex-União Soviética, a busca de novas soluções para o fornecimento de energia elétrica impulsionam a comunidade mundial a abrir um grande espaço para a penetração das energias renováveis, em especial a energia eólica. Nos últimos anos, países como Alemanha, Dinamarca, Estados Unidos, entre outros, buscando atender

uma melhor qualidade no suprimento energético, engajaram-se no desenvolvimento de tecnologia e expansão do parque industrial, dando incentivos e subsídios ao setor, estimulando o crescimento de mercado e o desenvolvimento tecnológico, alavancando recursos a ponto de fixar a energia eólica no mercado mundial com tecnologia, qualidade e confiabilidade, fazendo desta uma opção imprescindível para o fornecimento de energia limpa em grandes potências. O aproveitamento dos ventos para geração de energia elétrica apresenta, como toda tecnologia energética, algumas características ambientais desfavoráveis como, por exemplo: impacto visual, ruído, interferência eletromagnética, danos à fauna. Porém, algumas destas características podem ser significativamente minimizadas e até mesmo eliminadas com planejamento adequado e inovações tecnológicas. A energia eólica por sua vez, não utiliza a água como elemento motriz, nem como fluido refrigerante e não produz resíduo radioativo ou gasoso. Pode-se ainda utilizar a área do parque eólico como pastagens e outras atividades agrícolas.

## 1. BENEFÍCIOS AMBIENTAIS

O mais importante benefício ao meio ambiente da geração 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 CO<sub>2</sub> 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.

### 1.1. EMISSÃO DE GASES

O mais importante benefício que a energia eólica oferece ao meio ambiente está no fato de que ela não emite poluentes ou CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> durante a sua operação<sup>1</sup>. Com o avanço de programas de eficiência energética, com o propósito de tornar mais eficiente o parque gerador de energia, as emissões de CO<sub>2</sub> e de gases de efeito estufa têm-se reduzido ao longo dos anos, mas permanecem, ainda, em uma faixa muito alta (JACOBSON et al, 2001). Preocupações com o crescimento da concentração de CO<sub>2</sub>

e de gases de efeito estufa na atmosfera têm mobilizado vários países na busca de soluções efetivas para a redução das emissões nos próximos anos. A preocupação com o resultado futuro das emissões de gases de efeito estufa por parte de vários países do mundo têm criado um ambiente muito favorável ao uso da energia eólica como uma fonte renovável de energia. Uma turbina de 600kW, por exemplo, instalada em uma região favorável poderá, dependendo do regime de vento e do fator de capacidade, evitar a emissão de 20.000 a 36.000 toneladas de CO<sub>2</sub>, equivalentes à geração convencional, durante seus 20 anos de vida útil estimado (EWEA, 2000d). Os benefícios a serem obtidos na redução da emissão do dióxido de carbono no mix energético do país dependem de qual tipo de geração a energia eólica estará substituindo. Estudos realizados em 1993, pelo World Energy Council, mostrados na Tab. 3.1, comparam as emissões de diferentes tecnologias de geração de energia elétrica. Supondo-se que o carvão e o gás natural ainda contarão com a maior participação na produção de eletricidade nos próximos 20 anos - com a contínua tendência do uso do gás em substituição ao carvão - é razoável considerar como um valor médio de 600 ton./GWh a redução das emissões de dióxido de carbono pelo uso da geração eólica. Das quatro tecnologias listadas a seguir na Tab. 3.1, que apresentam emissões de CO<sub>2</sub> abaixo do nível da energia eólica, somente as grandes hidrelétricas são competitivas comercialmente na atualidade. Entretanto, a utilização de grandes hidrelétricas tem sido discutida em países como o Canadá e o Brasil (que apresentam grandes plantas hidrelétricas instaladas cada vez mais longe dos centros consumidores) onde o apodrecimento da vegetação submersa nos grandes reservatórios produz uma quantidade substancial de gases de efeito estufa. Um dos principais gases proveniente da decomposição da vegetação submersa é o metano, cinquenta vezes mais potente que o CO<sub>2</sub>. Os projetos de grandes hidrelétricas estão sendo gradativamente abandonados devido à redução dos potenciais (locais onde poderiam ser implementados novos sistemas), aos impactos ambientais na vida animal, causados pelas mudanças de habitat e nos protestos de opinião pública.

## 2. PROBLEMAS PARA O MEIO AMBIENTE

### 2.1. IMPACTO 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 auto-estradas 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 (Fig. 3.2), 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). Na Alemanha foi contabilizado um total de 32 pássaros mortos por turbinas eólicas entre os anos de 1989 e 1990, em todos os parques eólicos do país. Em comparação a esse número, também foram computados os pássaros vitimados pelo impacto em torres de antenas. Encontrou-se, para o ano de 1989, um total de 287 pássaros mortos na Alemanha devido a este fator (DEWI, 1996). O pior caso de colisão de pássaros em turbinas eólicas aconteceu nas proximidades de Tarifa, na Espanha. No final de 1993, 269 turbinas eólicas foram instaladas de um total projetado de 2.000 turbinas.

Localizado nas principais rotas de migração de pássaros da Europa Ocidental, o local onde se instalaram as turbinas é um "grande mal entendido" segundo o diretor da Agência Espanhola de Energia Renovável -IDAE, que fez uma das mais extraordinárias admissões de culpa: "O que me ocorreu sobre o fato é que foi um inoportuno lapso de memória. Ninguém pensou nas migrações dos pássaros". Muitos pássaros de inúmeras espécies ameaçadas de extinção morreram em colisões com as turbinas (WORLD ENERGY COUNCIL, 1993). Fora das rotas de migração, os pássaros são raramente incomodados pelas turbinas eólicas. Estudos com radares em Tjaereborg, região oeste da Dinamarca, mostram que no local onde foi instalada uma turbina eólica de 2 MW, com 60 m de diâmetro, os pássaros tendem a mudar sua rota de vôo entre 100 a 200 m, passando por cima ou ao redor da turbina, em distâncias seguras. Esse comportamento tem sido observado tanto durante a noite quanto durante o dia. Na Dinamarca é comum um grande número de ninhos de falcões nas torres das turbinas eólicas.

## 2.2. RUÍDOS

O impacto ambiental do ruído gerado pelo sistema eólico ao girar suas pás foi um dos mais importantes temas de discussão e bloqueio da disseminação da energia eólica durante a década de oitenta e início da década de noventa. O desenvolvimento tecnológico nos últimos anos, juntamente com as novas exigências de um mercado crescente e promissor, promoveram um avanço significativo na diminuição dos níveis de ruído produzido pelas turbinas eólicas. Este problema está relacionado com fatores como a aleatoriedade do seu funcionamento<sup>2</sup> e a variação da frequência do ruído uma vez que este se ajusta diretamente com a velocidade de vento incidente. 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 nacela, onde é fixada. A transmissão de ruído mecânico também pode ser ocasionada pela própria torre, através dos contatos desta com a nacela. 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. Uma 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. A mostra o resultado de um estudo do Instituto Alemão de Energia Eólica (Deutsches Windenergie-Institut - DEWI) sobre o nível de ruído de diversas turbinas eólicas disponíveis no mercado, no ano de 1995. Como pode ser observado, as turbinas eólicas até então disponíveis apresentavam um nível de ruído entre 90 e 100 dB, ou seja, essas turbinas, na sua maioria, eram muito barulhentas<sup>3</sup>. As leis referentes ao nível de ruído na Alemanha recomendam um afastamento de 200m de distância

do mais próximo morador para níveis de ruído em 45 dB (DEWI, 1996). As relações entre distâncias e os níveis de ruído variam para vários tipos de construção ao longo do dia e também da noite. Essas distâncias estipuladas por lei na Alemanha restringiram a implantação de parques eólicos próximos aos grandes centros urbanos. Muito esforço foi feito desde 1995 no desenvolvimento de uma geração de turbinas eólicas agora disponíveis no mercado. O desenvolvimento de tecnologias, ao longo dos últimos dez anos, na aerodinâmica das pás e nas partes mecânicas críticas, principalmente a caixa de engrenagem, tornou possível uma significativa redução dos níveis de ruído nas turbinas modernas.

### 2.3. INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA

Estudos realizados pela EWEA têm mostrado que o projeto cuidadoso de uma fazenda eólica evita qualquer distúrbio em sistemas de telecomunicações (ondas de rádio e microondas são utilizadas para uma grande variedade de propósitos de comunicação). Isto, contudo, não é suficiente para uma correta determinação das questões envolvidas uma vez que qualquer grande estrutura em movimento pode produzir interferência eletromagnética (IEM). Turbinas eólicas podem causar IEM por reflexão de sinais das pás de modo que um receptor próximo recebe um sinal direto e um refletido. A interferência ocorre porque o sinal refletido é atrasado devido à diferença entre o comprimento das ondas alterado por causa do movimento das pás. A IEM é a maior em materiais metálicos, que são refletores e mínimos para pás de madeira, que absorvem. A fibra de vidro reforçada com epoxi, que é utilizada na maioria das pás modernas, é parcialmente transparente às ondas eletromagnéticas e, portanto diminui o efeito da IEM (McGOWAN et al, 2000). Os sinais de comunicação civis e militares podem ser afetados por IEM, incluindo transmissões de TV e rádio, comunicações de rádio microondas e celular, comunicação naval e sistemas de controle de tráfego aéreo. Os projetistas de turbinas eólicas consultam as autoridades civis e militares para determinar as interferências e problemas que afetem os links microondas e sistemas de comunicação aérea devem ser evitados. A interferência em um pequeno número de receptores de televisão doméstica é um problema ocasional que normalmente é sanado com uma gama de medidas sem alto custo, como a utilização de uma série de retransmissores e/ou receptores. Turbinas eólicas e sistemas de telecomunicações coexistem em muitos locais da Europa.

### 2.4. USO DA TERRA

Geralmente 99% da área em que uma fazenda eólica típica está construída fica fisicamente disponível para uso como antes. As fundações das turbinas, embora com aproximadamente 10 m de diâmetro, estão normalmente enterradas, permitindo qualquer atividade agrícola existente ser mantida até próxima à base de torre (Fig. 3.4). Não há evidências de que fazendas eólicas interfiram em grande extensão em terras cultiváveis ou agropecuárias (EWEA, 2000e) A energia dos ventos é, além disso, uma fonte de energia primária difusa relativa<sup>4</sup>, mas qualquer comparação válida com outros meios de geração em uso de terra deve considerar o ciclo de combustível total em cada caso. Na comparação com outras tecnologias, a energia eólica requer um espaço menor para produzir a mesma quantidade de eletricidade (Tab. 3.2). Uma proporção grande de área de terra utilizada para a geração com queima de carvão é contabilizada principalmente pela mineração e atividades de transporte, localizadas longe das usinas elétricas. Os 4.300 aerogeradores instalados na Dinamarca pelo fim de 1997 produzem

a mesma quantidade de eletricidade do total consumido em 1952. Acima de 7% do consumo nacional de eletricidade na Dinamarca é agora abastecida por energia eólica e o país está caminhando para atingir a meta de 10% no ano 2005. Esta meta poderia ser atingida com a instalação de 1000 turbinas do atual estado da arte, devido às melhorias tecnológicas e aumento da capacidade dos aerogeradores. A área de terra requerida seria aproximadamente 100 km<sup>2</sup>, onde apenas 1% seria utilizado para fundações das turbinas (EWEA, 2000b).

## 2.5. IMPACTO VISUAL

As fazendas eólicas devem ser instaladas 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. Um caso especial sobre impacto visual causado pelas turbinas eólicas foi estudado na Fazenda Eólica de Cemmaes, no Reino Unido. Essa fazenda foi uma das primeiras a ser construída no Reino Unido e é composta por 24 turbinas eólicas com uma capacidade total instalada de 7,2 MW. Foram feitas duas pesquisas nos anos de 1992 e 1994 onde, além dos impactos visuais, foram abordados impactos de ruído, econômicos, sociais, entre outros. A pesquisa foi feita com os moradores mais próximos à fazenda eólica num total de 134 pessoas. Na primeira etapa da pesquisa, apenas 4% dos pesquisados estavam preocupados com o impacto visual da fazenda eólica antes dela ser construída, mas diziam terem tido uma "agradável surpresa" após a construção. Na segunda fase da pesquisa, 6% manifestaram-se espontaneamente sobre o novo visual com as turbinas. Ao serem questionados sobre detalhes de aspectos visuais da fazenda eólica, 54% dos entrevistados responderam positivamente em relação às turbinas eólicas. Metade das respostas mostraram fortes convicções quanto ao aspecto positivo da nova paisagem enquanto que a outra metade foi positiva com algumas reservas. Segundo a pesquisa, 27% mostraram-se indiferentes ao observarem a fazenda eólica e 12% responderam negativamente ao questionário. Um dado interessante é que 62% dos que responderam ao questionário tiveram grande interesse em descrever as turbinas (ESSLEMONT et al, 1996). Um estudo conduzido pela AKF (1996), na Dinamarca, estimou os custos de som e impacto visual de turbinas eólicas - menos que US\$ 0,0012 por kWh de eletricidade produzido. O estudo foi primeiramente baseado em entrevistas com 342 pessoas que moravam próximas às turbinas eólicas e foram questionados quanto desejariam pagar para que as turbinas fossem removidas. Para checar os resultados das entrevistas, os preços de 74 casas situadas próximas às turbinas foram comparadas com similares situadas em qualquer outra parte. Compreendendo os benefícios ambientais de energia eólica, a reação pública para uma fazenda eólica tende a melhorar. A indústria tem dedicado esforço considerável para integração cuidadosa de novos projetos dentro da paisagem.

## CONCLUSÕES

A energia eólica é uma das fontes renováveis que apresenta maiores vantagens na geração de energia elétrica. Em todo o mundo, o uso dessa energia na geração complementar de eletricidade tem sido constantemente difundido e se espera um crescimento ainda mais significativo para os próximos anos. A energia eólica tem um futuro ainda mais promissor com a conscientização pública das suas vantagens como fonte renovável de energia e a progressiva competitividade econômica. As questões ambientais estão cada vez mais difundidas e atitudes em favor do meio ambiente estão se tornando parte integrante dos processos. Na questão energética não poderia ser diferente. Grande parte dos problemas ecológicos de efeito global tais como chuva ácida, efeito estufa, entre outros, são provenientes do setor energético. 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 melhores. Mesmo apresentando, como toda tecnologia energética apresenta, algumas características ambientais desfavoráveis, conforme visto neste trabalho, 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.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GREENPEACE International, European Wind Energy Association (EWEA) and Forum For Energy And Development - Fed. Wind Force 10 - A Blueprint To Achieve 10% Of The World's Electricity From Wind Power By 2020. London, 1999.
- [2] JACOBSON, M. Z., MASTERS, G. M. Exploiting Wind Versus Coal Science 293. August, 2001.
- [3] EWEA - European Wind Energy Association. Wind Energy - The Facts Environment, Vol. 4., 2000d. Disponível na internet via <http://www.ewea.org> (consultado em 2000).
- [4] WORLD ENERGY COUNCIL. New Renewable Energy Resources: Opportunities and Constraints 1990-2020. London, Kogan Page. 1993.
- [5] BOURILLON, C. Wind Energy - Clean Power for Generations Renewable Energy 16, 1-4, Jan, 1999: 948-953.
- [6] DEWI - Deutsches Windenergie Institut. Environmental Aspects and Acceptance of Wind Energy. Wilhelmshavenm, Eldorado Summer School. 1996.
- [7] ELLIOT, D. Renewable Energy and Sustainable Futures Futures. Vol 32, pp261-274. Great Britain, 2000.
- [8] MCGOWAN, J. G., CONNERS, S. R. Windpower: A Turn of the Century Review Annual Review of Energy and the Environment. Vol 25, pp147-197, 2000.
- [9] EWEA - European Wind Energy Association. Wind Energy and the Environment 2000e. Disponível na internet <http://www.ewea.org/src/environment.htm> (consultado em 2000).
- [10] \_\_\_\_\_. Wind Energy - The Facts. Cost, Prices and Values, Vol. 2., 2000c. Disponível na internet via <http://www.ewea.org> (consultado em 2000).

[11] \_\_\_\_\_. Wind Energy - The Facts. Market Development, Vol. 5., 2000b. Disponível na internet via <http://www.ewea.org> (consultado em 2000).

[12] ESSLEMONT, E., MOCCORMICK, M. Sociological Impact of a Wind Farm Development. The World Directory of Renewable Energy: Suppliers and Services. London: JamesxJames, 1996.

[13] AKF - Amternes og Kommunernes Forskningsinstitut. Social Assesment of Wind Power. Denmark, Research institute of the contries and municipalities in Denmark. April, 1996.

1- A redução na emissão de gases de efeito estufa seria contabilizado na substituição das fontes fósseis convencionais de geração de eletricidade por fazendas eólicas.

2- Mesmo em locais onde o período de medição dos ventos represente uma série histórica de vários anos, a previsão de ventos é um fator dependente de várias condições climáticas globais, tornando seu comportamento aleatório ao longo do dia. As medições e séries históricas representam um importantíssimo fator de viabilidade técnica e econômica. No caso em que é citada a aleatoriedade do seu funcionamento, deseja-se deixar claro que a aleatoriedade está na velocidade instantânea que pode mudar a qualquer momento seja para o aumento ou a redução da velocidade.

3- Nível de ruído na faixa entre 90 e 100 dB pode ser comparado com o ruído gerado pelo tráfego de automotores em horário de pico ou até mesmo em máquinas pneumáticas em uso na construção civil.

4- Entende-se por energia difusa relativa a que se encontra espalhada e que é intermitente.