

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ**  
**JOSÉ RÉGIS VIEIRA COUTINHO**

**ASPECTOS ANALÍTICOS NO ESTUDO DE IMPACTOS**  
**GERADOS POR RUÍDOS E ESTRUTURAS DE AEROGERADORES**

**FORTALEZA, CEARÁ**

**2012**

JOSE RÉGIS VIEIRA COUTINHO

ASPECTOS ANALÍTICOS NO ESTUDO DE IMPACTOS GERADOS  
POR RUÍDOS E ESTRUTURAS DE AEROGERADORES

Monografia apresentada ao Curso de  
Graduação em Física do Centro de Ciências e  
Tecnologia da Universidade Estadual do  
Ceará, como requisito parcial para obtenção  
do grau de Licenciada em Física.

Orientador: Prof. Me. Francisco de Assis  
Leandro Filho

**FORTALEZA, CEARÁ**

**2012**

CXXXX Coutinho, José Régis Vieira

Aspectos Analíticos no Estudo de Impactos Gerados por Ruídos e Estruturas de Aerogeradores/José Régis Vieira Coutinho. – Fortaleza 2012.

Orientador: Prof. Me. Francisco de Assis Leandro Filho.

Monografia (Graduação em Física) – Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia.

1. Ruídos. 2. Impactos. 3. Aerogeradores. Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia.

CDD: XXX.XX

JOSÉ RÉGIS VIEIRA COUTINHO

ASPECTOS ANALÍTICOS NO ESTUDO DE IMPACTOS GERADOS  
POR RUÍDOS E ESTRUTURAS DE AEROGERADORES

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Física do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciada em Física.

Orientador: Prof. Me. Francisco de Assis Leandro Filho

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

Conceito Obtido: \_\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Me. Francisco de Assis Leandro Filho (Orientador)  
Universidade Estadual do Ceará – UECE  
Orientador

---

Prof. Me. Anderson Pereira Rodrigues  
Universidade Estadual do Ceará – UECE

---

Prof. Me. Ítalo Pereira Bezerra  
Universidade Estadual do Ceará – UECE

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e forças necessárias para enfrentar os obstáculos impostos na feitoria deste trabalho.

À minha família por ter dado apoio incondicional nos momentos necessários não só na conclusão de curso, mas também em toda minha vida até então.

Agradeço em especial ao orientador deste trabalho monográfico e à Ingrid Cândido por terem tido dedicação integral em todos os problemas que enfrentei, e por terem disponibilizado parte dos seus “corridos” tempos em tirar dúvidas relativas na realização deste trabalho monográfico.

Agradeço também à Universidade Estadual do Ceará e aos seus docentes pelo ensino de qualidade oferecido, que possibilitou o meu conseqüente aprendizado.

“Não me sinto obrigado a acreditar que o mesmo Deus que nos dotou de sentidos, razão e intelecto, pretenda que não os utilizemos”.

(Galileu Galilei)

## RESUMO

O desenvolvimento da sociedade exige, dentre outras coisas, o uso exacerbado de energia elétrica. Uma forma de se obter essa energia é através da conversão da energia cinética dos ventos por meio de aerogeradores em parques eólicos. Entretanto, atrelado a isso, existem diversos fatores que prejudicam a total utilização desta tecnologia, dentre eles, a geração de ruídos, que são danosos ao homem e à natureza. O presente trabalho visa descrever os impactos que os parques eólicos causam a estes, verificando os níveis de ruídos gerados, comparando-o com os níveis máximos que o ser humano suporta, o que leva a geração de diversos problemas ao ser humano, como o estresse, perda de atenção, distúrbios no sono, perda parcial da audição, dentre outros danos. Para atingir esse objetivo realizou-se uma análise quantitativa, utilizando o software livre SCILAB para a obtenção dos resultados por meio de gráficos na instalação de um parque eólico hipotético. Espera-se com esse trabalho verificar maneiras de minimizar esses impactos, de forma a se obter uma relação não agressiva do parque eólico ao homem.

Palavras-chave: Ruídos, Impactos, Aerogeradores.

## **ABSTRACT**

The development of society requires among other things the exacerbated use of electricity. One way to obtain this energy is by converting the kinetic energy of the wind through wind turbines in wind farms. However linked to this, there are several factors that affect the full utilization of this technology, including the generation of noise, which are harmful to man and environment. This paper intends to describe impacts that wind farms cause these by checking sound levels generated by comparing it with maximum levels that the human support, which leads to the generation of many problems, such as stress, loss of attention, sleep disturbances, partial hearing loss, among others damages. To achieve this objective there was a quantitative analysis, using free software SCILAB to obtain the results through graphics in the installation of a hypothetical wind farm. It is hoped that this work checking ways to minimize these impacts, in order to obtain a relationship does not aggressive of the wind farm to man.

Keywords: Noise, Impacts, Aerogenerators.

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b> .....	10
<b>2. Objetivos</b> .....	11
<b>3. Referencial Teórico</b> .....	12
<b>3.1. Energia Eólica</b> .....	12
<b>3.2. Aerogeradores</b> .....	17
3.2.1. Principais Componentes da Tecnologia .....	17
3.2.2. Uso de Aerogeradores .....	24
<b>3.3. Impactos Ambientais Causados por Parques Eólicos</b> .....	25
3.3.1. Solo.....	25
3.3.2. Flora.....	25
3.3.3. Fauna .....	26
3.3.3.1. Colisão de Aves.....	26
3.3.3.2. Impactos em Morcegos .....	28
<b>3.4. Impactos Indiretos ao Homem</b> .....	30
<b>3.5. Impactos Diretos ao Homem</b> .....	32
<b>3.6. Noções Básicas em Acústica Ambiental</b> .....	32
3.6.1. Som.....	32
3.6.2. Intensidade Sonora e Distância .....	33
3.6.3. Nível de Intensidade Sonora e Distância.....	33
3.6.4. Nível Equivalente de Pressão Sonora.....	35
3.6.5. Frequência .....	35
3.6.6. Som Simples.....	36
3.6.7. Caracterização do Ruído.....	36
<b>3.7. Fontes de Ruídos de Aerogeradores</b> .....	38
<b>3.8. Características dos Ruídos de Aerogeradores</b> .....	39
3.8.1. Variação do Nível de Som Emitido.....	39
3.8.2. Infrassom .....	39
<b>3.9. Ruídos e a Saúde Humana</b> .....	41
3.9.1. Normas da ABNT.....	41
3.9.2. Perda Parcial/Integral da Audição .....	43
3.9.3. Perturbação do Sono .....	44

3.9.4. Estresse .....	45
3.9.5. Doença Cardiovascular .....	45
3.9.6. Doença Vibroacústica.....	45
<b>4. Metodologia.....</b>	<b>47</b>
<b>5. Resultados .....</b>	<b>49</b>
<b>6. Conclusão .....</b>	<b>63</b>
<b>7. Referências .....</b>	<b>64</b>

## 1. Introdução

Sem dúvida, no âmbito mundial em geral, para se ter um padrão mediano de qualidade de vida é preciso fazer uso, principalmente, de dois recursos para alicerçar a manutenção desse padrão: a água e a energia. A água por se tratar de uma fonte crucial para a manutenção da vida e a energia por ser muito importante para a realização de atividades essenciais para a humanidade em aspectos socioeconômicos.

Há muito, acreditava-se que as fontes fósseis eram ilimitadas e que não prejudicariam o ambiente quando explorada. Assim, não havia a preocupação ou o cuidado na exploração de combustíveis fósseis. Com o amadurecimento pós-revolução industrial, a sociedade começou a perceber consequências na utilização desses combustíveis, dentre elas, a poluição visual, sonora, ambiental e o efeito estufa.

A preocupação atual existente é com as consequências no ambiente geradas pelo uso exacerbado e com o possível esgotamento dessas fontes nas próximas décadas. Devido a isso tem sido explorada a obtenção de energia a partir de recursos renováveis tais como energias eólica e solar, que são fontes consideradas limpas por não poluírem o meio ambiente.

Este trabalho busca explorar uma dessas fontes de energia, a energia eólica, e seus impactos ao ambiente e ao homem. Mesmo com impactos relativamente baixos quando comparados às energias fósseis, deve-se obter formas de minimizá-los mais com o objetivo de se ter um aproveitamento energético que o ambiente nos oferece sem riscos ao homem como consequência.

## 2. Objetivos

O objeto geral de estudo será descrever os impactos ambientais causados pelas estruturas e pelos ruídos de aerogeradores em parques eólicos, buscando expor os desequilíbrios no solo, na flora, nas aves, em quirópteros e no homem.

O foco principal será os danos causados à saúde humana e a possível solução para tal problema, procurando uma relação não agressiva entre o homem e os parques eólicos.

Para tal, é necessário um estudo específico dos efeitos provocados por ruídos de alguns aerogeradores de grande porte através de recursos computacionais: software livre SCILAB (versão 5.3.3) e Excel (versão 2007), descrevendo as relações entre a potência sonora emitida em função da velocidade de operação; ruídos gerados em função da potência sonora emitida; e ruídos gerados em função da distância mínima segura entre o aerogerador e comunidades habitacionais, onde os ruídos não ultrapassem 35dB, tomando como base as imposições da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Para finalizar, o último estudo específico será de modo a considerar uma generalização do modelo de turbina mais viável em um hipotético parque eólico de potência instalada de 41,6MW, com suposta localização no litoral do Estado do Ceará, descrevendo a melhor relação entre esse parque eólico e distância da população, também respeitando as normas da ABNT.

### 3. Referencial Teórico

#### 3.1. Energia Eólica

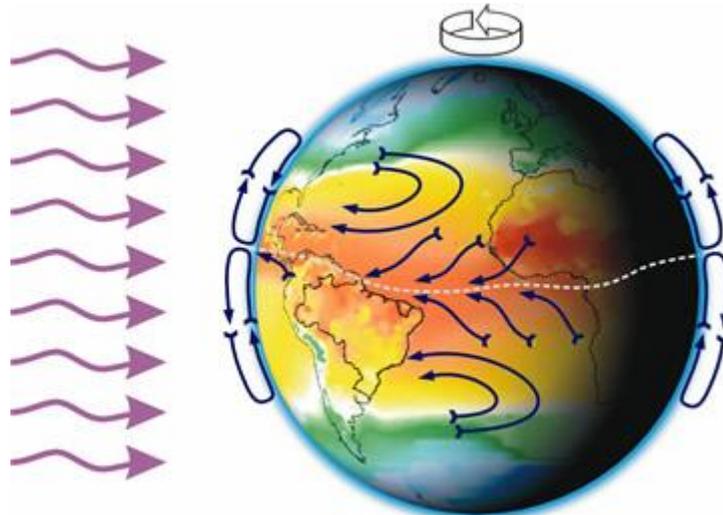
A mais de 3000 anos, a sociedade já fazia uso da conversão da energia cinética dos ventos em energia mecânica para satisfazer suas necessidades. Uma das suas primeiras aplicações foi em utilizar moinhos movidos a vento em atividades agrícolas para o bombeamento de água para irrigação ou consumo e até mesmo para a moagem de grãos. Outra forma do aproveitamento do vento foi no desbravamento das expedições marítimas em busca de descobrir novos horizontes com embarcações a vela (MARTINS, GUARNIERI e PEREIRA, 2007).

A energia do vento depende, indiretamente, da energia proveniente do sol. A Terra absorve uma pequena quantidade desta energia e a converte em energia cinética dos ventos. A principal causa desse movimento dos ventos é a diferença das radiações recebidas em baixas latitudes em comparação às altas latitudes (HUBBERT, 1971).

Segundo Dos Reis (2003), o vento é o movimento do ar na atmosfera terrestre. Ele é gerado principalmente pelo maior aquecimento da superfície da Terra próximo a linha do Equador do que próximo aos polos, por receberem os raios solares quase que perpendicularmente, enquanto as regiões polares, por receberem uma menor incidência de raios solares, ficam mais frias. O ar quente tende a subir para os polos, criando as correntes de ventos ou correntes de convecção, como mostra a figura a seguir.

Figura 3.1 - Formação dos ventos devido ao deslocamento das massas de ar.

Fonte: Atlas Eólico do Brasil, 1998.



A Rotação da Terra juntamente com suas características geográficas e diferenças de temperatura afetam a localização, direção e natureza dos ventos resultantes (BURTON *et al.*, 2001).

A energia eólica é a energia cinética disponível nas massas de ar em movimento. É por meio da conversão da energia cinética de translação dos ventos em energia mecânica de rotação nas pás do aerogerador, que a energia eólica é aproveitada, havendo a geração de eletricidade.

A energia cinética de uma massa de ar  $m$  em movimento a uma velocidade  $v$  pode ser calculada pela equação 3.1:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{equação 3.1}$$

A potência  $P$  disponível no vento a uma velocidade  $v$  constante que atravessa uma seção plana transversal  $A$  ( $m^2$ ) do rotor de uma turbina é calculada pela razão entre o trabalho  $W$  e o intervalo de tempo  $\Delta t$  (BURTON *et al.*, 2001). Como o trabalho é igual a energia cinética disponível, tem-se:

$$W = E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{equação 3.2}$$

Logo:

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{mv^2}{\Delta t} \quad \text{equação 3.3}$$

A coluna de ar ao atravessar a seção, desloca uma massa  $m$  pelo tempo, de:

$$\frac{m}{t} = \rho Av \left( \frac{kg}{s} \right) \quad \text{equação 3.4}$$

Sendo  $\rho$  a massa específica do ar,  $A$  a área da seção e  $v$  a velocidade do vento. Assim, a potência pode ser calculada por:

$$P = \frac{1}{2} \rho Av^3 \quad \text{equação 3.5}$$

De acordo com Castro (2005), a equação 3.5 determina a potência disponível no vento na ausência da turbina.

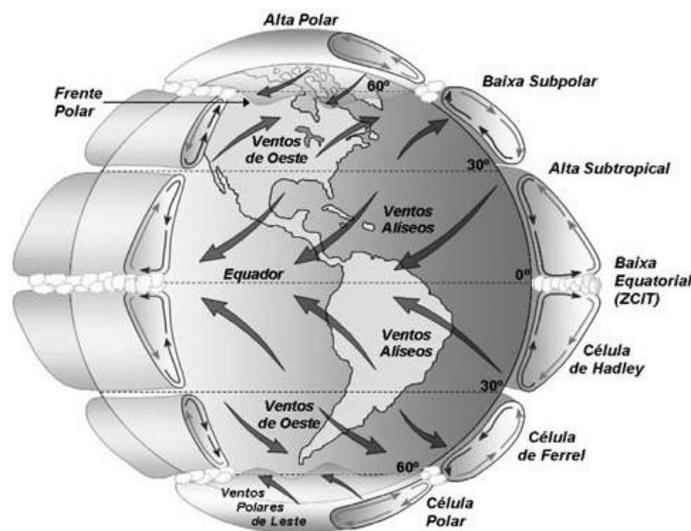
Do ponto de vista de Burton (2001) a característica mais acentuada do recurso eólico é a sua variabilidade. O vento é muito variável, tanto geograficamente quanto temporalmente. A previsibilidade do vento é importante para a uniformidade da quantização da energia eólica, que pode ser considerada a partir de curvas de potências e de distribuição de frequência da velocidade dessas massas de ar. Embora o autor alegue que haja dificuldade na previsão da velocidade média anual, estas podem ser bem caracterizadas em termos de uma distribuição de probabilidade.

Segundo Martins *et al.* (2007), a definição comportamental de vento se dá apenas ao movimento horizontal paralelo à superfície terrestre. A descrição meteorológica da Terra precisa de importantes variáveis, tais como velocidade e direção dos ventos, a umidade e a pressão do ar atmosférico. Como agente meteorológico, o vento é responsável pelo transporte de energia, de umidade, e atua nas modificações das condições do tempo.

Analisando a circulação atmosférica global, podem-se observar na figura 3.2 as direções dos ventos próximos à superfície terrestre e as latitudes de baixas e altas pressões.

Figura 3.2 – Modelo da circulação atmosférica global.

Fonte: Adaptado de LUTGENS e TARBUCK, 1995.



Na implantação de um parque eólico é imprescindível levar em consideração as características especiais de escoamento dos ventos (vento turbulento, obstáculo e efeito de esteira), pois elas podem acarretar em um aproveitamento de pouca significância da energia dessas massas de ar (CASTRO, 2007).

Por ser uma característica de escoamento e não do fluido, a turbulência é um pouco mais difícil de ser estudada. Ao tentar entender o esquema estrutural de uma turbulência, pode-se imaginar um conjunto tridimensional de turbilhões sendo movimentados através do escoamento médio (CASTRO, 2007).

Segundo Castro (2005), para descrever o comportamento de uma turbulência precisa-se recorrer à estatística e não é um assunto irrelevante. Sendo estudada de forma errada, a turbulência reduz significativamente a vida útil de um aerogerador porque a componente flutuante do vento pode ter em frequências próximas à frequência natural da estrutura do aerogerador.

Sabendo da impossibilidade da erradicação da turbulência por ser um fator intrínseco ao escoamento, a saída para minimizar seus efeitos é construir aerogeradores próprios para isso (CASTRO, 2007).

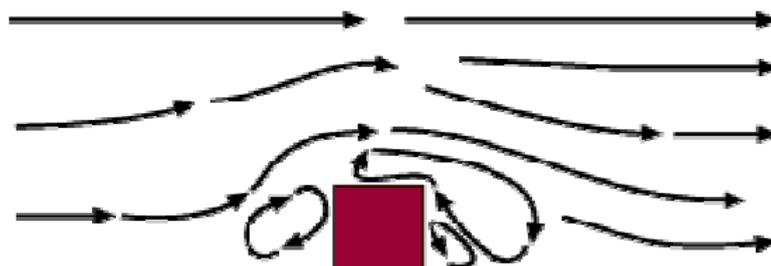
Nos dias atuais, a turbulência tem que ser bem quantizada para reduzir seus efeitos contra os aerogeradores para uma maior vida útil e menor geração de ruídos dos mesmos. Dessa forma a projeção de turbinas já leva em consideração uma adaptação às turbulências desde casos de baixas ou extremas turbulências (CASTRO, 2007).

Sem dúvida, os grandes responsáveis pela redução da velocidade média dos ventos próximos à superfície e pela formação de turbulências em vizinhanças são os obstáculos, independentemente de sua natureza. Os obstáculos podem ser formações rochosas, árvores, construções artificiais e dentre outros (CASTRO, 2005).

O comportamento do escoamento do vento em relação a um obstáculo é ilustrado na figura 3.3. Observa-se a produção de turbulências ao redor do objeto e percebe-se uma menor intensidade da mesma na parte em que o choque com o vento é frontal e, conseqüentemente, uma maior intensidade na parte oposta. É importante notar que a turbulência estende-se até três vezes a altura do objeto (CASTRO, 2005).

Figura 3.3 – Comportamento do escoamento de uma porção de ar em um obstáculo.

Fonte: Danish Wind Industry Association, 2003.



Outra característica relevante a ser considerada na implantação de parques eólicos é o efeito de esteira. O vento sofre uma redução significativa de sua energia cinética ao passar pelas pás do aerogerador, havendo a formação de uma esteira de vento turbulento após o mesmo com velocidade reduzida em relação ao vento incidente (CASTRO, 2005).

A figura 3.4 mostra o efeito de esteira do vento após passar pela turbina ejetando fumo branco nas extremidades das pás do aerogerador.

Figura 3.4 – Efeito de Esteira

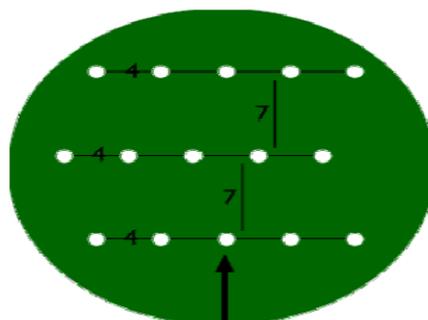
Fonte: Danish Wind Industry Association, Guided Tour on Wind Energy, 2003.



Segundo Castro (2007), devido a essa perda de energia como consequência do efeito esteira, o posicionamento de aerogeradores em parques eólicos deve ser prudente. O espaçamento mais frequente entre aerogeradores é entre três e cinco diâmetros na direção perpendicular ao vento e na mesma direção do vento, esse espaçamento deve ser entre cinco a nove diâmetros (figura 3.5).

Figura 3.5 – Posicionamento de aerogeradores num parque eólico.

Fonte: Danish Wind Industry Association, 2003.



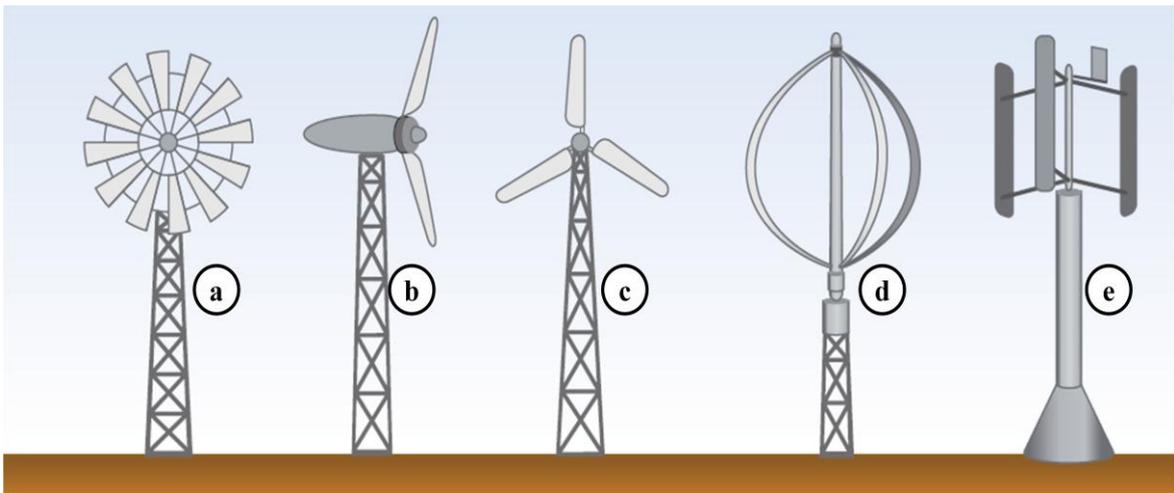
### 3.2. Aerogeradores

Aerogeradores são máquinas que tem como função fazer a conversão da energia cinética dos ventos em energia mecânica de rotação das pás e posteriormente em energia elétrica (MELO, 2009).

Segundo Melo (2009), os aerogeradores podem ser classificados em quatro subdivisões: com relação à direção do vento e o eixo do rotor, se são perpendiculares ou paralelos à direção do vento, como ilustrado na figura 3.6; de acordo a sua orientação em relação ao solo, podendo ser de eixo vertical ou horizontal; com relação ao fator de propulsão, que podem ser de arrasto ou de sustentação; e com relação ao diâmetro ou potência nominal do rotor, podendo ser divididos em grandes, pequenos, médios ou micros.

Figura 3.6 – Aerogeradores classificados quanto ao tipo de eixo. Verifica-se em (a), (b) e (c), aerogeradores de eixo horizontal e em (d) e (e), aerogeradores de eixo vertical.

Fonte: Adaptado de SOUTH *et al.*, 1983.

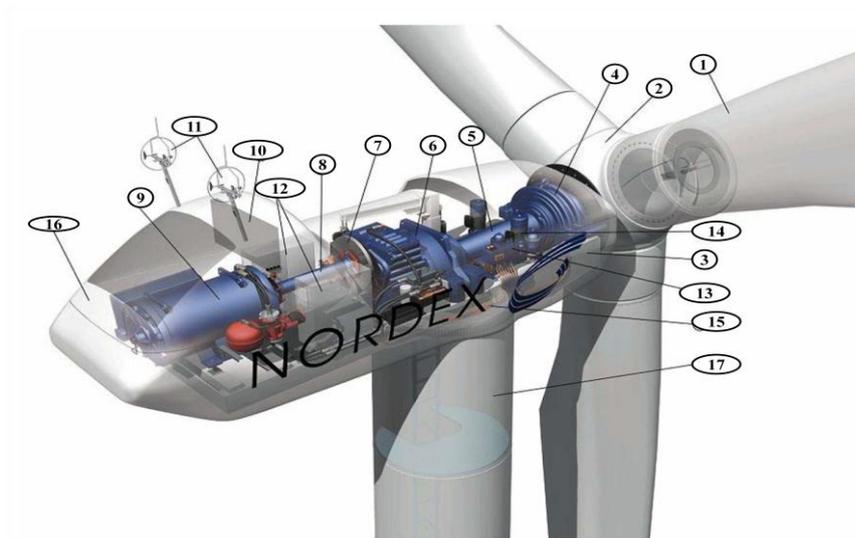


#### 3.2.1. Principais Componentes da Tecnologia

Para um estudo analítico dos aerogeradores é preciso conhecer a sua estrutura e a função básica de seus principais componentes. A Figura 3.7 mostra detalhadamente o corpo de um aerogerador de uso mais geral, o de eixo horizontal.

Figura 3.7 – Esquema estrutural de uma turbina eólica de eixo horizontal.

Fonte: Adaptado de NORDEX.



Legenda – 1: Pás do rotor; 2: Cubo do rotor; 3: Cabina; 4: Chumaceira do rotor; 5: Veio do rotor; 6: Caixa de velocidades; 7: Travão de Disco; 8: Veio do gerador; 9: Gerador; 10: Radiador de arrefecimento; 11: Anemômetro; 12: Sistema de controle; 13: Sistema hidráulico; 14: Mecanismo de orientação direcional; 15: Chumaceira do mecanismo de orientação direcional; 16: Cobertura da cabina; 17: Torre.

Segundo Melo (2009), o principal elemento de uma turbina eólica chama-se rotor, pois é nele que há a conversão em energia mecânica rotativa a energia mecânica dos ventos.

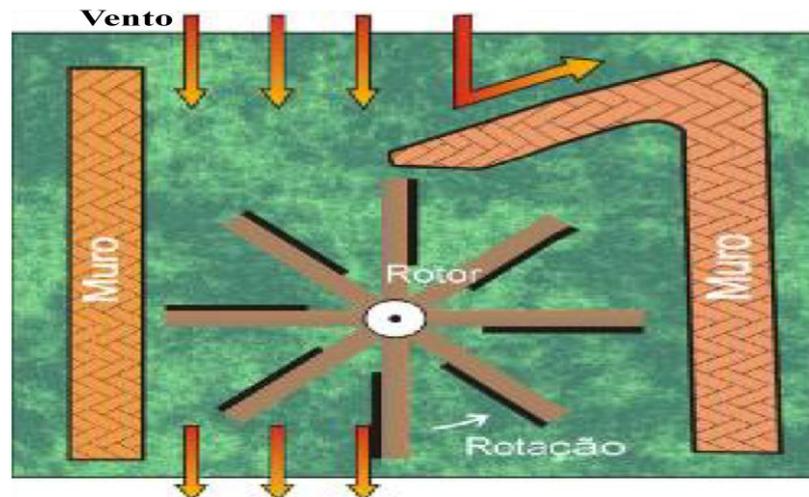
De acordo com Carvalho (2003), os rotores agem independentemente do diâmetro às velocidades entre 60m/s e 100m/s, o que corresponde a uma velocidade de rotação entre 15rpm e 200rpm. Segundo ele, operando com uma tensão de frequência de 60Hz, a velocidade de rotação do gerador pode chegar a 1800rpm devido a transmissão mecânica que é imposta pelo rotor ao eixo do gerador.

Os rotores, segundo Castro (2005), podem ser classificados, quanto ao eixo de rotação, em vertical e horizontal.

De acordo com Rey (2006), os rotores de eixo vertical foram um dos primeiros a serem explorados pelo homem, datando muitos séculos antes de Cristo. Sua serventia era a moagem de grãos. De acordo com Sahin (2004), essa tecnologia utiliza o arrasto do vento. Para um melhor entendimento de sua estrutura e funcionamento, observe a figura 3.8.

Figura 3.8 – Rotor de eixo vertical.

Fonte: Adaptado de CEEETA, 2001.

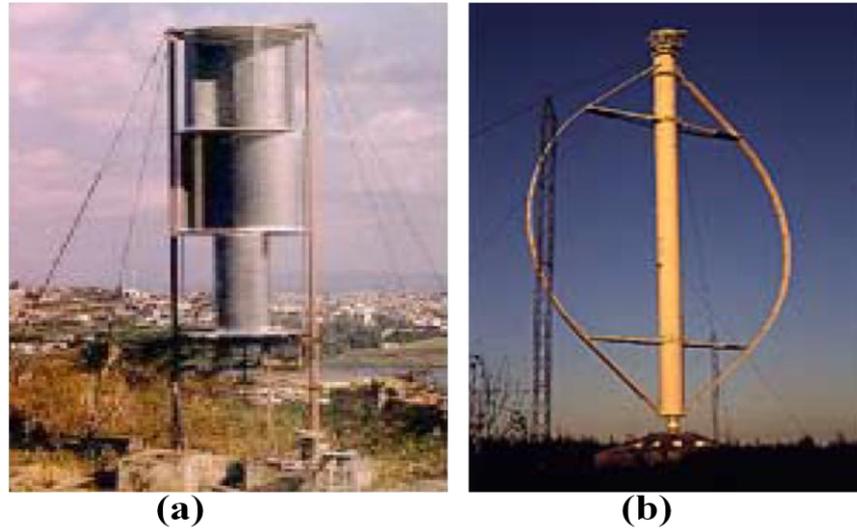


Segundo o CEEETA (2001), rotores de eixo vertical são aqueles em que os eixos de rotação são perpendiculares tanto ao vento quanto à superfície a qual ele está apoiado. A sua principal vantagem é que não há a necessidade de mecanismos de orientação do vento para operar, ou seja, tem capacidade de operar seja qual for a direção do vento. Porém o que torna sua utilização inviável é o rendimento pouco significativo e sua velocidade de rotação, que não supera a velocidade do vento.

De acordo com o centro de estudos mencionado anteriormente, existem dois principais tipos de rotores que utilizam a tecnologia de eixo vertical: o rotor Savonius, como ilustrado na figura 3.9(a), assemelha-se a um tronco cilíndrico acoplado a um eixo, funciona a velocidades baixas, tem um bom torque de partida, porém o rendimento é baixo; e o rotor Darrieus, ilustrado na figura 3.9(b), apresenta ótimo rendimento em relação ao rotor Savonius, porém possuem baixo torque de partida, havendo a necessidade do acoplamento do rotor Savonius para compensar.

Figura 3.9 – Rotores de eixo vertical.

Fonte: Adaptado de CEEETA, 2001.



Diferentemente dos rotores de eixo vertical, os de eixo horizontal são aqueles que têm as direções dos eixos paralelas à superfície e às direções dos ventos. Eles podem atingir melhores rendimentos em relação aos de eixo vertical, operando maior potência e força por unidade de área de captação do vento (CEEETA, 2001). Uma de suas vantagens é atingir velocidades de rotação mais altas que dos ventos incidentes, sendo bastante usados para a conversão da energia cinética em energia elétrica.

A decisão do número de pás de um rotor é bastante criteriosa, pois deve levar em consideração a velocidade média dos ventos, a finalidade a que se destina, intensidade de ruídos produzidos e dentre outras (CEEETA, 2001).

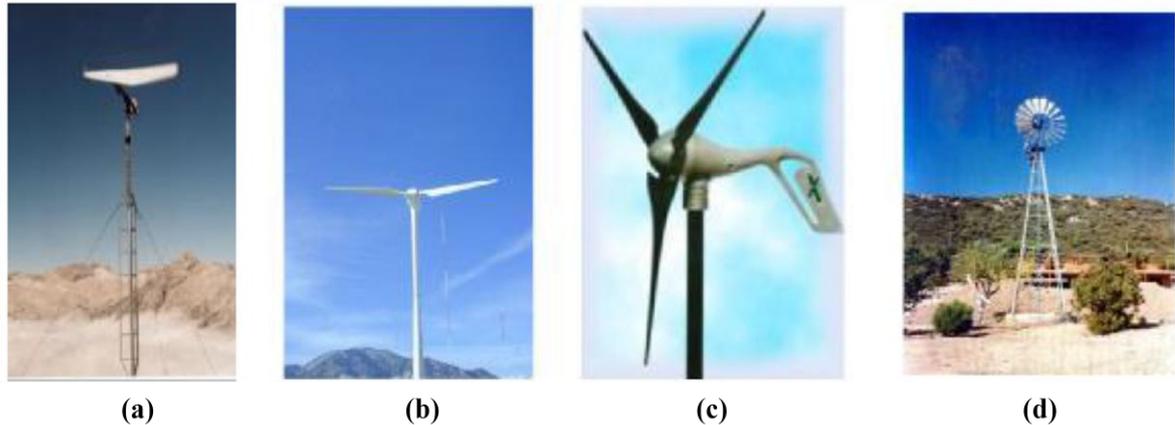
Aerogeradores que operam com uma hélice, como ilustrados na figura 3.10(a), são projetados a ter o menor custo possível, pois possuem a quantidade mínima de pás. Em contrapartida, eles têm que operar a velocidades muito altas para obter aproveitamento energético rentável, além de serem esteticamente desagradáveis (CEEETA, 2001).

Segundo o centro de estudos mencionado anteriormente, aerogeradores de duas pás, como mostrados na figura 3.10(b), têm melhor eficiência em relação aos de uma pá, porém o custo é mais elevado e os ruídos gerados ainda são bastante significativos. Já os aerogeradores de três pás, ilustrados na figura 3.10(c), são mais silenciosos, pois operam a velocidades bem baixas em relação ao de duas pás para desenvolver a mesma potência, e têm maior eficiência, porém o custo é elevado. Os aerogeradores que funcionam com mais de três pás, ilustrados na figura 3.10(d), os chamados multipás, apresentam uma estrutura mais estável, possuem um

alto torque, mas são mais eficientes para o bombeamento de água, podendo ser chamados também de aerobombas.

Figura 3.10 – Tipos de aerogeradores quanto ao número de pás.

Fonte: Adaptado de CEEETA, 2001.

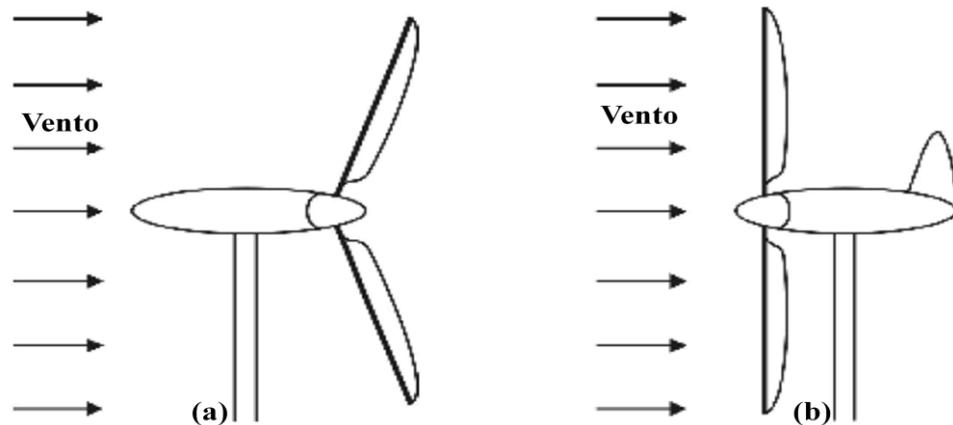


Quanto à estabilidade, de acordo com Castro (2007), rotores que operam a número par de hélices apresentam problemas no equilíbrio estático da estrutura. Segundo Castro (2005), a passagem das pás em frente à torre causa variação na sua inclinação em relação ao solo, que deve ser de  $90^\circ$ . Rotores com número ímpar de pás não sofrem esse efeito tão acentuadamente quando comparado ao de número par.

Quanto à posição das hélices, CEEETA (2001) informa que os aerogeradores de eixo horizontal podem ser classificados em dois tipos: em *jusante*, também chamado de “downwind rotors”, mostrado na figura 3.11(a), onde as pás se encontram atrás da torre de sustentação; e em *montante*, figura 3.11(b), também chamada de “upwind rotors”, onde as pás localizam-se à frente do rotor.

Figura 3.11 – Tipos de aerogeradores quanto à posição das pás.

Fonte: Adaptado de CEEETA, 2001.



Na *montante*, é preciso um dispositivo de orientação para manter as pás sempre na mesma posição. Já a *jusante* se orienta automaticamente, porém apresenta desequilíbrio quando uma de suas pás passa por trás da torre, a distribuição do vento não é a mesma para todas as pás, causando vibração no rotor, fenômeno que pode ser chamado de “efeito sombra” (CEEETA, 2001).

A torre, mencionada a pouco, tem como função básica a sustentação e equilíbrio da cabina, que é uma câmara que abriga a caixa de engrenagens, o gerador, o veio principal, o travão de disco e dentre outros (Castro 2007).

Para Melo (2009), a torre também funciona para que o aerogerador capte maior incidência de ventos e para afastá-lo dos efeitos do atrito viscoso e turbulência como consequência da proximidade do solo.

Outro componente que também tem como função aumentar a captação de ventos, segundo Melo (2009), é o leme direcionador, fazendo com que haja mais potência extraída dos ventos. Há casos em que o leme funciona para dar mais equilíbrio à estrutura.

Mais um importante componente da estrutura de uma aerogerador é o cubo, que é o elo de conexão entre o rotor do gerador e as pás. Ele tem função transmitir as forças mecânicas de rotação ao eixo do gerador, podendo também transmitir as vibrações atuantes nas hélices (REY, 2009).

De acordo com Grogg (2005), o gerador é um aparelho que utiliza a velocidade de rotação do rotor para causar uma variação do fluxo magnético por meio da rotação de ímãs através do eixo do gerador, havendo assim a produção de eletricidade.

Os aerogeradores de eixo vertical amparam os geradores na parte inferior da torre, enquanto que nos de eixo horizontal, esse amparo localiza-se na parte superior da estrutura (REY, 2009). Há dois tipos de geradores, os assíncronos (indução), e os síncronos, também chamados de alternadores (GROGG, 2005).

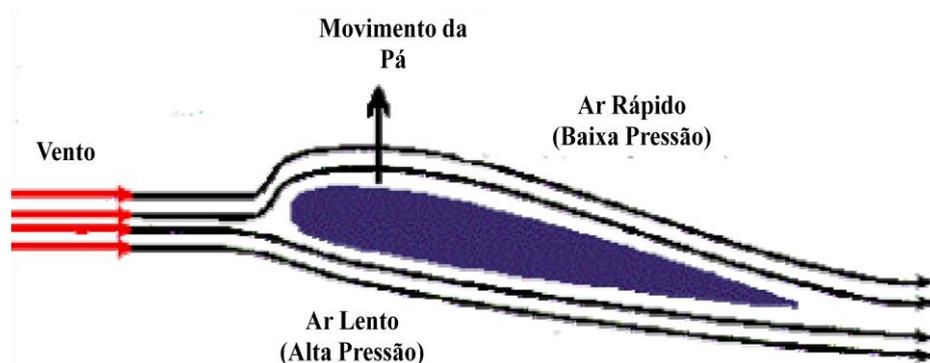
Por fim, segundo Castro (2005), a cabina é uma câmara que tem a função de abrigar o veio principal, o travão de disco, o gerador, a caixa de velocidades (caso exista), o mecanismo de orientação direcional e entre outros. Acima da cabina está situado o anemômetro e o sensor de direção, para dar informações de variações e velocidades dos ventos.

O funcionamento eficiente das turbinas eólicas não se dá apenas pela operação de suas componentes, mas também pelo desenho aerodinâmico dos aerogeradores. O desenho estrutural é uma tarefa bastante criteriosa que envolve requisitos conflitantes: que a operação seja em potência máxima e que a emissão de ruídos seja mínima (FUGLSANG e MADSEN, 1998).

Fazendo um estudo comparativo entre a aerodinâmica das pás usadas atualmente e as usadas há muito tempo em moinhos há uma diferença notória. As lâminas atuais utilizam a mesma tecnologia aerodinâmica utilizada por aviões, possuindo o mesmo formato da asa de um avião (CAMPOS, 2004), como mostrado na figura 3.12.

Figura 3.12 – Esquema aerodinâmico de uma hélice.

Fonte: [www.ufpe.br](http://www.ufpe.br).



É importante notar, na figura 3.12, que a hélice sofre o fenômeno “efeito Bernoulli”, ocasionando o aumento da velocidade do ar com a respectiva queda de pressão na face atacada. Conseqüentemente, a velocidade do ar será reduzida através da face que sofre alta pressão (CAMPOS 2004).

De acordo com Castro (2005), a geometria das pás de uma turbina é o fator determinante para um bom aproveitamento da energia extraída dos ventos. Portanto é preciso fazer um estudo criterioso da estrutura e das forças atuantes.

De acordo com Lemos (2005), a pá é o elemento fundamental na descrição aerodinâmica de uma aerogerador. É preciso, para determinar as cargas atuantes no rotor, saber qual tipo e forma (ângulo em relação ao plano de rotação, espessura e corda) de hélice a ser usada. Para um estudo aerodinâmico mais aprimorado é preciso ter conhecimento de dados como: distribuição de massa e rigidez nas duas fundamentais direções ao longo de seu comprimento.

Segundo Campos (2004), modernas pás atualmente são produzidas com máxima eficiência usando a idéia da relação sustentação-arrasto em ângulos de ataque muito próximos de zero em grandes túneis de vento.

### **3.2.2. Uso de Aerogeradores**

A energia eólica promete uma conversão limpa e renovável da energia dos ventos em energia elétrica, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e a consequente redução da emissão de gases do efeito estufa (ROSENBLUM, 2006). Esse tipo de tecnologia, segundo Rey e De Oliveira (2005), se comparado às tecnologias tradicionais, trazem menos riscos ao ambiente, pois usam fontes em suas formas naturais.

Esse tipo de tecnologia, segundo Rey e De Oliveira (2005), se comparado às tecnologias tradicionais, trazem menos riscos ao ambiente, pois exploram suas fontes energéticas em suas formas naturais.

De acordo com Melo (2005), diferentemente dos modos tradicionais de obtenção de energia, a extração de energia eólica não adiciona energia ao meio ambiente. Já a obtenção via fóssil, adiciona energia que estava armazenada há milhões de anos e que não mais fazia parte do equilíbrio acima da superfície terrestre.

A obtenção de energia elétrica a partir da energia dos ventos não possuem somente efeitos positivos, mas negativos também. Esses efeitos são danosos tanto à natureza quanto ao homem, de forma direta ou indireta (MELO, 2009).

### **3.3. Impactos Ambientais Causados por Parques Eólicos**

#### **3.3.1. Solo**

Em relação aos impactos ambientais causados pela implantação de parques eólicos, para um estudo mais preciso, existe uma dependência da relação entre a área efetiva ocupada pelos aerogeradores individualmente e a área total ocupada pelo parque (COELHO, 2007).

Para a implantação de parques eólicos em lugares montanhosos, que são os mais procurados devido a existência de fortes ventos, é necessário fazer toda uma alteração da estrutura superficial da cadeia montanhosa. Grandes estradas têm de ser construídas para suportar o fluxo de máquinas pesadas e para a instalação dos aerogeradores, é preciso colocar toneladas de concreto solo abaixo para servir de alicerce (TUPI, 2010). Segundo Rosenbloom (2006), um aerogerador de eixo horizontal de 1,5 MW de potência pode chegar a 170 toneladas, provocando um efeito devastador no solo devido à pressão exercida.

O solo, durante e depois da instalação de parques eólicos, ficam sujeitos à ação direta dos ventos e de chuvas, provocando uma corrosão e, conseqüentemente, alteração da superfície do solo. A fim de minimizar os efeitos erosivos próximos aos aerogeradores, segundo Coelho (2007), uma boa saída é a construção de valetas de drenagem para o escoamento da água.

Devido o fluxo contínuo de pessoas na construção, na exploração e na manutenção de parques eólicos, de acordo com Coelho (2007), há a produção de lixo e muitas vezes há negligência quanto ao seu tratamento e destino, depositando-os diretamente no solo, havendo sua conseqüente poluição.

#### **3.3.2. Flora**

A construção de parques eólicos em áreas florestais causa um enorme impacto ambiental, pois estará alterando permanentemente o habitat original, sendo da ordem de quilômetros quadrados a dimensão da área devastada (TUPI, 2010).

A dimensão dos impactos causados à flora depende de diversos fatores, como a sensibilidade florestal, estação do ano, local de exploração, dentre outros. E o fator principal para o aumento do impacto gerado é a presença humana. Quanto menor for sua interferência, menor será o dano causado (COELHO, 2007).

Segundo Coelho (2007), os impactos à flora podem ser divididos em positivos e em negativos. Será considerado como negativo se houver decréscimo da área da vegetação após a instalação de parques eólicos, como consequência da não adaptação à mudança. Será considerado como positivo se após a instalação do parque eólico houver um crescimento da área florestal, como resultado de uma boa reação à mudança.

### **3.3.3. Fauna**

Os impactos sofridos pela fauna devido à implantação de parques eólicos estão intrinsecamente relacionados à devastação de florestas (quando há) e às suas estruturas serem de grande porte, o que pode gerar um desequilíbrio em animais que voam (COELHO 2007). Segundo Rey e De Oliveira (2005), não são somente parques eólicos que alteram o equilíbrio da fauna. Áreas urbanas, edificações, áreas de alta tensão, postes, automóveis, dentre outros, também são responsáveis por mortes de animais. Por isso é preciso fazer um estudo comparativo para saber a relevância da consequência do uso de aerogeradores em série sobre a natureza.

#### **3.3.3.1. Colisão de Aves**

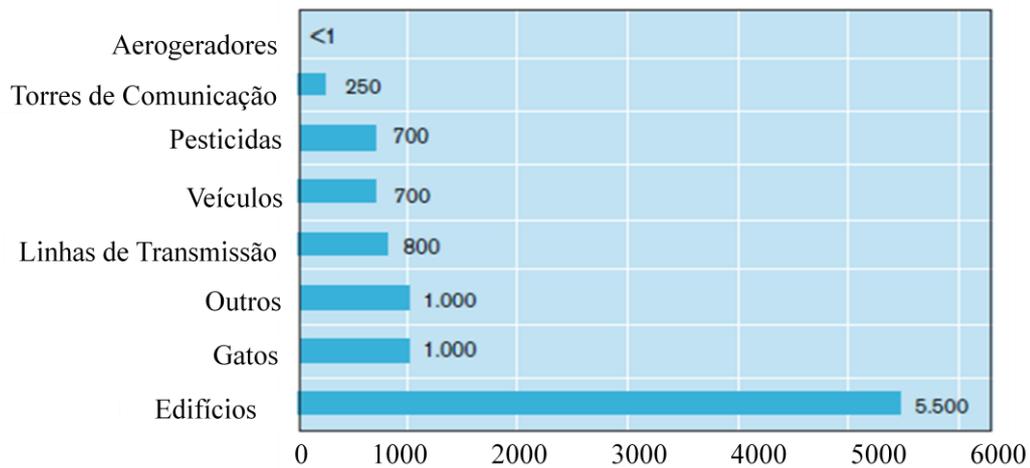
Segundo a NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (2007), turbinas eólicas chegam a matar entre 20 a 30 mil aves anualmente. Já as torres de comunicação, matam aproximadamente quatro milhões, compostos químicos e tóxicos matam cerca de 72 milhões, carros provocam cerca de 80 milhões, linhas de alta tensão, 130 milhões e edificações matam de 97 a 900 milhões de aves. Fazendo uma comparação, as mortes devido aos parques eólicos representam 0,003% do total.

Dados precisos de mortes de aves são ainda muito difíceis de serem estipulados, pois restos mortais desses animais são removidos diariamente por outros animais carniceiros (SOVERNIGO, 2009).

Estima-se que de cada 10.000 aves mortas pela atividade humana, apenas uma ave morta se deve aos parques eólicos. Dentre suas causas, tem-se a colisão de aves com os aerogeradores, eletrocutadas na rede de transmissão, colisão com cabos elétricos e outras (ERICKSON, 2002). A figura 3.13 ilustra a proporção mencionada anteriormente.

Figura 3.13 – Causas de mortes de aves.

Fonte: Adaptado de ENERGY COMMISSION, 2006.



Para Sovernigo (2009), há também outros fatores para as colisões de aves em parques eólicos, como condições meteorológicas, atividade e comportamento da espécie, abundância da mesma, morfologia e fisiologia da espécie, corredores de migração, características orográficas, entre outros.

Aves migratórias são as que mais sofrem danos devido a implantação de um parque eólico mal posicionado. Elas durante a noite voam a alturas que as torres não conseguem alcançar, mas durante a manhã elas baixam voo à procura de alimentação e repouso e acabam colidindo com estas estruturas (KINGSLEY e WHITTAM, 2005).

Sem dúvida, as características estruturais e aerodinâmicas de turbinas eólicas podem favorecer o aumento dos danos provocados às aves. Aero geradores de pequeno porte operam a velocidades bastante altas, o que pode provocar mais colisões, pois não há tempo suficiente para a ave mudar a direção de voo. Existem também estudos que mostram que quanto maior for a velocidade de rotação das hélices, maior será a sua transparência (COELHO, 2007).

Uma solução viável para a diminuição da transparência das pás a altas velocidades durante o dia seria o uso de tintas especiais que refletissem os raios ultravioletas, pois as aves têm a capacidade de detecção da luz com esses comprimentos de onda (COELHO, 2007).

Parques eólicos com número exacerbado de turbinas favorecem o aumento dos impactos, pois as aves teria que fazer múltiplos desvios dos obstáculos e isso as levaria a exaustão, provocando mais mortes. Uma solução para isso seria um posicionamento estratégico das turbinas, fazendo com que houvesse grandes espaços vazios entre as estruturas, ou a criação de um corredor livre (COELHO, 2007). Uma saída que torna possível

a redução de mortes devido às colisões é implantar subterraneamente o sistema de transmissão de energia elétrica (CAMARGO, 2005).

Segundo Gray (2004), as aves costumam procurar os pontos mais altos para ampliar seu campo visual para a caça. Daí elas arriscam-se e pousam em cabinas de turbinas eólicas.

Ainda sobre a caça, as aves têm sido atraídas cada vez mais para parques eólicos porque as suas presas prediletas (esquilos e roedores em geral) buscam campos abertos. Os entornos de aerogeradores são os mais disputados entre esses animais e as aves correm mais riscos para capturá-los (MORRISON, 2006).

Há também outro agravante, segundo Thelander (2004), as aves, para protegerem seus ninhos, os colocam fora do alcance de outros animais, sendo assim, fazem ninhos no topo de aerogeradores.

De acordo com Hötker (2006), aspectos positivos também estão associados ao uso de parques eólicos. Alguns tipos de aves como felosa palustre (*Acrocephalus palustris*) e escrevedeira-dos-caniços (*Emberiza schoeniclus*) apresentaram crescimento populacional, pois em épocas de acasalamento precisam de campos sem formação vegetal, assim os campos no entorno de aerogeradores são propícios. Já a grande maioria de espécies é afetada negativamente.

Segundo Amarante *et al.* (2001), com o desenvolvimento da tecnologia de aerogeradores, à medida que o tempo passa, a tendência é a construção de turbinas de máximo diâmetro possível. Isso gera um impacto positivo no que diz respeito às aves, pois com o aumento da estrutura, a velocidade de rotação das pás fica bastante reduzida, sua visibilidade torna-se mais eficiente e estes animais podem mudar seus cursos de voos a tempo de evitar a colisão.

### **3.3.3.2. Impactos em Morcegos**

Tomando como base a quiropterofauna, tem-se constatado um número cada vez mais significativo de mortes de morcegos em decorrência de parques eólicos (SOVERNIGO, 2009). Esse número crescente também é justificado pela ausência de estudos sobre impactos ambientais em morcegos em décadas anteriores, ou seja, quanto maior o esforço amostral, mais mortes serão registradas (KUNZ *et al.*, 2007).

Os morcegos usam o sistema de ecolocalização, que consiste na emissão de ondas em frequências ultrassônicas, e, ao retornar, após o seu desvio em objetos, o sinal é recebido

pelos morcegos. A partir daí eles conseguem definir a posição, distância e velocidade relativa do objeto (CASADOMORCEGO.ORG).

Na tentativa de explicar os altos índices de mortes de morcegos é bastante difícil definir a sua causa, pois a eficiência do sistema ecolocalizador torna-se ainda maior em objetos móveis, assim os aerogeradores seriam facilmente detectados (JEN e MCCARTY, 1978).

Existem várias hipóteses quanto à causa de morte de morcegos em parques eólicos. A primeira delas é a hipótese do corredor linear, onde a implantação de turbinas eólicas no topo de montanhas arborizadas gera um aquecimento da região, passando a atraí-los para o forrageio e também devido à atração de insetos, fonte de alimento de grande parte das espécies (KUNZ *et al.*, 2007). Com isso, as colisões tornam-se mais frequentes (ARNETT *et al.*, 2009).

De acordo com a referida hipótese, os insetos, que são mais ativos em baixas velocidades de ventos, são atraídos de forma natural pelo calor gerado pelos componentes da cabina e pelas pás, assim os morcegos em busca de alimento e conforto térmico, acabam sendo atraídos (KUNZ *et al.*, 2007).

A segunda hipótese afirma que os morcegos quando estão em rotas migratórias não usam seu sistema ecolocalizador da mesma intensidade quando não estão migrando para poupar energia (AHLÉN, 2003). Dessa forma, segundo Kunz *et al.* (2007), haveria maior incidência de colisões de morcegos que estivessem migrando.

A terceira hipótese defende a ideia que os aerogeradores produzem sons em frequências audíveis e ultrassônicas, que podem ou atrair ou desorientar os quirópteros em suas rotas migratórias, ocasionando colisões (KUNZ *et al.*, 2007). O referido autor também menciona que esses animais conseguem captar campos magnéticos, assim o campo magnético produzido pelos componentes da cabina possa desorientá-los.

Segundo Long *et al.* (2009), a velocidade e a espessura das pás também interferem no sistema de posicionamento dos quirópteros. Ventos entre quatro e cinco metros por segundo produzem ecos que acabam atrapalhando a capacidade de esquivo dos morcegos. Dessa forma, a redução desse problema se dá no aumento do número de hélices e no aumento de sua espessura.

Kunz *et al.* (2007) também faz menção a outra hipótese, a de que os morcegos procuram sempre as estruturas mais altas e estão confundindo os aerogeradores com árvores.

Segundo Ahlén (2003), Isso ocorre com maior frequência em locais onde as espécies arbóricolas são mais escassas ou de menor porte.

Um agravamento dessa preferência por grande porte por parte dos morcegos é que as turbinas tendem a ficar ainda maiores e podem chegar a invadir o espaço aéreo desses animais em migração (BARCLAY *et al.*, 2007).

A hipótese da descompressão, até então a última, diz que os morcegos, quando atraídos por qualquer que seja a causa, sofrem um barotrauma (manifestação patológica ligada a variações de pressão no interior do corpo) devido à abrupta queda de pressão ao se aproximarem das pás das turbinas eólicas (BAERWALD *et al.*, 2008).

Segundo essa teoria da descompressão, West *et al.* (2007) relata que estudos mostram que 100% dos morcegos sofreram lesões pulmonares e 92% hemorragia interna. Isso é improvável de acontecer em aves porque elas são mais adaptadas às variações bruscas de pressão do que os mamíferos, ressaltam o autores mencionados.

Não há sombra de dúvida que os morcegos são animais fundamentais na manutenção do equilíbrio do ecossistema. Por isso, um cuidado exacerbado deve ser posto para não alterar seu equilíbrio (CICLOVIVO.COM.BR).

Para uma redução abrupta no desequilíbrio ambiental causado aos morcegos, algumas medidas devem ser tomadas: alinhamento das turbinas eólicas em colunas paralelas à direção da migração desses animais; distância quilométrica entre as turbinas para que haja corredores livres; não implantação de parques eólicos em zona densa de morcegos; e o possível desligamento dos aerogeradores durante as noites de clima não propícias; entre outros (VOOREN e BRUSQUE, 1999).

### **3.4. Impactos Indiretos ao Homem**

#### **a) Interferência Eletromagnética**

Aerogeradores de pequeno porte possuem uma grande vantagem: não causam interferência magnética em bandas de rádio e TV. Isso se dá porque as pás dos modernos pequenos aerogeradores são fabricadas de compostos não-metálicos, como madeira, fibra de vidro, entre outros (MELO, 2009).

Os parques eólicos de grande porte acarretam em interferências mais acentuadas em ondas de rádio e TV porque a onda eletromagnética sofre difração através do *pylom*

(sustentação do eixo do rotor) e reflexão através das pás do aerogerador (CARVALHAIS, 2008).

Dessa forma, segundo Carvalhais (2008), ao invés de a onda emitida propagar-se de forma retilínea, ela será desviada por reflexão e difração, ocasionando uma discrepância na sincronia das ondas recebidas pelo aparelho receptor.

## **b) Impacto Visual**

Na construção de parques eólicos é imprescindível a geração de impactos visuais (poluição visual) devido suas estruturas serem de grande porte, podendo chegar a 100m de altura, e devido ao movimento de suas pás movimentarem em meio estático, que é a paisagem (AUBREY *et al.*, 2006).

Os aerogeradores são sempre composições perceptíveis nos meios os quais estão inseridos, pois apresentam características, e formas geométricas diferenciadas (REY e DE OLIVEIRA, 2005), com questões estéticas de acordo com a preferência individual, dependendo do conceito que cada um tem de estética visual ou valor de beleza (MAGALHÃES, 2001).

No estudo dos impactos visuais gerados por estruturas de captação de energia dos ventos, não se pode analisar somente um aerogerador, pois ele não será considerado como elemento intrusivo. Fazendo o estudo de um parque eólico com quantidade exacerbada de aerogeradores por unidade de área, esse elemento será considerado como intrusivo, pois os impactos gerados serão cumulativos (MORRISON, 2006).

É importante notar que o impacto visual será diferenciado de acordo com a fragilidade visual das paisagens (COELHO, 2007). Sendo assim, para a autora mencionada, um parque eólico pode ser facilmente integrado a paisagem sem impacto visual significativo ou ser muito impactante em paisagens que possuem pouca absorção (incorporação de elementos visuais).

Para Magalhães (2001), esses impactos visuais dependem também de outros fatores, tais como: época do ano, condições atmosféricas, condições de luminosidade, ponto de observação e se o observador é morador da região ou se é somente visitante.

Para suavizar os efeitos visuais impactantes de parque eólicos, é necessário incorporá-lo ao ambiente fazendo uso de cores que possam camuflá-lo (MELO, 2009).

Outra forma de tentativa em reduzir esses efeitos é a substituição de muitos aerogeradores por poucos de maior potência, causando um efeito cumulativo menor e custos de manutenção também relativamente baixos (REY e DE OLIVEIRA, 2005).

Ainda sobre a substituição dessas estruturas, o autor menciona que aerogeradores de grande porte possuem baixa velocidade de rotação e isso o incorporaria melhor no ambiente. Já em relação aos de pequeno porte, que possuem alta velocidade de rotação das pás, seria facilmente notados pelo observador humano.

Caso a implantação de aerogeradores de grande potência seja impossibilitada, há outra saída em minimizar os impactos visuais: uma distribuição ordenada de aerogeradores seguindo a linha da altitude da paisagem, possibilitando uma menor detecção de sua existência (REY e DE OLIVEIRA, 2005).

É importante ressaltar que a implantação de um aerogerador não é permanente, podendo ser alterada de acordo com as necessidades e o meio, aos poucos, pode voltar a sua forma natural (AUBREY *et al.*, 2006).

### **3.5. Impactos Diretos ao Homem**

Os impactos diretos são referentes aos danos que os parques eólicos causam à saúde humana. Mas para uma avaliação mais precisa desses danos é preciso uma pequena introdução de acústica ambiental, em que serão mostradas as origens e efeitos dos ruídos gerados por parques eólicos.

### **3.6. Noções Básicas em Acústica Ambiental**

Na implantação de parques eólicos são muitos os efeitos positivos, mas atrelados a eles, efeitos negativos. Um desses efeitos negativos é o ruído gerado, que pode trazer muitas complicações à população. Assim sendo, para conseguir quantizar esses efeitos, uma breve introdução em acústica ambiental será feita.

#### **3.6.1. Som**

O som é uma onda mecânica resultante do movimento ondulatório em sólidos, líquidos e gases, decorrentes de uma variação de pressão produzida por quaisquer estímulos

(cordas vocais, instrumentos, etc) (MELO, 2009). Esse estímulo será propagado através de partículas adjacentes a fonte emissora até chegarem ao ouvido humano e serem percebidas (MAIA, 2010). Caso a onda sonora seja agradável ao ouvido humano, ela será chamada de som; caso seja indesejável, será considerada como ruído.

### 3.6.2. Intensidade Sonora e Distância

Na caracterização dos impactos causados por ruídos de aerogeradores, é imprescindível que se saiba a relação entre intensidade sonora e distância, pois dessa forma é possível haver uma harmonia entre a localização de parques eólicos e comunidades populacionais.

Segundo Calixto (2002), a intensidade sonora perde significância com o aumento da distância devido à existência de perdas na propagação do som em meios elásticos e devido à expansão da frente de onda.

A intensidade sonora, simbolizada por  $I$ , é a relação entre a potência de emissão sonora  $W$  de uma fonte qualquer e a área  $A$  da superfície esférica de raio  $r$  que a onda incide, considerando as três dimensões (TIPLER e MOSCA, 2009). Sua equação é dada por:

$$I = \frac{W}{A} \quad \text{equação 3.6}$$

Sabendo que a área da superfície esférica atingida pela onda sonora é dada por  $4\pi r^2$ , a intensidade sonora passa a ser dada por:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad \text{equação 3.7}$$

### 3.6.3. Nível de Intensidade Sonora e Distância

Segundo Calixto (2002), o nível de intensidade sonora, simbolizado por  $N$ , é, em sua definição, a relação entre o valor médio da potência sonora atmosférica (nível de referência) e potência sonora emitida por estímulos.

De acordo com Calixto (2002), qualquer valor de nível de potência sonora superior ao nível de referência será percebido pelo homem como uma sensação auditiva.

No caso do estudo de impactos causados por ruídos de turbinas eólicas, essas alterações assumem valores numéricos bastante vastos. Fazendo uma proporção entre a

amplitude mínima, que é o limiar da audição e o valor da amplitude máxima, que é o limiar da dor, obtém-se a relação de 1:1000000, obedecendo a ordem mencionada (MAIA, 2010)

É importante notar que a relação entre o limiar da audição e o limiar da dor não obedece a um fator linear. Segundo o autor mencionado, de forma a obter uma medição mais viável e precisa do nível de pressão sonora, a amplitude terá variação entre 0 (limiar da audição) e 120 dB (decibel), limiar da dor, obedecendo uma relação logarítmica.

A unidade do nível de intensidade sonora é chamada de Bel e não se trata de uma unidade absoluta e a sua escala é dada em decibel para que suas medições sejam trabalhadas de maneira mais viável (MAIA, 2010).

O Bel pode ser usado para expressar níveis de quaisquer potências em relação a um nível básico de referência e sua medida é dada pela relação entre o nível sonoro ambiente e o valor sonoro de referência, obedecendo à equação logarítmica abaixo (TIPLER e MOSCA, 2009):

$$N = \log \frac{I}{I_0} \quad \text{equação 3.8}$$

Onde  $I$  é o valor da intensidade sonora existente e  $I_0$  é o valor da intensidade sonora de referência, que vale  $10^{-12} W/m^2$  (limiar da audição).

Trabalhando na escala decibel, a equação acima é definida como:

$$N = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad \text{equação 3.9}$$

O nível de intensidade sonora também depende de outros fatores, como a distância  $r$  entre a fonte emissora e o receptor e o coeficiente de absorção do som no ar, simbolizado por  $\alpha$  (ROGERS *et al.*, 2006). Essa relação é dada por:

$$N_p = N_E - 10 \log(2\pi \cdot r^2) - \alpha \cdot r \quad \text{equação 3.10}$$

Onde  $N_p$  é o nível de intensidade sonora percebido a uma distância  $r$ ,  $N_E$  é o nível de intensidade sonora emitido pela fonte e  $\alpha$  é o coeficiente de absorção do som no ar, cujo valor é  $\alpha = 0,005$  (ROGERS *et al.*, 2006).

### 3.6.4. Nível Equivalente de Pressão Sonora

No estudo de danos à audição causados por ruídos não se deve considerar apenas o seu nível de pressão, mas também o tempo de duração da exposição ao ruído, podendo ser variável (GERGES, 1992).

Segundo Calixto (2002), o nível equivalente de pressão sonora, simbolizado por  $L_{eq}$ , trata-se de um nível médio entre os níveis variados de ruídos em determinado período de medição e sua equação, em decibel, é dada por:

$$L_{eq} = 10 \log \left\{ \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left[ \frac{p(t)}{p_0} \right]^2 dt \right\} \quad \text{equação 3.11}$$

Onde  $p_0$  é a pressão de referência,  $p(t)$  é a pressão sonora instantânea e  $T$  é o tempo total de medição, sendo calculado por  $t_2 - t_1$ .

Dessa forma, conclui-se que o nível equivalente tem a mesma energia acústica e o potencial de lesão, ao ouvido, de níveis variados em determinado intervalo de tempo (CALIXTO, 2002).

Segundo Calixto (2002), exposições à ruídos com níveis de equivalência aproximados a 115 dB(A), correspondente a nível máximo, acarretam lesões auditivas.

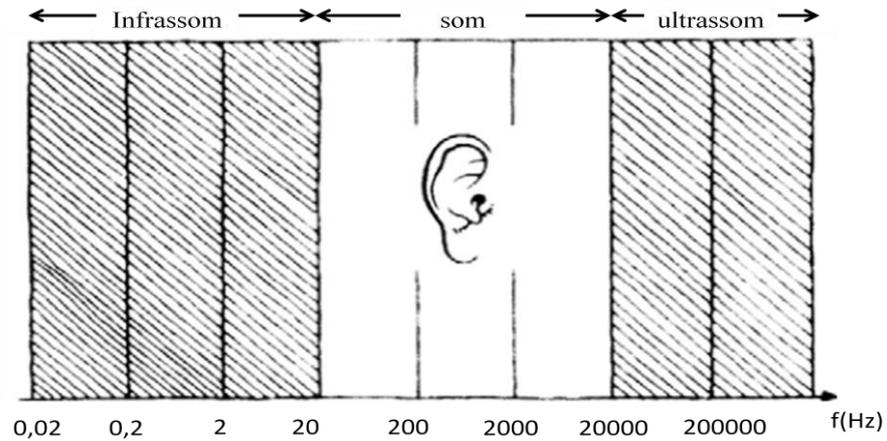
### 3.6.5. Frequência

Frequência, segundo Carvalho (2009), é o número de flutuações completas de pressão sonora por unidade de tempo e sua unidade básica é o Hz (Hertz).

Existem, quanto à frequência, três gamas: agudas, médias e graves, localizadas entre 20 Hz e 20 kHz (frequências audíveis). Frequências inferiores a 20 Hz são chamadas de infrassons, enquanto que frequências superiores a 20kHz são chamadas de ultrassons (MAIA, 2010). A figura 3.14 mostra a divisão de frequências (em Hz) e suas respectivas nomenclaturas.

Figura 3.14 – Faixas de som.

Fonte: Adaptado de CARVALHO, 2009.



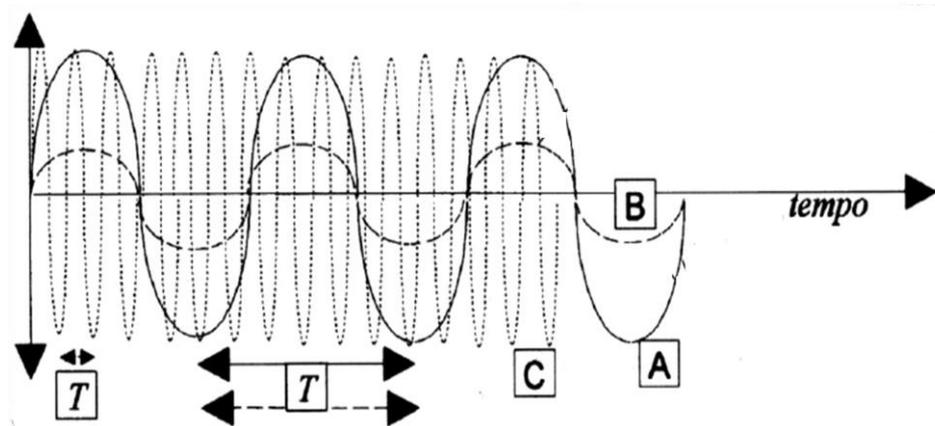
### 3.6.6. Som Simples

Som simples ou som puro é aquele que tem características comportamentais em apenas uma frequência (Pedersen, 2002).

É observado na figura 3.15 que A e B têm a mesma frequência, porém amplitudes diferentes; que A e C têm frequências diferentes, mas amplitudes iguais; e que B e C têm amplitudes e frequências diferentes.

Figura 3.15 – Faixas de som.

Fonte: Adaptado de CARVALHO, 2009.



### 3.6.7. Caracterização do Ruído

O ruído ambiente é a representação de todos os ruídos gerados por todas as fontes sonoras, sendo elas próximas ou longínquas, em determinado local e instante (MAIA, 2010).

Ruído particular trata-se apenas de uma parte do ruído ambiente que pode ser detectados e identificados através de meios acústicos e atribuídos às suas respectivas fontes sonoras (MAIA, 2010).

Ruído residual é o ruído ambiente caracterizado por um ou mais ruídos particulares de acordo com cada situação (MAIA, 2010).

De acordo com Ruskey (2003), no estudo de ruídos gerados por aerogeradores é imprescindível analisar o ruído de fundo, onde sua função é avaliar a significância dos ruídos gerados por meio de comparações.

De acordo com Maia (2010), se o ruído de fundo for maior que o ruído dos aerogeradores, a presença destes não será intrusiva. Porém se os ruídos dos aerogeradores forem superiores, isso quer dizer que os efeitos sonoros destes serão significantes.

As figuras 3.16 e 3.17 mostram as relações entre o ruído de fundo e os ruídos de turbinas eólicas a fim de determinar a significância dos ruídos gerados por elas.

Figura 3.16 – Comparação entre os ruídos produzidos por turbinas eólicas e o ruído de fundo em função de suas frequências.

Fonte: Adaptado de RUSKEY, 2003.

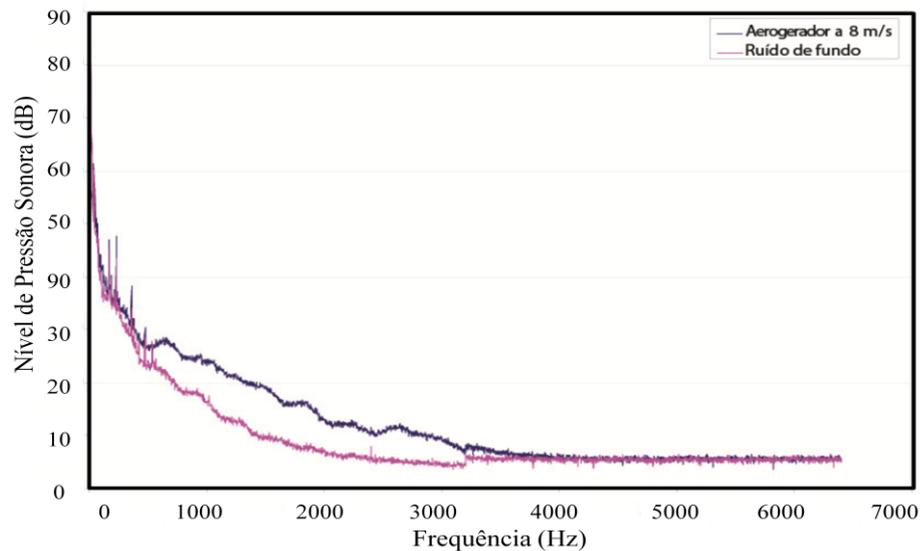
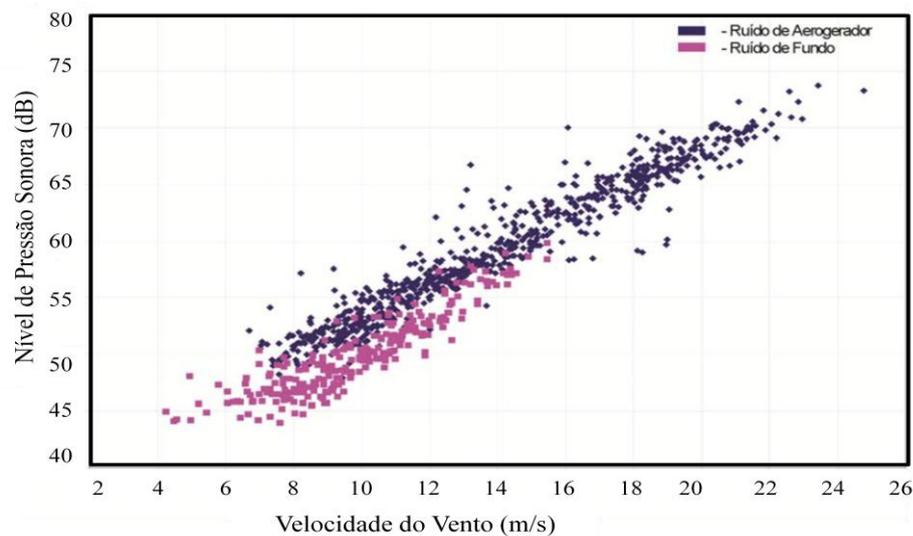


Figura 3.17 – Comparação entre os ruídos produzidos por turbinas eólicas e o ruído de fundo sob as mesmas condições de velocidade.

Fonte: Adaptado de RUSKEY, 2003.



### 3.7. Fontes de Ruídos de Aerogeradores

Turbinas eólicas em operação sempre produzem ruídos, sejam eles nocivos ou não. Eles podem ser divididos em dois: ruídos mecânicos e ruídos aerodinâmicos (COLBY, 2009).

Os ruídos de origem mecânica, em aerogeradores de grande porte, são gerados a partir do multiplicador de velocidade, dos motores de direcionamento, dos ventiladores do sistema de resfriamento, do gerador elétrico e outros (MELO, 2009).

Já os aerogeradores de pequeno porte não utilizam sistema de resfriamento, nem sistema hidráulico de redirecionamento do rotor, e por terem alta velocidade não precisam de multiplicadores de velocidade. Sendo assim a sua fonte de ruído mecânica vem apenas do gerador elétrico (MELO, 2009).

Para uma redução significativa dos ruídos mecânicos de grandes aerogeradores, algumas alterações foram feitas, tais como: utilização de dentes de engrenagens bem polidos, de forma a minimizar o atrito gerado; utilização de abafadores e isoladores de vibrações; utilização de equipamentos que produzam ruídos na gôndola, de forma a não fazê-lo no solo; e utilização de sistemas de resfriamento a óleo, ao invés de ar (HAILES, 2008).

Os ruídos aerodinâmicos são produzidos a partir da rotação das pás de uma turbina. Isso acontece porque as pás funcionam como um aerofólio, produzindo uma força de elevação (sustentação) quando o ar passa sobre ela (COLBY, 2009).

Segundo Maia (2010), as pás são projetadas a fim de produzir maior torque de rotação porque o vento que passa mais rapidamente ao longo do topo da superfície do que abaixo.

Para reduzir os ruídos aerodinâmicos produzidos pelas hélices, desenhos aerodinâmicos eficientes conseguem reduzir a turbulência que produz o arrasto e o ruído (COLBY, 2009).

A turbulência e o conseqüente ruído gerado dependem da velocidade de rotação das pás através do ar, de suas formas e de sua seção transversal em contato com a camada de ar (BROOKS *et al.*, 1989).

### **3.8. Características dos Ruídos de Aerogeradores**

#### **3.8.1. Variação do Nível de Som Emitido**

Uma característica bastante notável na instalação de parques eólicos é a variação do nível dos sons emitidos, como rugir de engrenagens, assobios, batidas acentuadas, entre outras. (BERG, 2009).

De acordo com Maia (2010), uma pequena alteração de 3dB em uma banda de frequência emitida de 1 kHz é capaz de ser captada pelo ouvido humano e facilmente detectável. Ao fazer uma comparação com sons variados do cotidiano, esse ruído equipara-se ao aviso sonoro de pesados automóveis em marcha-ré.

Segundo Berg (2009), no estudo de aerogeradores, os ruídos gerados, por um só, sofrem variações entre 5 e 6dB dependendo da velocidade de rotação das pás. Porém, ao se considerar os parques eólicos, essa variação pode chegar aos 9dB, podendo ser detectada a 1km de distância, dependendo da direção dos ventos.

#### **3.8.2. Infrassom**

A característica mais acentuada na caracterização dos ruídos de aerogeradores é a emissão de infrassons porque grande parte dos impactos sofridos pelo homem advém desta frequência de ruído (MAIA, 2010).

Em aerogeradores mais antigos a emissão acontece com maior intensidade porque a caixa de velocidades localizava-se no solo, produzindo uma forte componente de baixas frequências (MAIA, 2010).

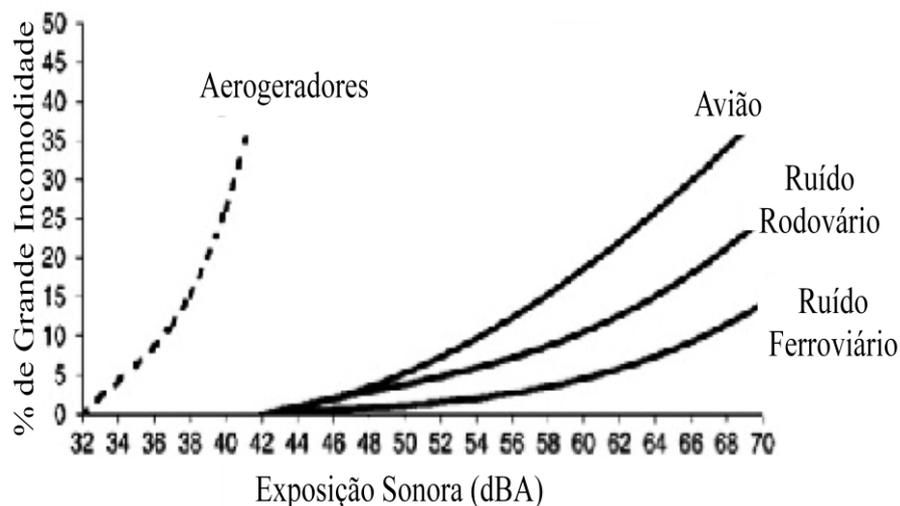
Já os novos aerogeradores trazem essa caixa acima do solo, e com a utilização de abafadores e isoladores de vibrações, a produção de componentes de baixas frequências se dá de forma mais amenizada, reduzindo seus efeitos negativos sobre o homem (LEVANTHALL, 2006).

Por ser um aspecto relativamente novo a ser estudado, os efeitos sobre a saúde humana ainda são pouco conhecidos pelos pesquisadores, o que torna a utilização da tecnologia de aerogeradores um pouco perigosa, pois não se trata de uma questão técnica, mas médica, em que os efeitos podem variar entre incômodos e complicações cardíacas (MAIA, 2010).

Fazendo uma comparação dos ruídos gerados por parques eólicos e por estímulos variados no espaço de convívio humano, o incômodo atinge fortemente a população, ilustrado na figura 3.18. Percebe-se que apesar da exposição sonora sofrida pela população ser muito inferior a exposição por outros estímulos, a incomodidade é bastante acentuada. Isso se deve ao tempo de duração da exposição, pois aerogeradores emitem ruídos durante todo o dia, já a emissão de ruídos por avião, tráfego em rodovias e ferrovias, é variável e o intervalo de tempo é menor.

Figura 3.18 – Grau de incomodidade para diferentes tipos de estímulos.

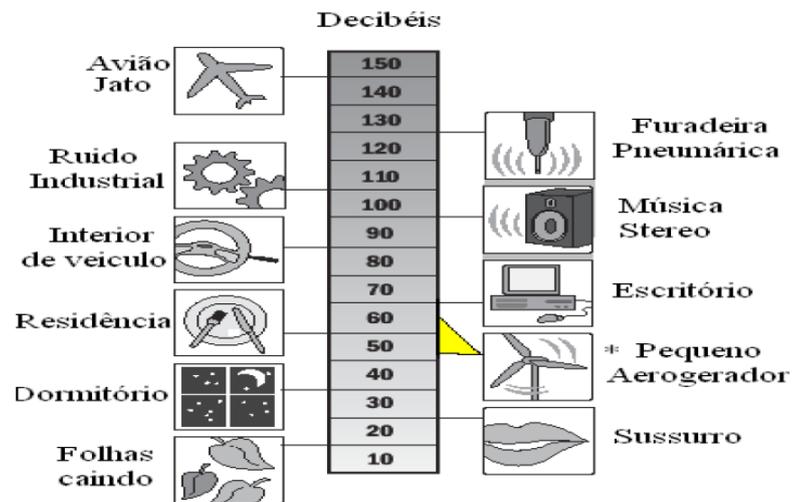
Fonte: Adaptado de BERG, 2009.



Ao considerar o nível de pressão sonora produzido por apenas um aerogerador, ele é facilmente ignorado porque outros ruídos o superam em ambientes barulhentos. Ao fazer a mesma comparação em ambientes silenciosos, esse aerogerador passará a incomodar em maior grau (figura 3.19).

Figura 3.19: Escala de ruídos gerados por diversas fontes a 30m de distância da medição.

Fonte: POMILIO, 2002.



### 3.9. Ruídos e a Saúde Humana

Não é somente a flora e alguns animais que sofrem os efeitos da implantação de parques eólicos, a população também sofre riscos à saúde. Atualmente há poucos estudos com base científica em respeito a isso, mas o fato é que o homem deve manter precauções sobre essa tecnologia.

#### 3.9.1. Normas da ABNT

A *Associação Brasileira de Normas Técnicas* (ABNT), órgão responsável pela normalização técnica no Brasil, impõe algumas condições de níveis de ruídos para cada tipo de ambiente, mostrados na tabela a seguir:

Tabela 3.1: Níveis de ruídos permitidos pela ABNT em vários ambientes.

Fonte: ABNT, 1996.

<b>Tipos de Áreas</b>	<b>Diurno</b>	<b>Noturno</b>
Áreas de sítios e fazendas	40 - 50	35 – 45
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50 - 60	45 – 55
Área mista, predominantemente residencial	55 - 65	50 – 60
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60 - 70	55 – 65
Área mista, com vocação recreacional	65 - 75	55 – 65
Área predominantemente industrial	70 - 80	60 – 70

A tabela 3.1 refere-se a níveis de ruídos permitidos de acordo cada ambiente, baseada na Lei n.º 1605 de Maio de 1996 e são determinados de acordo com a zona e horário segundo as normas da ABNT n.º 10151.

A ABNT informa que os primeiros dados numéricos à esquerda referentes ao período diurno são os níveis sonoros confortáveis ao ouvido humano, já a direita destes dados, são os níveis sonoros de desconforto. Para o período noturno segue a mesma ordem.

A Associação nota que os níveis de desconforto mencionados não necessariamente resultarão em riscos à saúde humana, mas quando extrapolados, dependendo da duração da exposição ao ruído, serão danosos ao homem.

Para informar a população de modo a evitar danos relacionados aos ruídos, a ABNT fundamentou os limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente, mostrados na tabela 3.2. A fundamentação desses níveis está de acordo com o Anexo I da Norma Regulamentadora n.º 15, Portaria 3214 de Junho de 1978.

Tabela 3.2: Relação entre ruído e exposição máxima.

Fonte: ABNT, 1978.

Nível de Ruído dB(A)	Máxima Exposição Diária Permissível	Nível de Ruído dB(A)	Máxima Exposição Diária Permissível
85	8h	96	1h45min
86	7h	98	1h15min
87	6h	100	1h
88	5h	102	45min
89	4h30min	104	35min
90	4h	106	25min
91	3h30min	108	20min
92	3h	110	15min
93	2h40min	112	10min
94	2h15min	114	8min
95	2h	115	7min

A ABNT informa que não é permitida a exposição a níveis de ruído acima de 115dB(A) para indivíduos que não estejam adequadamente protegidos.

### 3.9.2. Perda Parcial/Integral da Audição

Segundo Alberts (2006), a perda da audição está relacionada com a energia total do som a que uma pessoa está exposta, sendo a combinação do nível de decibéis e da duração da exposição.

A exposição ao ruído pode provocar dois tipos de problemas à audição: a perda auditiva parcial, que se trata da mudança de limites auditivos; e a perda de frequência, onde a pessoa não consegue mais distinguir frequências específicas de som (ALBERTS, 2006).

A perda de sensibilidade específica ocorre naturalmente em idosos, onde a capacidade de perceber sons de alta frequência é reduzida, em relação a frequências altas. Os ruídos de turbinas eólicas podem acelerar esse processo caso a exposição seja muito intensa e prolongada. (ALBERTS, 2006).

Uma pessoa normal consegue detectar qualquer som acima de  $0dB$ . A exposição intensa altos níveis de ruído fazem com que as terminações nervosas do aparelho auditivo percam sensibilidade, temporariamente, ou não. Assim sendo, os limites auditivos diminuiram e essas pessoas só serão capazes de distinguir sons bem acima de  $0dB$  (ALBERTS, 2006).

Segundo o autor mencionado, caso a exposição seja em curto prazo e o ruído seja removido, a audição pode voltar ao normal rapidamente, mas caso ela seja a longo prazo e intermitente, haverá danos irreversíveis.

### **3.9.3. Perturbação do Sono**

A perturbação do sono é um dos problemas mais acentuados em relação aos efeitos dos ruídos de parques eólicos ao homem. A saúde humana e suas atividades são gravemente comprometidas por três principais fatores: a dificuldade em adormecer; alteração do número dos ciclos de sons; e alteração da qualidade do sono (MAIA, 2010).

Três características de exposição sonoras são fatores determinantes nas perturbações do sono, são elas: exposição total ao ruído, em que o período diurno também está incluído; exposição a picos de ruídos; e exposição a ruídos intermitentes (MAIA, 2010).

Conforme Alberts (2006), picos intermitentes de  $45dB$  que ocorrem mais de 40 vezes por noite, ou picos de  $60dB$  ocorrendo mais de 8 vezes, alteram o sono da grande maioria das pessoas.

Segundo Alberts (2006), níveis de ruídos de aproximadamente  $60dB$  tem potencial para acordar 90% das pessoas após terem dormido; níveis de ruídos de  $55dB$  são responsáveis pela alteração da qualidade do sono e insônia; e ruídos entre 40 e  $45db$  mantêm 10% das pessoas acordadas.

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (2002), estudos relativos à perturbação do sono foram feitos e o recomendável é que o nível de ruído ambiente deve atingir valor máximo de  $35dB(A)$  para que não haja efeitos significantes ao equilíbrio do sono. Segundo Harrison (2011), durante o dia, o nível máximo de ruído ambiente seguro para o homem deve ser de  $45dB(A)$ .

Uma redução singular da qualidade do sono tem como consequência o cansaço, falta de motivação, de entusiasmo, entre outras. Porém este problema pode ser compensado na noite seguinte, havendo a recuperação do sono (ANTUNES, 2009).

Se houver intermitência de noites mal dormidas, o déficit de sono irá se acumular e chegar ao ponto em que não poderá mais ser recuperado. Esse nível acarreta efeitos psicóticos e alucinações. Se a exposição ao ruído persistir, o organismo humano sofrerá disfunções irreversíveis (GRIEFAHN, 1992).

Uma pequeníssima parte da população que sofre os efeitos dos ruídos de parques eólicos consegue retornar os antigos hábitos noturnos e dormir normalmente. Isso acontece porque há uma adaptação do corpo humano, mas a presença do ruído continua a afetar negativamente a qualidade e os ciclos de sono (ALBERTS, 2006).

#### **3.9.4. Estresse**

O estresse está intimamente ligado à perturbação do sono e à exposição contínua ao ruído, pois esses fatores acarretam em nervosismo, intolerância e irritação (FIORINI, 1991).

Batmanabane e Ramachadran (2003) fizeram um estudo para determinar a relação entre o estresse e o nível de ruído. O estudo era constituído por indivíduos saudáveis que eram expostos a diferentes níveis de ruídos, divididos em estágios. Amostras de sangue foram colhidas e constatou-se que os níveis de cortisol estavam absurdamente altos em relação ao inicial, caracterizando-os com alto nível de estresse.

#### **3.9.5. Doença Cardiovascular**

O ruído excessivo gera uma série de complicações ao homem, chegando a casos extremos a problemas cardíacos (MAIA, 2010).

A formação de placas ateroscleróticas nos vasos sanguíneos é responsável pela diminuição do diâmetro interno dessas cavidades. Quando há a exposição excessiva de ruídos, haverá aumento na produção de colágeno e os vasos tornar-se-ão mais espessos, podendo resultar em coagulação sanguínea ou acidente cardiovascular (MAIA, 2010).

#### **3.9.6. Doença Vibroacústica**

De acordo com Maia (2010), doenças vibroacústicas são patologias relacionadas à longos períodos de exposição a ruídos de baixa frequência, causando inflamação e fibrose do tecido.

Segundo Maia (2010), no início de 2009 foram feitos estudos pela AWEA e CanAWEA à respeito da possibilidade de relação de ruídos de baixa frequência com essas patologias por um grupo de médicos, especialistas em audição e especialistas em acústicas. O grupo forneceu um documento oficial de referência e suas principais ideias eram: não há nenhuma evidência de que os infrassons emitidos por aerogeradores tenham consequências diretas ou efeitos fisiológicos adversos; As vibrações do solo provocadas pelo aerogerador não têm significância para afetar o homem;

Por ser um assunto relativamente novo a ser estudado, não há evidências científicas sobre a existência de doenças vibroacústicas, portanto, estudos de casos a longo prazo devem ser feitos para uma melhor precisão neste assunto.

## 4. Metodologia

Não faz mais sentido em continuar extraindo energia de fontes fósseis, haja vista a existência de uma gama de fontes alternativas e renováveis. O planeta já sofreu danos significativos e o homem será o maior prejudicado em longo prazo.

Com o intuito de produzir energia elétrica a partir da energia dos ventos, há também efeitos negativos causados por este. Mas ao se fazer uma comparação, os danos são muito inferiores e possíveis de ser amenizados.

Há a possibilidade de uma harmonia entre a localização de parques eólicos e comunidades habitacionais. Sabe-se que o nível de ruído decresce em sua intensidade com o aumento da distância da fonte de ruído. Dessa forma, basta calcular a intensidade de ruídos gerados por aerogeradores e equacionar a melhor distância entre parques e cidades.

Na tentativa de obter uma relação entre os ruídos gerados por aerogeradores e uma possível distância em que esses efeitos não têm significativa agressão ao homem, foi feito um estudo de sete turbinas eólicas (eixo horizontal operante a três pás), fabricadas pela companhia Vestas.

A fundamentação de todos os resultados foi baseada em conceitos básicos em acústica ambiental, descrita sucintamente na revisão da literatura deste trabalho monográfico.

Fazendo uso do software livre SCILAB (versão 5.3.3) e do Excel (versão 2007), foram descritos, através de gráficos, as relações entre: potência sonora emitida por um aerogerador e velocidade; ruído gerado e potência sonora; ruído e velocidade; e ruído e distância em relação ao aerogerador.

Após isto, foi feito um estudo sobre a possível implantação do aerogerador de menor produção de ruído em um hipotético parque eólico de 41,6MW de potência instalada e que este fosse suprido por uma quantidade estipulada do melhor aerogerador no litoral do Estado do Ceará. Em seguida, considerando-se as aproximações, um novo estudo foi feito com o intuito de estabelecer a melhor relação entre os ruídos gerados e a distância de comunidades próximas ao hipotético parque.

A escolha específica da localização do parque se deu pelo fato de o litoral cearense apresentar média anual de ventos próxima de 8m/s, que corresponde a um dos parâmetros a serem analisados.

Os modelos utilizados no estudo foram da categoria de grande porte e suas principais especificações, como potência de operação, altura da torre e diâmetro do rotor, está relacionada na tabela 4.1.

Tabela 4.1: Especificações gerais dos aerogeradores utilizados.

Fonte: Adaptado de Vestas.

<b>Modelo</b>	<b>Potência</b>	<b>Altura da Torre</b>	<b>Diâmetro do Rotor</b>
<b>V80</b>	2,0MW	100m	80m
<b>V90</b>	1,8/2,0MW	125m	90m
<b>V90</b>	3,0MW	105m	90m
<b>V100</b>	1,8/2,0MW	95m	100m
<b>V100</b>	2,6MW	100m	100m
<b>V112</b>	3,0MW	84m	112m
<b>V126</b>	3,0MW	119m	126m

Os dados fornecidos por Vestas correspondem aos citados a pouco e a níveis de ruídos gerados em várias velocidades de operação. Porém, para obter resultados gráficos houve a necessidade de usar a relação logarítmica entre nível de ruído e distância com o objetivo de conhecer o valor da potência sonora emitida, que varia com a velocidade de operação da turbina eólica.

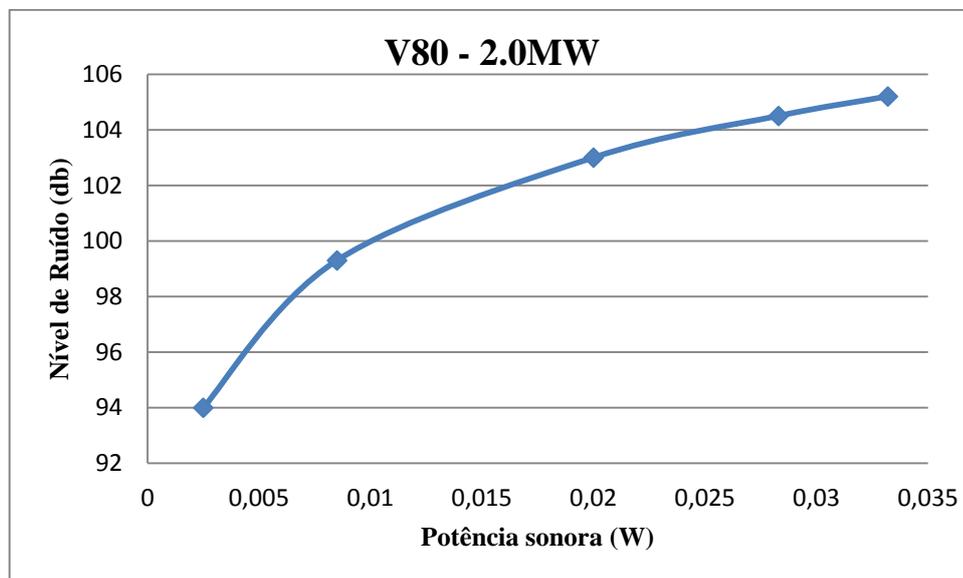
Segundo as normas da ABNT durante o dia o ruído aceitável é de 40dB e durante a noite é de 35dB em ambientes abertos. Como os aerogeradores operam durante todo o dia, para não haver riscos à saúde humana, os parâmetros estabelecidos em função da distância mínima entre o parque eólico e comunidades correspondem a ruídos de no máximo 35dB.

## 5. Resultados

O primeiro aerogerador a estudado foi o V80, de potência 2,0MW. Foi feita uma análise gráfica do nível de ruído emitido em função da potência sonora emitida (figura 5.1).

É importante ressaltar que as medições de ruídos descritas a diante são feitas a uma distância de 10m da fonte de ruído, porém as potências sonoras são calculadas usando-se fundamentos de acústica.

Figura 5.1 – Gráfico do ruído gerado versus potência sonora emitida a uma distância de 10m da fonte.



A figura 5.1 expressa que o aumento da potência sonora emitida acarreta o aumento dos ruídos gerados. É importante notar que, embora os dados numéricos sejam poucos, os ruídos gerados decrescem a taxa de seu aumento, ou seja, tendem a se tornar constantes em valores próximos a 107dB a uma distância de 10m, quando a potência sonora emitida assume valores próximos de 0,035W.

As figuras 5.2 e 5.3 expressam os ruídos em função da potência sonora emitida, de três aerogeradores dos modelos V90, porém com diferentes potências: 1,8MW; 2,0MW; e 3,0MW. Vale ressaltar que os dados de ruídos gerados fornecidos pela fabricante são idênticos entre os dois primeiros aerogeradores, então foi feito um só gráfico equivalente a estes dois.

Figura 5.2 – Gráfico do ruído gerado versus potência sonora emitida a uma distância de 10m da fonte.

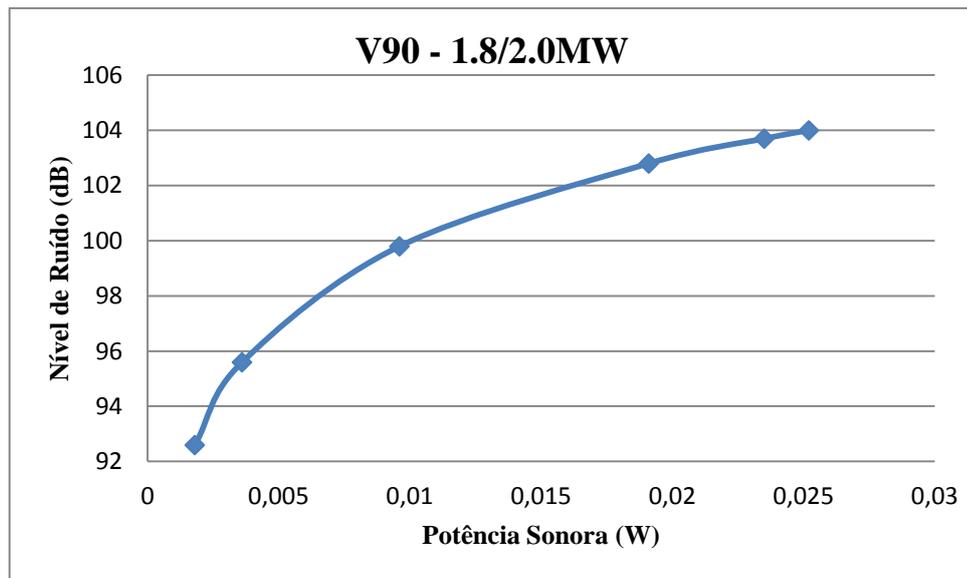
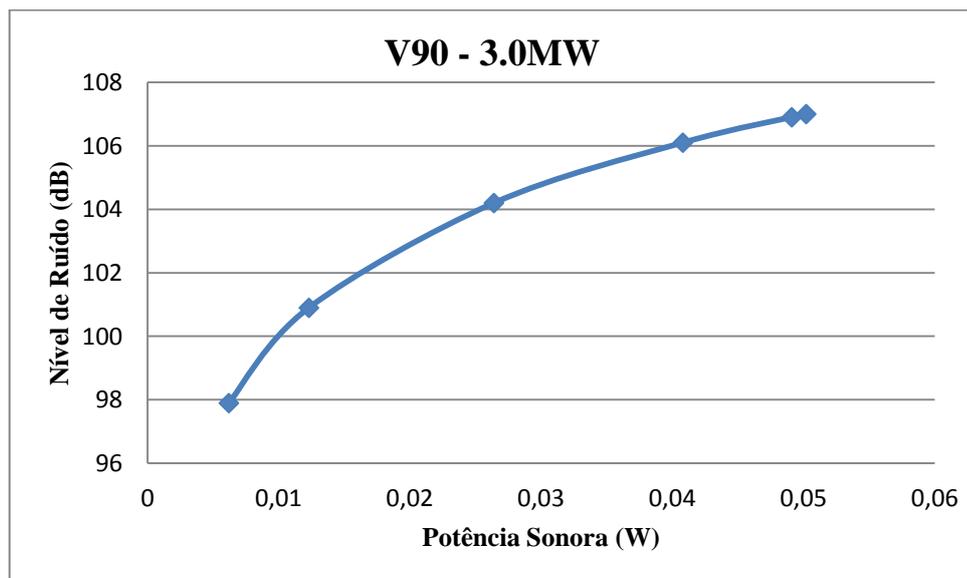


Figura 5.3 – Gráfico do ruído gerado versus potência sonora emitida a uma distância de 10m da fonte.



Observa-se que a função comportamental de ambos os gráficos dos modelos V90 são próximas, porém a potência sonora emitida pelo modelo de 3MW é muito superior, o que acarreta em maiores danos à saúde. Em contrapartida, o modelo de maior potência possui maior capacidade de obtenção de energia, chegando a possuir 1MW a mais de potência. Então, para julgar qual o melhor aerogerador a ser utilizado, os fatores determinantes serão as necessidades energéticas do parque eólico.

As figuras 5.4 e 5.5 expressam os gráficos das funções comportamentais sob mesmas variáveis mencionadas nas figuras anteriores, mas dos modelos V100, com potências totais de

1,8 MW, 2,0MW e 2,6MW. Ressalta-se que os dados fornecidos pela Vestas são coincidentes para os dois primeiros aerogeradores, dessa forma há a necessidade do uso de apenas dois gráficos.

Figura 5.4 – Gráfico do ruído gerado versus potência sonora emitida a uma distância de 10m da fonte.

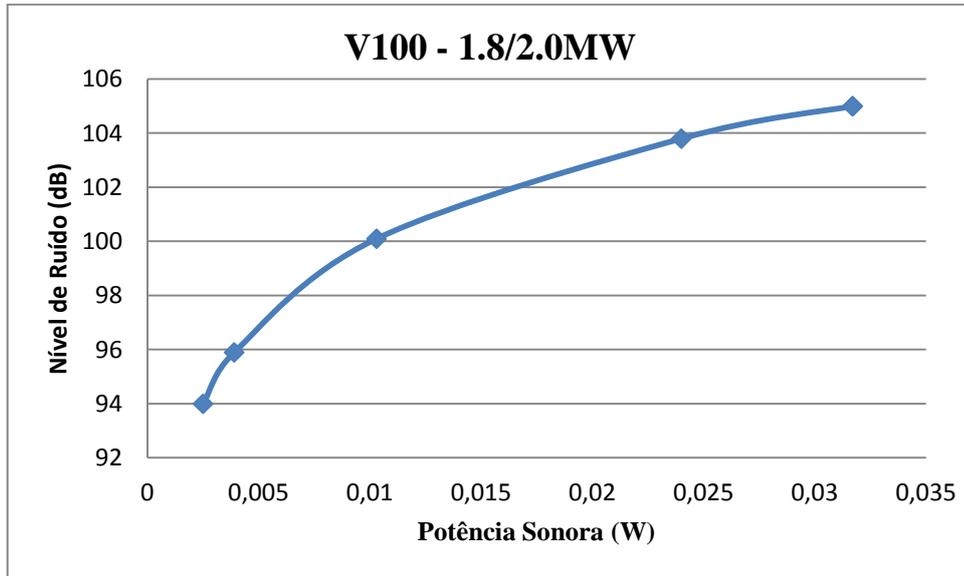
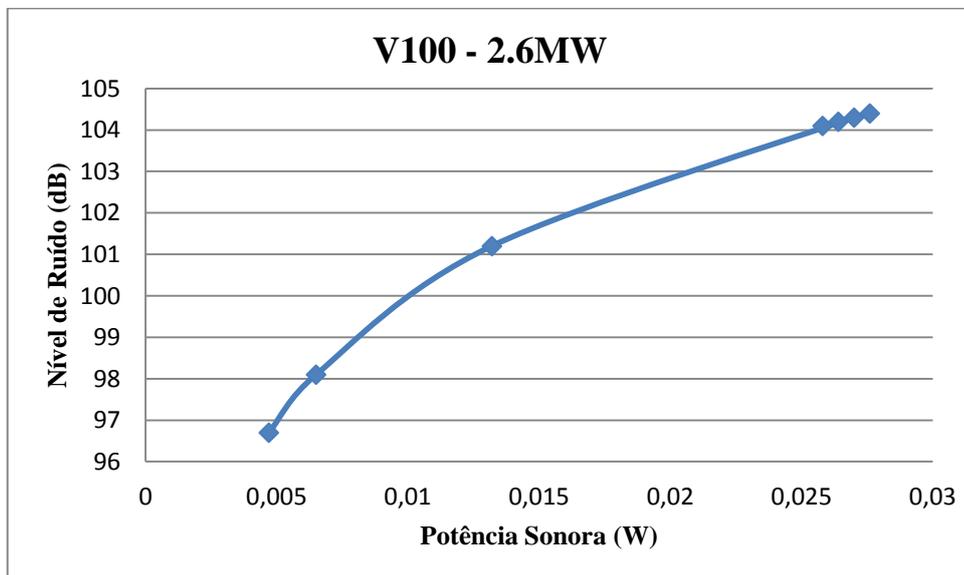


Figura 5.5 – Gráfico do ruído gerado versus potência sonora emitida a uma distância de 10m da fonte.

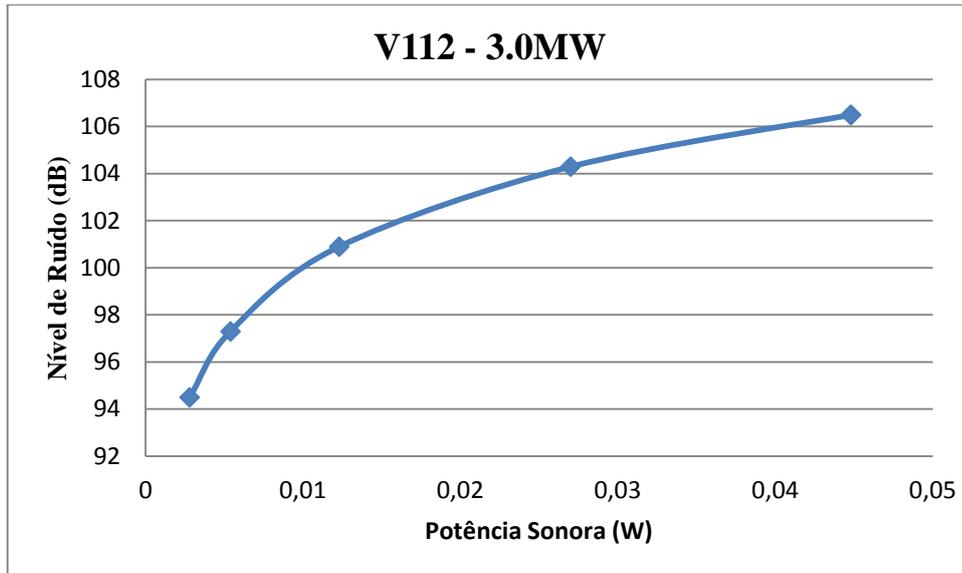


Nota-se claramente nos gráficos acima que o aerogerador de potência total de 2,6MW opera emitindo menor potência sonora que os aerogeradores de menor potência instalada do mesmo modelo. A razão de esse efeito paradoxal ser discrepante em relação aos gráficos do modelo V90 pode ser a diferença entre as aerodinâmicas de rotação das pás ou alguma

diferença em sua fabricação. Dessa forma, observa-se que o terceiro aerogerador produz maior quantidade de energia e emite menor quantidade de ruídos, passando a ser, entre os três, a melhor opção de qual modelo um parque deve adotar.

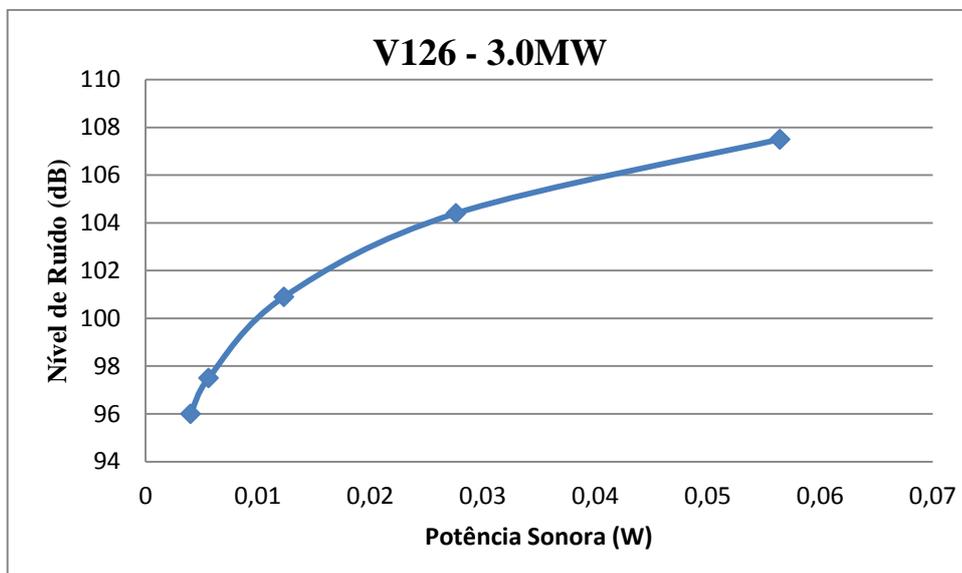
As figuras 5.6 e 5.7, respectivamente, referem-se aos dois aerogeradores restantes correspondentes aos modelos V112 e V126, com potência total instalada de 3,0MW cada.

Figura 5.6 – Gráfico do ruído gerado versus potência sonora emitida a uma distância de 10m da fonte.



Verifica-se, no gráfico acima, que a emissão de ruídos se dá de forma acentuada quando a potência sonora emitida atinge seu ápice, 0,04W e 0,05W.

Figura 5.7 – Gráfico do ruído gerado versus potência sonora emitida a uma distância de 10m da fonte.



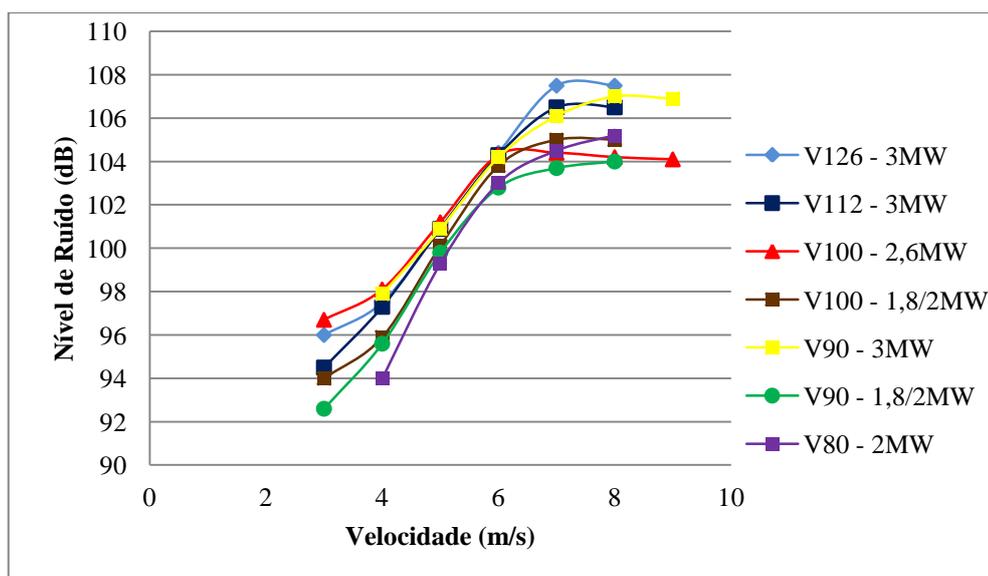
O aerogerador da figura 5.7 possui alta capacidade de obtenção de energia, porém a emissão de ruídos é acentuada, tendendo a valores constantes com o aumento da potência sonora emitida, como observado.

Embora os aerogeradores estudados nas figuras 5.6 e 5.7 possuam a mesma potência total, a potência sonora emitida e os consequentes ruídos gerados são diferentes. O modelo V126 operando a velocidade de 8m/s chega a emitir 107,5dB, enquanto que, sob as mesmas condições, o modelo V112 emite um decibel a menos. Conclui-se que a turbina eólica do modelo V112 causa menor dano ao ambiente e a produção de energia se dá de forma equivalente.

A operação dos aerogeradores se dá de forma variada de acordo com as velocidades dos ventos incidentes. Dessa forma, a variância da potência sonora emitida também se dá em função dessas velocidades. Sabendo disso, é importante conhecer a relação direta entre essas duas grandezas.

A figura 5.8 mostra a relação descrita acima, expressando a potência sonora emitida em função das velocidades dos ventos. A função de cada aerogerador está representada com o objetivo de se fazer uma comparação comportamental entre os mesmos. É importante notar que a possibilidade dessa comparação só se deu porque todas as turbinas têm um padrão semelhante de regime de velocidade dos ventos. Portanto a comparação feita em cada um dos aerogeradores se deu sob a mesma velocidade de operação.

Figura 5.8 – Gráfico do nível de ruído em função da velocidade a uma distância de 10m da fonte.



A partir da comparação gráfica feita acima é possível determinar o aerogerador de melhor operação em relação a ruído e velocidade. Observa-se claramente que o aerogerador de significativa produção de ruídos em relação aos demais é o modelo V126 (potência de 3MW), em que sob velocidade de 8m/s, sua emissão sonora chega próxima dos 108dB a uma distância de 10m de sua estrutura.

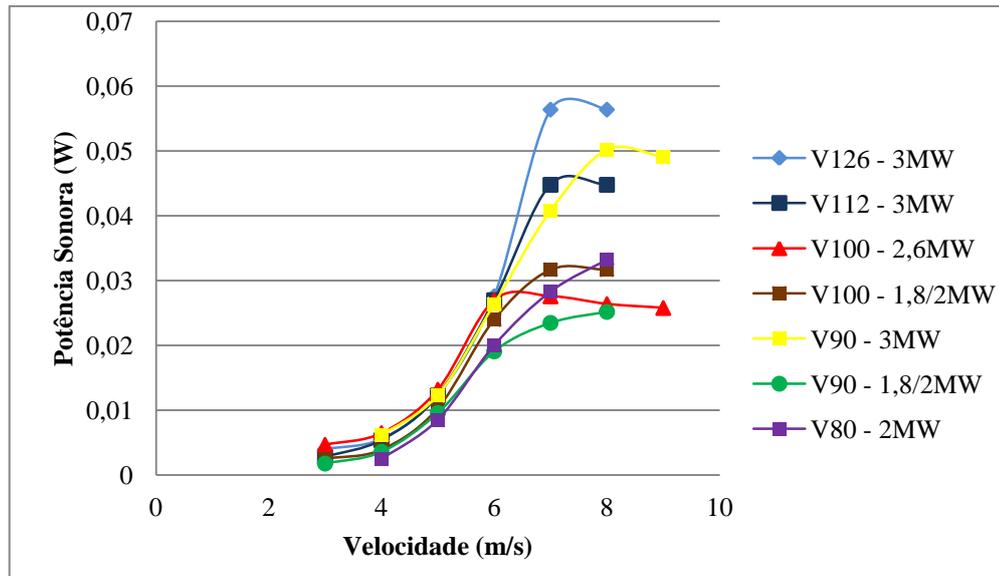
Ainda analisando a figura 5.8, o aerogerador de melhor desempenho é o modelo V100 (potência de 2,6MW), porque apresenta a melhor relação potência-ruído-velocidade. Observa-se que os ruídos gerados são acentuados a baixas velocidades, porém a partir da velocidade de 6m/s seu ruído decresce, chegando a ter uma produção sonora semelhante as dos aerogeradores de menores emissões, os modelos V90 (potências de 1,8/2,0MW). Ao se fazer uma comparação mais apurada, o modelo V100 citado apresenta um acréscimo de apenas 0,2dB em relação ao V90 sob velocidade de 8m/s. Quando a velocidade chega a 9m/s, essa diferença cai ainda mais. Além disso, o que torna esse modelo mais viável é que sua produção de energia é de 0,6MW a mais que o V90.

Os modelos V90 (3,0MW) e V126 (3,0MW) apresentam, segundo o gráfico acima, o pior desempenho em relação aos demais. Isso se dá porque tanto a baixas velocidades quanto a altas, os ruídos gerados são exacerbados. Apesar da sua produção de energia ser maior que de alguns modelos de menor potência, o modelo V112 apresenta mesma capacidade de obtenção de energia, porém a emissão de seus ruídos se dá de forma mais suave. Portanto, entre os de categoria 3,0MW, o V112 é a melhor opção.

Analisando os aerogeradores V100 (1,8/2,0MW), conclui-se que seus comportamentos se dão de forma mediana, não chegando a emissões máximas e nem mínimas de ruído. Já o modelo V80 (2,0MW) apresenta baixos níveis de ruídos a baixas velocidades, porém com o aumento da velocidade de operação, eles crescem abruptamente, passando a superar o nível sonoro de muitos aerogeradores. Além disso, sua capacidade de obtenção de energia é uma das menores. Assim sendo esses modelos não têm muita competitividade em relação aos citados outrora sob o mesmo aspecto operacional.

Mudando um pouco o ponto de vista, a figura 5.9 mostra a relação entre a potência sonora emitida e a velocidade de operação.

Figura 5.9 – Gráfico da potência sonora emitida em função da velocidade de operação.

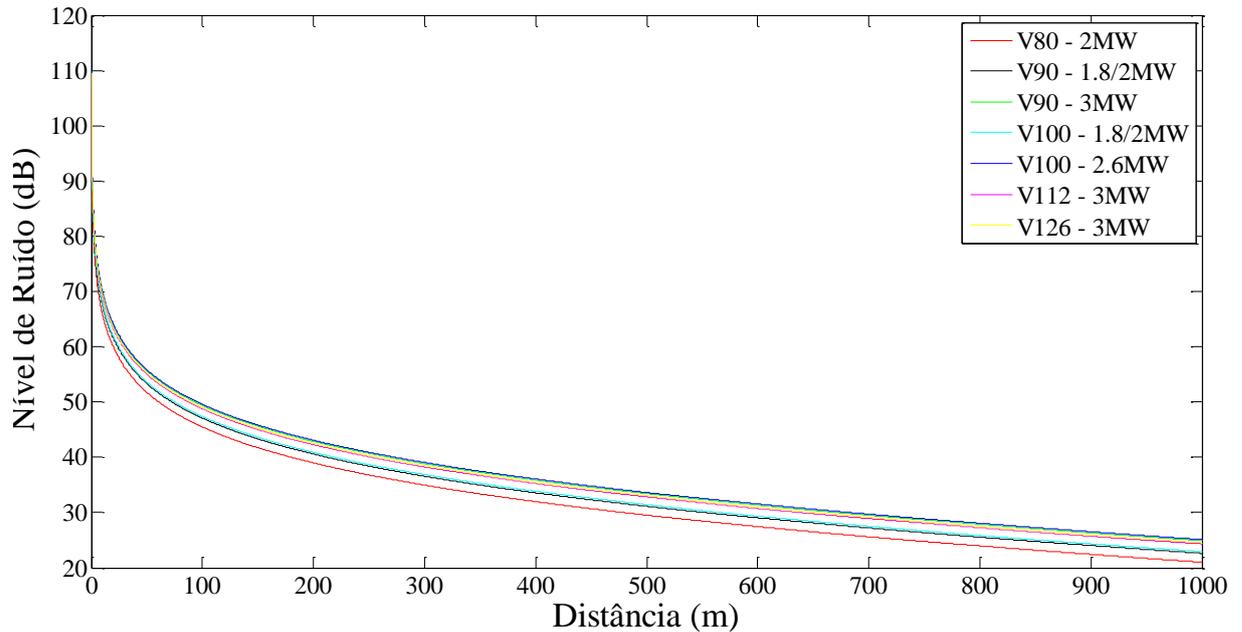


O comportamento do gráfico da figura 5.9 se dá de forma similar ao gráfico da figura 5.8 porque a potência sonora emitida é proporcional ao ruído produzido. A aparente discrepância se dá pela menor escala gráfica da potência sonora em relação ao ruído. Nota-se que sob funcionamento a baixas velocidades, as potências sonoras emitidas são praticamente as mesmas em todos os modelos. Porém o aumento da velocidade acarreta em uma discrepância abrupta entre esses valores.

É observado no gráfico acima que o modelo V100 apresenta o melhor desempenho, pois possui uma significativa redução da potência sonora a partir de 6m/s. Os modelos V90 (1,8/2MW) apresentam a menor potência sonora emitida e o modelo V126 é responsável pela maior potência sonora em relação aos demais sob as mesmas condições de ventos.

A seguir, far-se-á o estudo da relação entre o ruído gerado pelos aerogeradores a cada regime de velocidade de operação em relação à distância. Realizou-se o estudo com cinco parâmetros correspondentes às velocidades 4, 5, 6, 7 e 8m/s, onde é representada a função comportamental de todos os aerogeradores analisados.

Figura 5.10 – Gráfico do nível de ruído em relação à distância de todos os aerogeradores à velocidade de 4m/s.



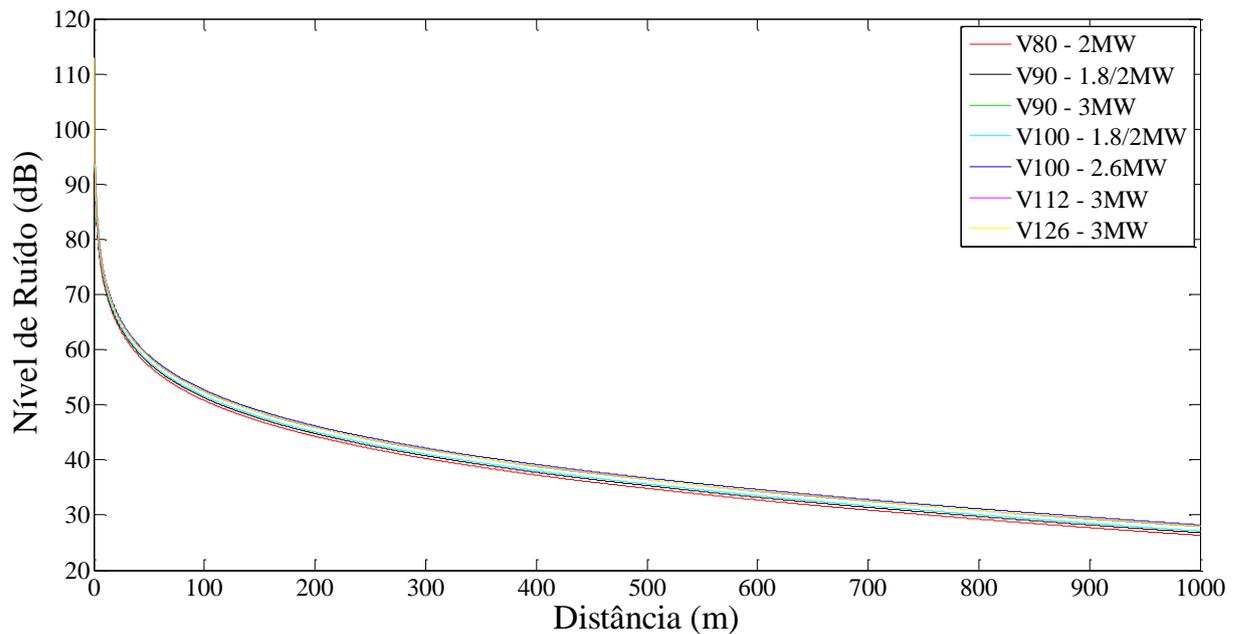
No primeiro parâmetro, correspondente a velocidade de operação de 4m/s, é notório que os ruídos gerados por cada um dos aerogeradores é bastante acentuado. Porém, aquele que corresponde ao menor ruído gerado em função da distância é o modelo V80, como observado na figura 5.10.

Analisando o gráfico acima, percebe-se que a distância mínima entre comunidades populacionais em relação ao aerogerador mais silencioso deve ser próxima de 300m, onde o ruído gerado é aproximadamente 35dB (nível não agressivo ao homem de acordo com a ABNT).

Ao analisar o modelo de maior emissão sonora, essa distância deveria ser em torno de 450m para que o nível sonoro chegasse a aproximadamente a faixa de ruído mencionada outrora, como ilustrado na figura anterior.

Dessa forma, conclui-se então que o modelo V80 seria a melhor opção de adoção por parques cujas velocidades de ventos sejam em média iguais a 4m/s.

Figura 5.11 – Gráfico do nível de ruído em relação à distância de todos os aerogeradores à velocidade de 5m/s.



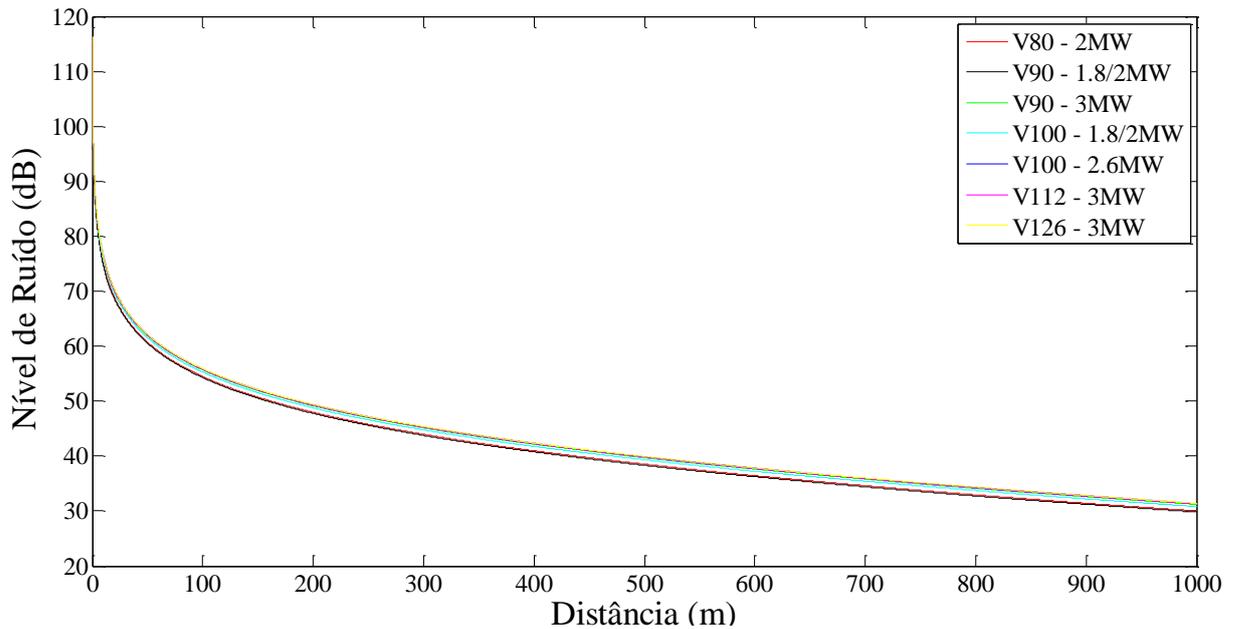
A figura acima mostra a mesma análise comportamental feita anteriormente, porém o parâmetro seguido por esta é com ventos de velocidades de 5m/s em média.

Observa-se claramente que o modelo V80 ainda continua sendo a turbina de menor emissão sonora, portanto a melhor opção de um parque eólico, mas o que veio atrelado ao aumento da velocidade foi o aumento da distância. Para que os ruídos sejam suportáveis, a distância entre a população e este modelo deve ser em torno de 500m.

A diferença em relação ao parâmetro da figura 5.10 é que houve uma mudança em relação ao modelo de maior emissão, observando-se que agora este se trata do V126. A distância também foi aumentada, passando a ser em torno de 600m.

A figura 5.12 mostra o novo comportamento da função já trabalhada, contudo para ventos de 6m/s.

Figura 5.12 – Gráfico do nível de ruído em relação à distância de cada aerogerador à velocidade de 6m/s.

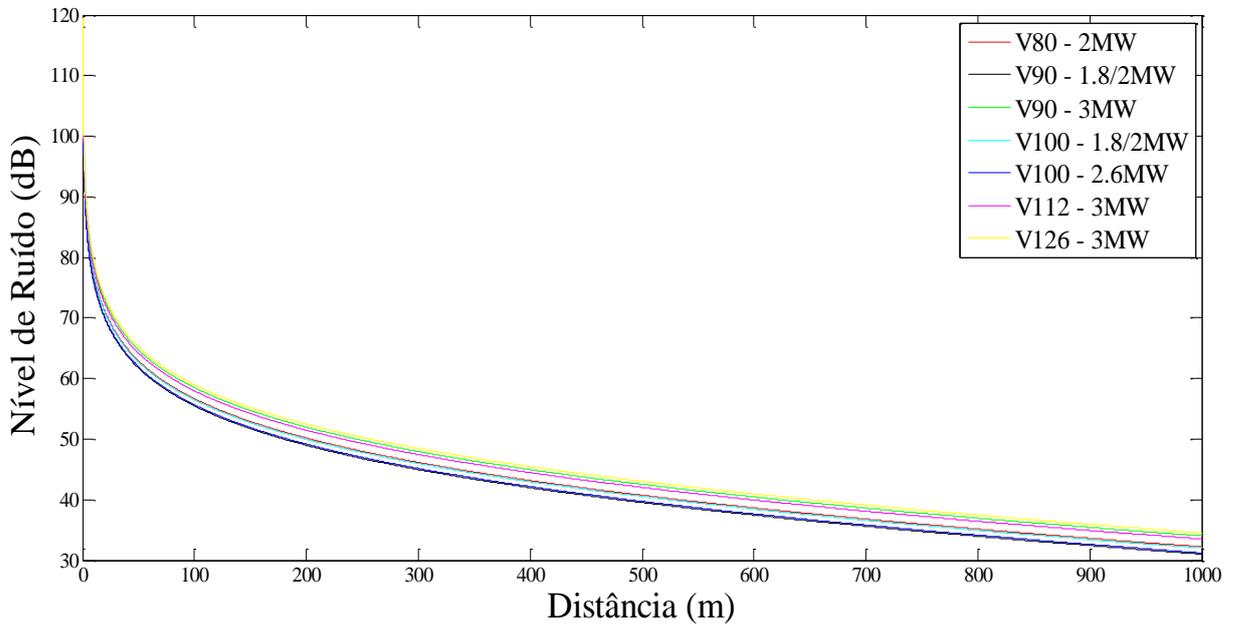


Observa-se na figura 5.12 que o modelo de maior emissão de ruídos continua sendo o V126, seguido do modelo V112. O aumento da emissão novamente acarretará na alteração da distância, que, segundo o gráfico, passa a ser próxima de 750m para o V126.

Nota-se claramente que houve uma mudança do gráfico analisado em relação ao da figura 5.11, o qual as turbinas de modelo V90 (1,8/2MW) é que passam a emitir a menor intensidade de ruído e que a distância mínima segura passa a ser de aproximadamente 660m. Dessa forma, conclui-se que para parques eólicos operantes a velocidades de 6m/s, as melhores escolhas estão sendo os modelos V90 (1,8/2MW).

Para regime de velocidades de 7m/s, a figura 5.13 ilustra o comportamento dos aerogeradores estudados.

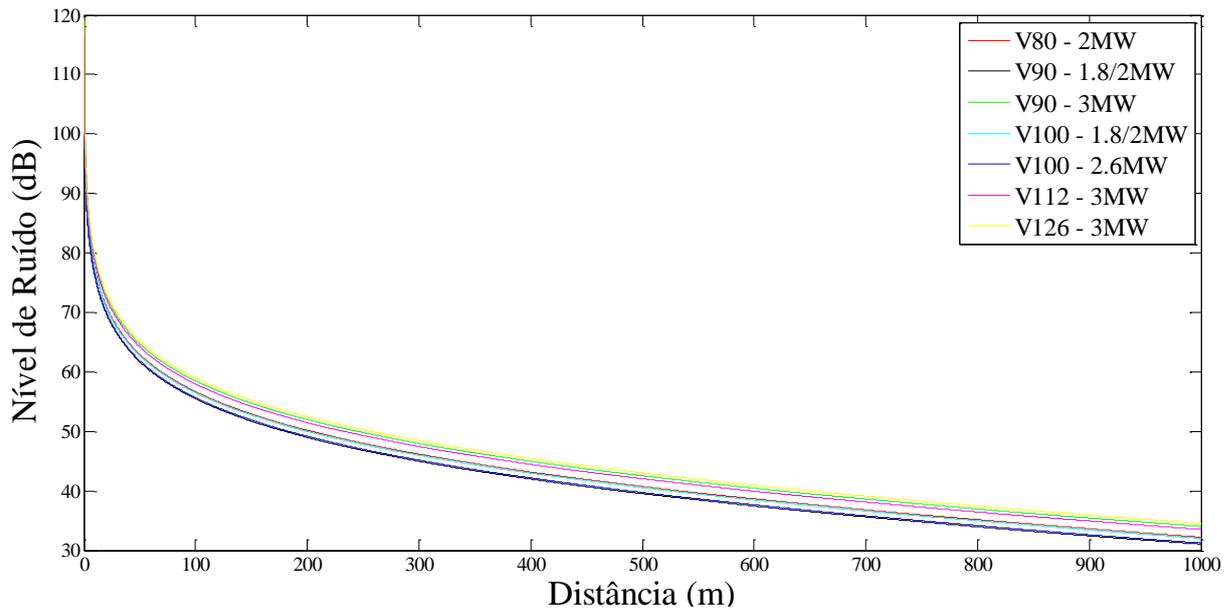
Figura 5.13 – Gráfico do nível de ruído em relação à distância de cada aerogerador à velocidade de 7m/s.



De acordo com a figura 5.13 é notório que não houve mudança na ordem de emissão dos modelos de maior e menor ruído produzido. Portanto o modelo V126 continua a emitir maior intensidade de ruídos e os modelos V90 (1,8/2MW), a menor. As novas distâncias mínimas para os dois modelos citados são, respectivamente, em torno de 970m e 700m.

A Figura 5.14, a seguir, mostra o ultimo estudo feito do comportamento dos aerogeradores com operação a ventos médios de 8m/s.

Figura 5.14 – Gráfico do nível de ruído em relação à distância de cada aerogerador à velocidade de 8m/s.



Observa-se no gráfico acima que o aerogerador do modelo V100 (2,6MW) possui uma curva comportamental muito próxima dos modelos V90 (1,8/2MW), correspondente as menores emissões de ruídos.

Haja vista a similaridade de ruídos entre os dois, a melhor escolha que um parque eólico operante a ventos de 8m/s deve tomar é o modelo V100 (2,6MW). Isso se dá porque esse modelo possui a melhor relação ruído-potência, possuindo 0,6MW a mais de potência total instalada e apenas 0,2dB a mais na emissão de ruídos.

Já para os modelos de 3MW de potência, a emissão de ruídos se dá de forma acentuada. A distância mínima segura para a turbina V126 chega a aproximadamente 970m, enquanto que essa está em torno de 720m para os modelos V90 (1,8/2MW) e V100 (2,6MW), respectivamente.

Percebe-se que o modelo V126 não apresentou alteração de níveis de ruídos em relação aos parâmetros de velocidade de 7m/s e 8m/s, ilustrados nas figuras 5.13 e 5.14. Isso se deve ao fato da função logarítmica entre nível sonoro e distância tender a ser constante para velocidades superiores a 7m/s para o modelo V126.

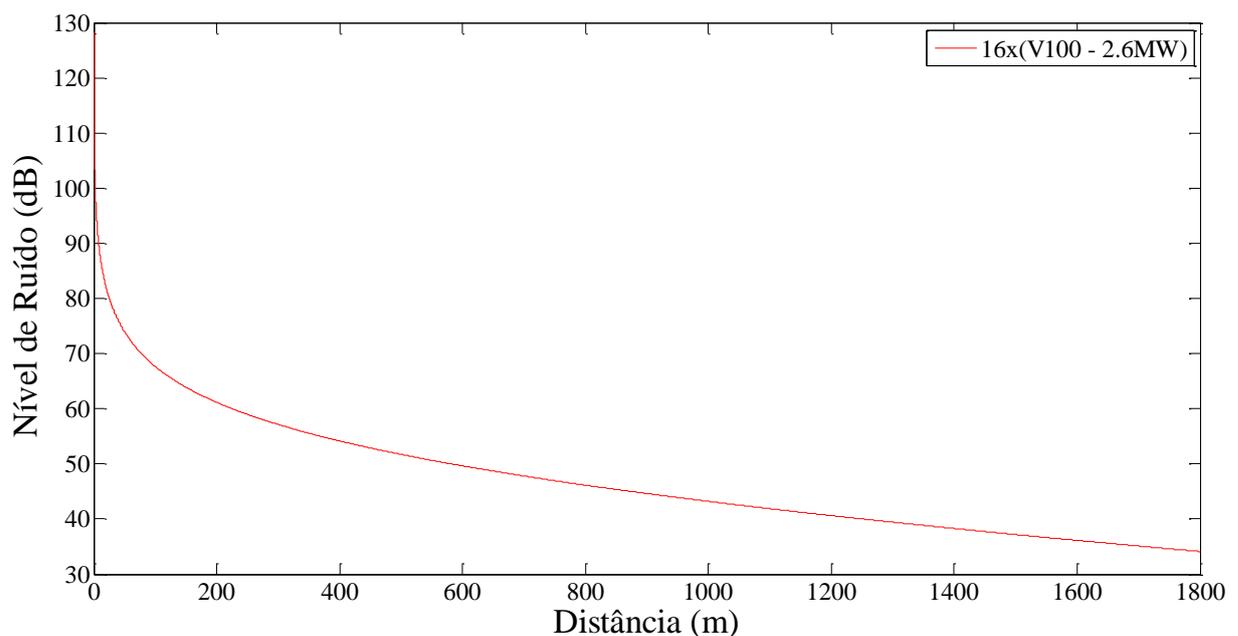
Após ter sido feito toda uma análise a respeito dos aerogeradores de grande porte fabricados pela Companhia Vestas faz-se necessário a implementação do aerogerador escolhido em um parque eólico hipotético. Como mencionado no início deste capítulo, o parque eólico estipulado possui potência total instalada de 41,6MW e para supri-lo são necessários 16 unidades do modelo V100 (2,6MW).

Ao se usar 16 unidades do aerogerador indicado, a potência sonora emitida será multiplicada por 16 e isso fará com que os efeitos sonoros sofram modificações devido a relação logarítmica entre nível de intensidade sonora e potência sonora emitida. Usando a função logarítmica mencionada, a emissão sonora à 10m da fonte de ruído passará de 104,2dB para 116,2dB.

Sabendo que a hipotética Central Eólica opera a velocidade anual média de ventos de 8m/s, não é necessário o estudo gráfico para outros regimes de ventos e nem o estudo de outros aerogeradores. Dessa forma, uma nova análise gráfica será feita com o intuito de obter a melhor relação ruído-distância para que não haja prejuízos à saúde humana.

A seguir tem-se, na figura 5.15, o gráfico do ruído gerado pela hipotética usina eólica usando 16 unidades do modelo V100 (2,6MW) em função da distância entre o parque e comunidades.

Figura 5.15 – Gráfico do nível de ruído em relação à distância do aerogerador à velocidade de 8m/s.



Através do gráfico acima é possível concluir que a distância mínima entre a fonte emissora de ruídos e comunidades deve ser de no mínimo 1700m para que a intensidade sonora seja de aproximadamente 35dB.

A distância obtida anteriormente aparenta ser de grande escala, mas é importante notar que a essa distância, o homem não sofrerá nenhum risco à saúde, pois um nível sonoro de 35dB é o mesmo produzido por um ambiente dormitório. Tanto durante o dia, quanto durante

a noite, os ruídos produzidos pelo hipotético parque eólico serão totalmente mascarados por sons dos ventos.

Os aspectos financeiros da instalação da possível turbina não foram descritos por que não faz parte do principal objeto de estudo deste trabalho monográfico, ou seja, apenas os efeitos relacionados aos impactos por ruídos e estruturas aerogeradores, descritos sucintamente em capítulos anteriores.

## 6. Conclusão

Uma avaliação precisa no que diz respeito ao ruído produzido no aproveitamento da energia eólica nem sempre se dá de forma eficiente porque as interações entre o ruído produzido e o ruído ambiente tornam os resultados discrepantes.

A partir dos resultados mostrados conclui-se que dentre os aerogeradores estudados o mais viável é o modelo V100 (2,6MW), pois apresentou a melhor relação gráfica entre níveis de ruído gerados e a distância entre o parque eólico hipotético e comunidades habitacionais sob o parâmetro de regime de ventos a velocidade de 8m/s. Por outro lado, o menos viável foi o modelo V126 (3MW), que apesar de possuir alta capacidade de obtenção de energia apresentou uma emissão de ruídos muito superior em relação aos demais aerogeradores.

É importante notar que com base nas análises feitas o homem não sofrerá qualquer tipo de agressão quanto ao ruído produzido pelo parque eólico se obedecida a distância mínima calculada. Já em relação aos animais (exceto homem), ao solo e à flora a agressão se dá de forma mais acentuada, como descrita em capítulos passados.

O amadurecimento tecnológico acarreta o aumento das dimensões de estruturas de aerogeradores e atrelado a isso altera as variáveis das componentes dos ruídos. Dessa forma um estudo mais aprimorado se dá apenas depois de sua implantação e operação.

Em suma, apesar de serem poucos os hipotéticos aerogeradores no estudo de caso da central eólica, os efeitos sonoros produzidos podem acarretar, quando não estudados, em problemas sérios à saúde humana. Dessa forma, há sempre a possibilidade de o homem extrair os recursos da natureza sem que ambas as partes sofram significativamente com o processo.

## 7. Referências

- AHLÉN, I. **Wind Turbines and Bats** – a pilot study, 2003.
- ALBERTS, D.J. **Primer for Addressing Wind Turbine Noise**. Revised Oct, 2006.
- AMARANTE, O.A.C. et al. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília, 2001.
- ANTUNES, M.L. **Exposição ao Ruído de Baixas Frequências em Meio Ocupacional vs Repercussões na Qualidade do sono**, 2009.
- ARNETT, E. B. et al. Effectiveness of Changing Wind Turbine Cut-in Speed to Reduce Bat Fatalities at Wind Facilities. *Bat Conservation International*, **Austin**, 44p., (2009).
- AUBREY, C. et al. Global Wind Energy Outlook 2006, **Global Wind Energy Council /Greenpeace International**, 57pp, (2006).
- BAERWALD, E.F. et al. Barotrauma is a Significant Cause of Bat Fatalities at Wind Turbines. **Current Biology**, v.18, n.16, p.695-686, 2008.
- BARCLAY, R.M.; BAERWALD, E.F.; GRUVER, J.C. Variation in Bat and Bird Fatalities at Wind Energy Facilities: Assessing the Effects of Rotor Size and Tower Height. **Canadian Journal of Zoology**, v. 85, p. 381-387, 2007.
- BATMANABANE, G.; RAMACHANDRAN, A. Effect of Acute Exposure to Loud Occupational Noise During Daytime on the Nocturnal Sleep Architecture, Heart Rate, and Cortisol Secretion in Healthy Volunteers. **Journal of Occupational Health**, 2003.
- BERG, F.V. Why is Wind Turbine Noise Noisier than Other Noise? **Euronoise**, Edimburgo, Escócia, 2009.
- BROOKS; THOMAS, F.; POPE, D.S.; MARCOLINI, M.A. **Airfoil Self-noise and Prediction**. NASA, 1989.
- BURTON, T.; SHARPE, D.; JENKINS, N.; BOSSANYI, E. **Wind Energy: Handbook**, 2001.
- CALIXTO, A. **O Ruído Gerado pelo Tráfego de Veículos em “Rodovias Grandes e Avenidas” Situadas dentro do Perímetro Urbano de Curitiba, Analisado sob Parâmetros Acústicos Objetivos e seu Impacto Ambiental**. Dissertação de Mestrado da UFPR, Curitiba, 2002.
- CAMARGO, A.S.G. **Análise da Operação das Usinas Eólicas de Camelinho e Palmas e Avaliação do Potencial Eólico de Localidades no Paraná**. Dissertação de Mestrado – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2005.
- CAMPOS, F.G.R. **Geração de Energia a Partir de Fonte Eólica com Gerador Assíncrono Conectado a Conversor Estático Duplo**, 2004.

CARVALHO, A. **Acústica Ambiental e de Edifícios**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.

CASTRO, R. M. G. **Controlo de Aerogeradores para Produção Descentralizada**. Instituto Superior de Tecnologia, 2005.

CASTRO, R.M.G. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada**. Instituto Superior de Tecnologia, 2007.

Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transportes e do Ambiente: **Tecnologias de Micro-geração e Sistemas Periféricos**, 2001

COELHO, C.I.A. **Avaliação dos Impactes Ambientais dos Parques Eólicos em Áreas Protegidas: O Caso de Estudo do Parque Natural das Serras de Aire e Candeeiros**. Dissertação de Mestrado – Universidade de Lisboa, 2007.

COLBY, W.D. et al. **Wind Turbine Sound and Health Effects: An Expert Panel Review**, 2009.

Danish Wind Industry Association. **Guided Tour on Wind Energy**. 1997-2003.  
Disponível em: <http://www.nordex-online.com>

DOOLING, R. Avian Hearing and the Avoidance of Wind Turbines. **National Renewable Energy Laboratory**, 17pp, 2002.

DOS REIS, L.B. **Geração De Energia Elétrica**. Editora Manole, São Paulo, 2003

Energy Commission. **Statewide Guidelines for Reducing Impacts to Birds and Bats from Wind Energy Development**. California Department of Fish and Game, 2006.

Erickson, et al. **Summary of Anthropogenic Causes of Bird Mortality**, 2002.

FIORINI, A.C. Ruído, Comunicação e Outras Alterações. **Saúde Ocupacional e Segurança**, São Paulo, volume único, n.jan/dez, pp. 49-58, 1991.

FUGLSANG, P.; MADSEN, H.A. **Optimization Method for Wind Turbine Rotors**, 1998.

GASCH, R; TWELE, J. **Wind Power Plants: Fundamentals, Design, Construction and Operation**. Solarpraxis AG, Alemanha, 2002.

GERGES, S.N.Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**, 1ª edição, Florianópolis, 1992.

GRAY, T. "State of the Wind Energy Industry in 2004" in Proceedings of the Wind Energy and Birds/Bats Workshop: Understanding and Resolving Bird and Bat Impacts. Washington DC., **RESOLVE Inc.**, May 18-19/2004, pp. 6-7, 2004.

GRIEFAHN B. Noise Control During the Night. **Acoustic Austral**, p. 43-47, 1992.

GROGG, K. **Harvesting the Wind: The Physics of Wind Turbines**. Physics and Astronomy Department, Carleton College, 2005.

HAILES, D. **Practical Challenges of Building Mounted Wind Turbines**. Warwick Wind Trials Open Days, Warwick District Council, 2008.

HARRISON, J.P. **Wind Turbine Noise**. Bulletin of Science, Technology & Society, 2011.

HOLTON, J. An Introduction to Dynamic Meteorology. 3<sup>a</sup> edition, **Academic Press**, San Diego, 1992.

HORN, J.; ARNETT, E.B.; KUNZ, T.H. Behavioral Responses of Bats to Operating Wind Turbines. **Journal of Wildlife Management**, v. 72, n. 1, pp. 123–132, (2008).

HOTKER, H. et al. **Impacts on Biodiversity of Exploitation of Renewable Energy Sources: The Example of Birds and Bats: Facts, Gaps in Knowledge, Demands for Further Research, and Ornithological Guidelines for the Development of Renewable Energy Exploitation**. Bergenhusen, Michael-Otto-Institut in NABU, pp.65, 2006.

[http://www.casadosmorcegos.org/casadosmorcegos/Sentidos\\_pt.html](http://www.casadosmorcegos.org/casadosmorcegos/Sentidos_pt.html)  
Acesso em 5 Nov. 2012.

[http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/2478/pesquisa\\_cientifica\\_alerta\\_sobre\\_importancia\\_dos\\_morcegos\\_no\\_meio\\_ambiente/](http://www.ciclovivo.com.br/noticia.php/2478/pesquisa_cientifica_alerta_sobre_importancia_dos_morcegos_no_meio_ambiente/)  
Acesso em 5 Nov 2012.

HUBBERT, M.K. The energy resources of the Earth. **Scientific American**, 225, pp. 60-70, 1971.

HUSKEY, A.; MEADORS, M. **Acoustic Noise Test Report for Bergey Excel Wind Turbine**. National Renewable Energy Laboratory e National Wind Technology Center, Junho de 2003.

JASEN, W.A.M.; SMULDERS, P.T. **Rotor design for horizontal axis windmills**. S.W.D, Netherlads, 1977.

KINGSLEY, A.; WHITTAM, B. Wind Turbines and Birds: A Background Review, Quebec, **Environment Canada / Canadian Wildlife Service**, pp. 81, 2005.

KINSLER, L.E.; FREY, A.R.; COPPENS, A.B.; SANDERS, J.V. **Fundamentals of Acoustic**, 3<sup>a</sup> edition, USA, 1982.

LEMOS, D.F.A. **Análise de Projeto de Turbina Eólica de Grande Porte para as Condições Climáticas da Região do Nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado – PROTEN, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2005.

LEVANTHALL, G., **Infrasound from Wind Turbines: Fact, Fiction or Deception**. Canadian Acoustics, Vol. 34 N°2, 29-36, 2006.

LONG, C.V. et al. **Wind Turbines and Bat Mortality: Interactions of Bat Echolocation Pulses with Moving Turbine Rotor Blades**. Proceedings of the Institute of Acoustics, v. 31, p. 185-192, 2009.

LUTGENS, F.K.; TARBUCK, E.J. **The Atmosphere: An Introduction to Meteorology**. 6<sup>a</sup> edition, Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1995.

MAGALHAES, M.R. **A Arquitectura Paisagista: Morfologia e Complexidade**. Lisboa, Editorial Estampa, pp. 525, (2001).

MAIA, D.S.N. **Ruído de Parques Eólicos: Análise e Caracterização**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, 2010.

MARQUES, J. **Turbinas Eólicas: Modelo, Análise e Controle do Gerador de Indução com Dupla Alimentação**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

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, (2007).

MELO, G.M. **Um Estudo da Viabilidade de Pequenos Aero geradores na Produção de Energia Elétrica**. Programa de Pós-Graduação – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

MORRISON, M. **Bird Movements and Behaviours in the Gulf Coast Region: Relation to Potential Wind Energy Developments**. National Renewable Energy Laboratory, 2006.

National Academy of Sciences. **National Research Council Wind Report**, 2007.

PEDERSEN, E.; WAYE, K.P. **Perception and Annoyance of Wind Turbine Noise in a Flat Landscape**. The 2002 International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, 19 a 31 de Agosto, 2002, Dearborn, MI, Estados Unidos da América.

POMILIO, J.A. **Qualidade da Energia Elétrica e Eletrônica de Potência**. Universidade de Campinas, 2002..

REY, R.R.R. **Gestão do Desenvolvimento Sustentável dos Parques Eólicos Brasileiros: Estudo de Caso do Estado do Ceará**. Dissertação de Mestrado – Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2006.

REY, R.R.R.; DE OLIVEIRA, F.C. **Estudo de Fatores Meio Ambientais: Estudo de Caso na Usina da Taíba**, 2005.

ROGERS, A.L.; MANWELL, J.F.; WRIGHT, M.S.S. **Wind Turbine Acoustic Noise**. Renewable Energy Research Laboratory, Department of Mechanical and Industrial Engineering University of Massachusetts at Amherst, Amherst, 2006.

ROSENBLOOM, E. **A Problem With Wind Power**, 2006.

ROSSING, T.D. **The Science of Sound**. 2ª edition, USA, 1990.

SAHIN, A.D. **Progress and Recent Trends in Wind Energy**. Department of Meteorology, Istanbul Technical University, Turkey, 2004.

SANTOS, A. S. **Projeto de Geração de Energia Eólica**. Universidade Santa Cecília, 2006.

SCHULTZ, T.J. **Community Noise Rating**. 2ª edition, Londres / Nova Iorque, 1972.

SOUTH, P.; MITCHELL, R.; Jacobs, E. **Strategies for the Evaluation of Advanced Wind Energy Concepts**. Solar Energy Research Institute, Golden, CO, USA, 1983.

SOVERNIGO, M.H. **Impacto dos Aerogeradores Sobre a Avifauna e Quiropteroфаuna no Brasil**. Departamento de Ecologia e Zoologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

The National Academy of Sciences. **Environmental Impacts of Wind-Energy Projects**. USA, 2007.

THELANDER, C. "Bird Fatalities in the Altamont Pass Wind resource Area: A case study, Part I" in Proceedings of the Wind Energy and Birds/Bats Workshop: Understanding and Resolving Bird and Bat Impacts, Washington DC., **RESOLVE Inc.**, May 18-19/2004, pp. 25-27, (2004).

TUPI, B.S. **Wind Energy Is Not The Answer**, 2010.

VOOREN, C.M.; BRUSQUE, L.F. **As Aves do Ambiente Costeiro do Brasil: Biodiversidade e Conservação**. Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 1999.

WEST, J.B.; WATSON, R.R.; FU, Z. **Major Differences in the Pulmonary Circulation Between Birds and Mammals**. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, v. 157, 2007.