

Atenuação natural dos níveis de ruído oriundos de aerogeradores de energia elétrica

Glícia Pinto Barra Reinaldo

Eng. Agrícola e Ambiental. Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho. UFERSA. E-mail: gliciapinto@gmail.com

ENVIO EM: Setembro de 2013

ACEITE EM: Outubro de 2013

Resumo: O presente trabalho buscou analisar os níveis de ruído provenientes de aerogeradores utilizados para a produção de energia elétrica, avaliando o seu potencial de poluição sonora e os prejuízos causados aos seres humanos. A pesquisa foi realizada no Parque Eólico Mel 2, localizado na praia de Cristovão. Foram realizadas seis medições de ruídos em dois aerogeradores variando as distâncias das medições. As medições nos aerogeradores, localizados um na extremidade do parque e o outro localizado no centro do parque, foram feitas utilizando um dosímetro de Ruído com RS-232 e Datalogger Modelo DOS-500, onde em cada ponto medido foram feitas três réplicas. Após a análise dos dados das medições observou-se, como já era de se esperar, que quanto mais próximo do aerogerador maior o ruído emitido, e sendo o maior valor encontrado a medida de 82,87 dB (A). Para o processamento dos dados foi utilizado um modelo matemático para o cálculo das sobreposições dos valores. Os resultados apontaram uma tendência de correlação superior a 80%, com fator de erro da ordem de 13%, entre os ajustes dos modelos e as determinações analíticas. Para se adequar o ambiente onde o parque eólico está instalado foi determinado o fator K para o ajuste dos dados experimentais, onde a constante de atenuação obteve um valor número igual a 12 para um nível de confiabilidade de 99%.

Palavras-chave: Ruído. Aerogeradores. Poluição sonora. Parque eólico.

NATURAL ATTENUATION LEVELS OF NOISE COMING FROM ELECTRICITY WIND TURBINES

Abstract: This study aimed to analyze the noise levels from wind turbines used to produce electricity, to evaluate their potential noise pollution and damage caused to humans. The survey was conducted “Parque Eólico Mel 2”, located on the beach of Cristovão-RN. Six measurements were performed in two wind turbines noise by varying the distance measurements. Measurements in wind turbines, one located on the edge of the park and the other located in the center of the park, were made using a noise dosimeter with RS-232 and OF-500 Data logger Model; where at each point measured three replicas were made. After the analysis of measurement data was observed, as was expected, the closer the biggest wind turbine noise, and being the highest value measurement of 82.87 dB (A). For the data processing we used a mathematical model to calculate the overlap of values. The results showed a trend of correlation greater than 80%, with error factor of the order of 13%, between the fit of models and analytical determinations. To suit the environment in which the wind farm is installed the K factor was determined to fit the experimental data, where the attenuation constant obtained a value equal to the number 12 for a confidence level of 99%.

Keywords: Noise. Wind turbines. Noise pollution. Wind farm.

1 INTRODUÇÃO

A energia eólica, segundo o Portal Brasil (2013), vem aumentando nos últimos anos sua participação no contexto energético brasileiro. Desde a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), e, posteriormente, os sucessivos leilões de compra e venda deste tipo de energia, a participação na matriz elétrica brasileira passou de pouco mais de 20 MW para aproximadamente 1.180MW. São 59 parques eólicos atualmente em operação. Nos últimos dois anos, o governo federal contratou a construção de 141 novos empreendimentos, que serão entregues entre 2012 e 2013. São investimentos de R\$ 16 bilhões.

A energia eólica é uma opção complementar à fonte hidrelétrica, predominante no sistema brasileiro. A energia eólica é uma opção complementar à fonte hidrelétrica, predominante no sistema brasileiro. A expectativa para os próximos dez anos é de que a capacidade instalada no País aumente em 63.400 MW. Deste montante, 18 GW devem ser produzidos a partir das fontes alternativas complementares, entre elas a energia eólica. O Brasil é o País mais promissor do mundo em termos de produção de energia eólica, na avaliação do Global Wind Energy Council, organismo internacional que reúne entidades e empresas relacionadas à produção desse tipo de energia.

A região que mais se destaca no potencial eólico é a Nordeste: mapas eólicos desenvolvidos pelo Centro Brasileiro de Energia Eólica apontam que a área tem uma das melhores jazidas do mundo, contam com boa velocidade de vento, baixa turbulência e uniformidade. O potencial total é estimado em 30 mil MW. Em termos estratégicos, este tipo de matriz é importante, porque os ventos são mais fortes nos períodos de seca (entre junho e dezembro), quando a produção das hidrelétricas tende a cair.

Do ponto de vista ambiental, a instalação e a exploração de um Parque Eólico são susceptíveis de induzir impactos, principalmente no ambiente sonoro da sua área de influência direta (CHURRO, 2004). Em particular, o ambiente sonoro junto a usos do solo com sensibilidade ao ruído existentes na proximidade do Parque poderá ser potencialmente afetado, nomeadamente se verificar a existência de linha de vista desimpedida entre ambos.

Apesar do ruído devido a um Parque Eólico poder começar na fase de construção, com a instalação das linhas de energia e das torres, não será esta considerada no presente trabalho, por ficar fora do âmbito desta análise.

A avaliação do ruído gerado pelo normal funcionamento dos aerogeradores que constituem um Parque Eólico tem por base (i) a caracterização do ambiente sonoro existente na área envolvente do Parque, antes da instalação dos aerogeradores e (ii) uma análise acústica previsional do ruído que será observado nos mesmos locais, durante o pleno funcionamento do empreendimento. Este considerará as características de potência dos diferentes aerogeradores, a sua localização espacial e as características topográficas dos terrenos. Enquanto as potências das máquinas determinam as suas emissões sonoras, a sua localização e a orografia da zona determinarão a propagação acústica e o estabelecimento dos campos sonoros nos receptores eventualmente existentes.

A comparação das previsões acústicas com os níveis de ruído medidos no local, permite concluir, à luz do enquadramento legal vigente, da eventual existência de situações de desconforto ou impactos a comunidades vizinhas. Caso se verifiquem tais situações, serão dimensionadas e especificadas as necessárias e adequadas medidas minimizadoras de ruído.

Entretanto, os modelos preditivos para esse tipo de cenário estão aquém da necessidade de previsão que os estudos de impactos ambientais requerem, deixando inú-

meras lacunas nas estimativas, compensações, elementos de redução ou modelagem matemática empregada.

Neste trabalho, objetiva-se desenvolver um modelo matemático para a sobreposição dos efeitos de vários aerogeradores, em relação à emissão dos níveis de ruído e à atenuação natural em função das distâncias. Esse modelo permitirá estimar os impactos advindos da poluição sonora, em diferentes áreas da influência dos empreendimentos. Possibilitando a parametrização e critérios de comparação entre os diferentes portes dos parques e impactos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RUÍDO

No senso comum, a palavra ruído significa barulho, som ou poluição sonora não desejada. Na eletrônica o ruído pode ser associado à percepção acústica, por exemplo, de um “chiado” característico (ruído branco), ou aos “chuveiros” na recepção fraca de um sinal de televisão. De forma parecida a granulação de uma foto, quando evidente, também tem o sentido de ruído. No processamento de sinais o ruído pode ser entendido como um sinal sem sentido (aleatório), sendo importante a relação Sinal/Ruído na comunicação. Entre os principais tipos de ruídos sonoros, tem-se:

- Ruído natural - refere-se à ruídos de causas naturais tais como a radiação cósmica de fundo em micro-ondas, ruídos atmosféricos, ruídos inerentes a dispositivos passivos e ativos da eletrônica.
- Ruído artificial - refere-se a ruídos de causas artificiais, como por exemplo, ruídos de interferência ou exames de IAS.
- Ruído exógeno - refere-se às interferências externas ao processo de comunicação, como outra mensagem.
- Ruído endógeno - refere-se às interferências internas do processo de comunicação, como perda de mensagem durante seu transporte ou má utilização do código.
- Ruído de repertório - refere-se às interferências ocorridas diretamente na produção ou interpretação da mensagem, provocadas pelo repertório dos emissores e receptores.

De acordo com Saliba (2004), o som é qualquer vibração ou um conjunto de vibrações ou ondas mecânicas que podem ser ouvidas. Costuma-se também dizer que o barulho é todo aquele som indesejável; o barulho e o ruído são interpretações subjetivas e desagradáveis de um som.

Para que uma vibração seja ouvida é necessário que a frequência situe-se em uma faixa compreendida entre 16 a 20.000 Hz, e a variação de pressão sonora provocada pela vibração atinja o chamado limiar de audibilidade ($2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$) (SALIBA, 2004).

Dentre as várias percepções humanas tem-se uma em especial, a audição, que possibilita a comunicação sonora dos indivíduos e o aprendizado (RIO; PIRES, 2001).

Conforme Lida (2005), o ouvido possui a característica de captar e converter as ondas de pressão do ar em sinais elétricos, estes são transmitidos ao cérebro, produzindo assim, as sensações sonoras, o que faz do ouvido um órgão semelhante a um microfone.

Existem, de acordo com Gerges (2003) e Iida (2005), vários conceitos de ruído, porém, o mais usual o descreve como um “som indesejável”. Porém, o som pode ser desejável para alguns, mas, indesejável para outros, ou mesmo para a mesma pessoa em situações diferentes. Outra definição, mais usual, define o ruído como “um estímulo auditivo que não contém informações úteis para a tarefa em execução”. Assim o alerta do final de um ciclo de uma máquina pode ser considerado útil para o operador, porém, pode não ser visto da mesma forma pelo operador vizinho que esteja manipulando uma máquina diferente.

Fisicamente, o ruído é uma mistura complexa de diversas vibrações, medido em uma escala logarítmica, cuja unidade é o dB (decibel). O ouvido humano é capaz de perceber uma gama grande de intensidades sonoras, desde aquelas próximas de zero, até potências de 1013 superiores equivalentes a 130 dB. Esse ruído corresponde ao de um avião a jato, e praticamente o máximo que o ouvido humano pode suportar. Acima disso, situa-se o limiar da percepção dolorosa, que pode causar danos ao aparelho auditivo (GERGES, 2003; IIDA, 2005).

a) Nível de Pressão Sonora

De acordo com Saliba (2004), o nível de pressão sonora é o que determina a intensidade do som e representa a relação do logaritmo entre a variação da pressão (P) provocada pela vibração e a pressão que atinge o limiar da audibilidade. Por meio de pesquisas realizadas com pessoas jovens, previamente sem problemas auditivos, foi revelado que o limiar de audibilidade é de $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ ou $0,00002 \text{ N/m}^2$. Assim, convencionou-se este valor como sendo 0 (zero) dB, ou seja, o nível de pressão de referência utilizado pelos fabricantes dos medidores de nível de pressão sonora. Quando uma pessoa fica exposta a uma pressão sonora de 200 N/m^2 , ela começa a sentir dor no ouvido, sendo assim, este limite é denominado como limiar da dor, correspondendo a 140 dB. A determinação do nível de pressão sonora é feita através de uma relação logarítmica, conforme a Equação 1.

$$NPS = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (1)$$

Onde:

P = raiz média quadrática (RMS) das variações dos valores instantâneos da pressão sonora;
 P_0 = Pressão de referência que corresponde ao limiar da audibilidade ($2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$).

b) Nível de intensidade sonora e Nível de potência sonora

Conforme o explicitado em Saliba (2004), o nível de intensidade sonora, também expresso em dB, é igual a $NIS = \log_{10} (I/I_0)$, onde I é a intensidade sonora de um ponto específico e a quantidade média de energia sonora transmitida através de uma unidade de área perpendicular à direção da propagação do som. O nível de intensidade sonora expresso em dB é igual a:

$$NPS = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (2)$$

Onde:

I = Potência sonora da fonte em Watts e representa a quantidade de energia acústica produzida por uma fonte sonora por unidade de tempo.

I_0 = Potência sonora de referência igual a 10^{-12} Watts.

Com o passar dos anos vão acontecendo melhorias nas condições de vida do ser humano, além do desenvolvimento constante das indústrias, que trouxe consigo o ruído intenso e nocivo, perturbando-nos aos poucos, incomodando-nos e lesando-nos lenta, constante e irreversivelmente (SILVA, 1981).

Há cerca de 2500 (dois mil e quinhentos) anos a humanidade conhece os efeitos prejudiciais do ruído à saúde. Existem textos relatando a surdez dos moradores que viviam próximos às cataratas do Rio Nilo, no antigo Egito. O desenvolvimento das indústrias e o surgimento dos grandes centros urbanos acabaram com o silêncio de boa parte do planeta (SILVA, 1981).

Tão antigo como a preocupação com a poluição ambiental é a necessidade da descoberta de novas fontes de energia. 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; PEREIRA, 2007).

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).

As pás dos aerogeradores em operação sempre produzem ruídos, nocivos ou não. Eles podem ser divididos em dois: ruídos mecânicos e ruídos aerodinâmicos (COLBY, 2009).

O ruído mecânico tem sua principal origem na caixa de engrenagens, que multiplica a rotação das pás para o gerador. 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). Produz-se, principalmente, nas pontas e na parte posterior das pás. Quanto maior a velocidade do giro, maior é o som produzido (MELO, 2009).

Segundo dados do Instituto Alemão de Energia Eólica (Deutsches Windergie-Institut – DEWI, 1995) apresentam um nível de ruído entre 90 e 100 dB(A), para modelos de aerogeradores mais antigos. Como a utilização de aerogeradores é relativamente recente no Brasil, ainda se registra poucos estudos na área.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo constitui-se de uma pesquisa aplicada, pois objetiva levar conhecimentos para extensão do uso das principais técnicas e recomendações acerca dos modelos de gerenciamento de riscos ambientais, sobretudo, na poluição sonora e na tratativa de casos fortuitos para os processos de licenciamento ambiental de empreendimentos de produção de energia eólica.

Do ponto de vista dos objetivos, trata-se de um estudo exploratório-descritivo, o qual visa descrever a problemática em discussão, buscando caracterizar o objeto de estudo. Bem como, fazendo um estudo comparativo às pesquisas desenvolvidas para o monitoramento, modelagem matemática, parametrização das equações, gerenciamento e proposição de medidas mitigadoras dos riscos ambientais associados à atividade.

A hipótese pauta-se na possibilidade de haver alterações significativas e riscos a saúde humana nos casos analisados, em especial, pela exposição excessiva aos agentes analisados. Bem como, que a modelagem matemática seja possível de prever os cenários de atenuação dos níveis de ruído. Em outras palavras, espera-se que essa análise demonstre elementos para apoiar no aumento dos níveis de eficácia dos sistemas de gestão de segurança e saúde ocupacional.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, o estudo caracteriza-se como pesquisa bibliográfica, por sua elaboração partir do levantamento e análise de material já publicado, como artigos científicos, livros, relatórios técnicos, etc. e (SILVA; MENEZES, 2001), e como estudo de caso devido à utilização de dados de campo.

A estrutura da pesquisa consiste em:

- Formulação do problema, englobando a justificativa do estudo, a determinação dos objetivos, a contextualização da problemática e definição da metodologia;
- Realização do levantamento teórico, que orienta a caracterização do objeto de estudo, as definições e conceitos a serem utilizados em análise e correntes de pensamentos que norteiam a hipótese da pesquisa;
- Levantamento de dados em campo, por meio de incursões investigativas em parques eólicos, mais especificamente no estado do Rio Grande do Norte;
- Estudo criterioso sobre o cumprimento dos requisitos atribuídos pelas Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE);
- Realização de uma análise estatística dos dados obtidos e desdobramento dos dados a serem ajustados na modelagem matemática.

Os dados coletados em campos foram organizados, de acordo com a necessidade da utilização em pesquisa, e utilizados para elaboração do levantamento da parametrização para modelagem matemática e regressão linear dos modelos desenvolvidos.

Os dados experimentais foram tratados estatisticamente e ajustados aos modelos lineares por meio do método de mínimos quadrados, com obtenção de parâmetros médios, desvios padrões e coeficientes de determinação.

Para avaliação do Ruído foi utilizado um dosímetro de Ruído com RS-232 e Datalogger Modelo DOS-500. O nível de Precisão: $\pm 1,5\text{dB}$, com escala de medição: 70 a 140dB, tendo frequência de ponderação: A, com níveis de Critério: 80, 84, 85 ou 90dB. O Nível Limiar é de 70 a 90 dB, com fator duplicativo: 3,4,5 ou 6dB, Indicação de pico de 115dB e sinalizador de pico de 140dB.

As medições foram realizadas no parque localizado na praia de Cristovão (RN). O monitoramento foi realizado em diferentes distâncias das fontes de medição, para correlação futura entre a atenuação e o espaçamento físico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os pontos escolhidos para realização das medições são descritos na Figura 1, onde se pode observar o distanciamento e o adensamento do parque frente a áreas de comunidades circunvizinhas e zonas isentas dos efeitos da atividade de geração de energia, considerado com o background da área.

Figura 1 - Localização dos Pontos de Monitoramento.



Fonte: Google Earth, 2013.

As medições efetuadas, em triplicata, são apresentadas na Tabela 4 e 5, bem como, os valores médios e desvio padrão obtidos com as medições.

Tabela 1 - Pontos de Monitoramento nas extremidades do Parque Eólico Mel 2 localizado na praia de Cristovão (RN).

Pontos	Réplicas dB(A)			Média dB(A)	Desvio Padrão dB(A)
	1º medição	2º medição	3º medição		
Ponto 2 (5m)	82,1	80,8	85,7	82,87	2,54
Ponto 3 (20m)	76,4	71,5	75,4	74,43	2,59
Ponto 4 (50m)	79,6	75,3	73,5	76,13	3,13
Ponto 5 (100m)	79,6	75,3	73,5	76,13	3,13
Ponto 6 (200m)	73,6	70,8	79,5	74,63	4,44
Ponto 7 (500m)	70,0	73,1	77,3	73,47	3,66
Ponto 8 (1º casa da comunidade, 360m)	78,1	70,7	72,7	73,83	3,83

Fonte: Autor, 2013.

Tabela 2 - Pontos de Monitoramento nas áreas centrais do Parque Eólico Mel 2 localizado na praia de Cristovão (RN).

Pontos	Replicas			Média dB(A)	Desvio Padrão dB(A)
	1º medição	2º medição	3º medição		
Ponto 2 (5m)	73,0	72,5	73,3	72,93	0,40
Ponto 3 (20m)	74,0	78,9	77,6	76,83	2,54
Ponto 4 (50m)	69,6	72,1	73,4	71,70	1,93
Ponto 5 (100m)	74,6	77,3	80,4	77,43	2,90
Ponto 6 (200m)	78,3	70,9	78,3	75,83	4,27
Ponto 7 (500m)	78,2	83,3	71,1	77,53	6,13

Fonte: Autor, 2013.

Para o cálculo das sobreposições os efeitos foram necessários à conversão dos parâmetros medidos de NPS para os níveis de pressão sonora, para isso, utilizaram-se das equações (3) e (4), conforme segue.

$$NPS = 20 \log P + 94 \quad (3)$$

$$P = 10^{\frac{NPS-94}{20}} \quad (4)$$

Considerando o cenário da instalação de um parque eólico, foram feitos o dimensionamento teórico dos níveis de ruído propagados individualmente e a sua atenuação com a distância, para isso utilizou-se da equação (5):

$$L_R = L_s - K \log R \quad (5)$$

Em que:

L_R é o valor de ruído na distância R;

L_s o nível de ruído emitido pela fonte;

R a distância radial ao ponto de emissão do ruído.

E o valor de K mais usual é igual a 20, entretanto, esse parâmetro será ajustado para o presente cenário para aferição do melhor ajuste matemático.

Para o caso de um aerogerador relatos de Pinho (2008) afirmam que os níveis médios de emissão para um equipamento de 5 MW é de aproximadamente 120 dB. Entretanto, o objetivo é estimar os valores para um campo inteiro, para tal tomou-se por base o seguinte parque, demonstrado na Figura 2. Nesse caso, deve-se observar que todos os aerogeradores tem efeito somático aos demais, estando em função da sua distância um maior ou menor nível de impacto. Nesse trabalho, por exemplo, para o ponto (1°Casa), utilizou-se a atenuação da distancia individual de cada aerogerador ao ponto monitorado.

Figura 2 - Exemplificação da sobreposição de efeitos.



Fonte: Google Earth, 2013.

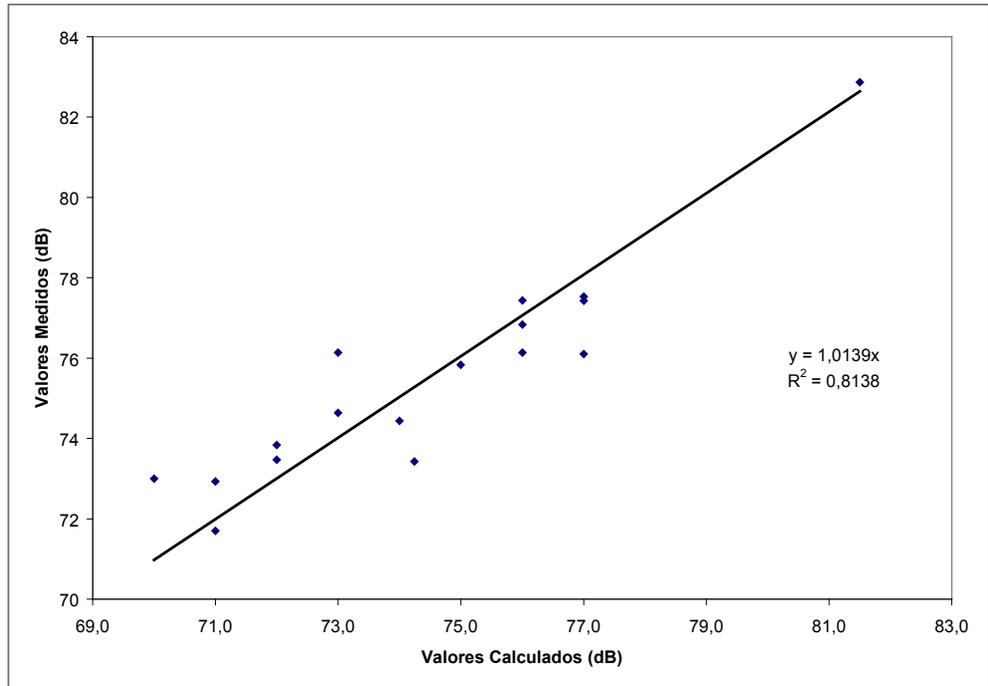
Há 5 fontes simultâneas de ruído, que em vários pontos tem sobreposição de efeitos. Neste caso, consideraram-se, então, para esse dimensionamento as distâncias entre os dois agrupamentos de aerogeradores como sendo de 700 m e a distância entre cada equipamento como sendo de 190 m. Na Tabela 6 têm-se os efeitos e as estimativas feitas para as contribuições conjuntas, considerando todo o parque em operação. É importante frisar que esse cálculo não pode ser realizado de forma direta, havendo a necessidade da conversão em pressão sonora, para só então ser realizada a adição. Logo, para os efeitos das fontes considerou-se as estimativas da Tabela 3.

Tabela 3 - Estimativas dos níveis de ruído pela sobreposição de efeitos dos aerogeradores.

Aerogerador	Pressão Sonora (N/m ²)	Geração de Ruído (dB)
1	17,453	118,84
2	17,453	118,84
3	17,474	118,85
4	17,520	118,87
5	17,474	118,85

Os resultados obtidos entre os valores medidos nos diferentes pontos e os calculados pela sobreposição dos modelos apontam para uma tendência de correlação superior a 80%, com fator de erro da ordem de 13%, entre os ajustes dos modelos e as determinações analíticas.

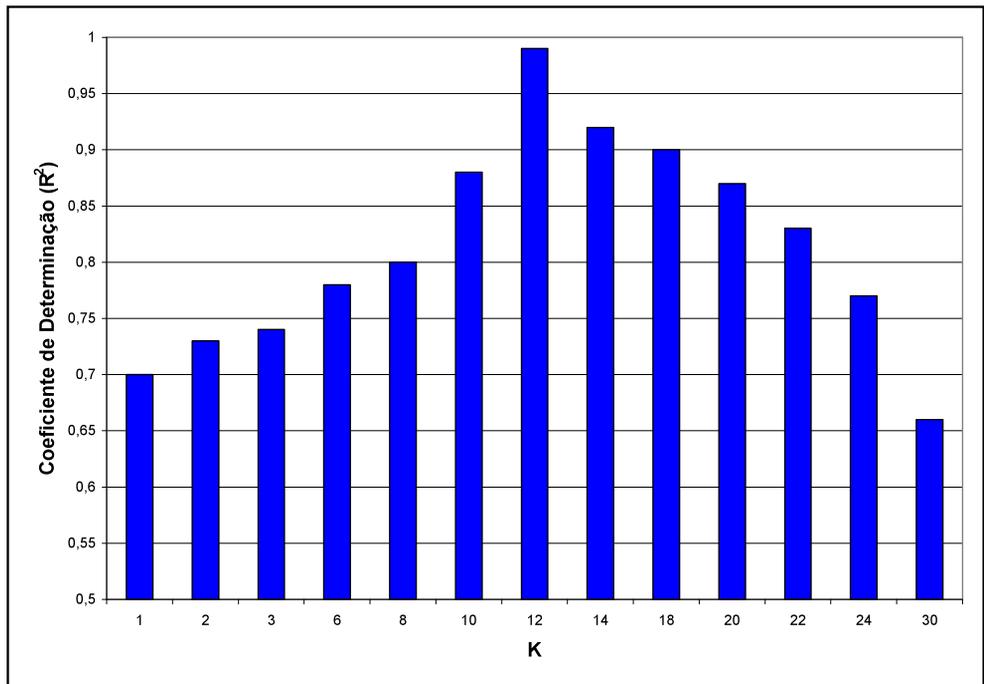
Figura 3 - Comparação entre os valores calculados e os medidos em campo.



Fonte: Autor, 2013.

Considerando o baixo ajuste obtido, e para se adequar o ambiente onde os parques eólicos estão instalados e determinar o melhor fator K para o ajuste dos dados experimentais, o modelo da equação (3) foi simulado para diferentes níveis de constantes K, avaliando-se os resultados quanto ao coeficiente de correlação ou determinação obtido. No gráfico da Figura 4 pode-se observar que o melhor ajuste ocorreu no patamar de K igual a 12, onde se tem erros inferiores a 1%. Logo, o parâmetro da equação de atenuação do ruído com a distância, para os aerogeradores, deve ser corrigido de 20 para 12.

Figura 4 - Coeficientes de Determinação em função dos parâmetros K.



Fonte: Autor, 2013.

Contudo, é possível prever o comportamento da atenuação dos ruídos para um nível de confiabilidade de 99%, utilizando-se o parâmetro de ajuste matemático, para o parâmetro K, com valor numérico igual a 12.

6 CONCLUSÃO

A geração de ruído não é apenas um problema ocupacional, também estamos expostos a ele em outras situações. No caso da ocorrência de parques eólicos, fonte de energia que tem crescido muito nos últimos tempos trás como um impacto negativo a geração de ruído, por parte da rotação das pás dos aerogeradores.

A partir dos resultados coletados em campo e depois de aplicado o modelo matemático para as cinco fontes simultâneas de ruído, encontraram-se valores máximos de 118,87 dB(A) para um Nível de pressão Sonora 17,520 (N/m²) e de valor mínimo de 118,84 dB(A) para um Nível de Pressão Sonora 17,453 (N/m²). Esses resultados obtidos apontam para uma tendência de correlação superior a 80%, com fator de erro da ordem de 13%, entre os ajustes dos modelos e as determinações analíticas.

Para ajuste do valor obtido foi utilizando o parâmetro de ajuste matemático K, com valor numérico igual a 12, que prever o comportamento da atenuação dos ruídos para um nível de confiabilidade de 99%.

Em suma, a aplicação do modelo matemático permitiu constatar que o ruído no parque eólico em questão é bastante elevado, podendo acarretar a sérios problemas a saúde humana.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. A. **Metodologias de Análise de Riscos - APP & Hazop**. Rio de Janeiro: 2011. Disponível em: <http://professor.ucg.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/13179/material/APP_e_HAZOP.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2012.

ALENCAR, L. **Metodologias de análise de riscos: APP e HAZOP**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2009, 30f. Disponível em <<http://www.saneamento.poli.ufrj.br>>. Acesso em 21. Jun.2012.

ALMEIDA, Marcio Tadeu; GOZ, Ricardo Damião. **Curso de Análise e Controle de Ruídos Industriais**. Itajubá, MG: FUPA – Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria, 1984.

AMORIM, E. L. C. de. **Ferramentas de Análise de Risco**. Apostila do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alagoas, CTEC, Alagoas: 2010. Disponível em: < <http://pt.scribd.com/doc/71505557/Apostila-de-ferramentas-de-analise-de-risco>>. Acesso em: 08 jul. 2012.

AYRES, D. de O.; CORRÊA, J. A. P. **Manual de Prevenção de Acidentes do Trabalho**. São Paulo, Atlas, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987.

BRASIL, Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Diário Oficial de União**, Brasília, DF, de 2 de set. de 1981.

_____. Lei nº 9.605, de fevereiro de 1998. **Diário Oficial de União**, Brasília, DF, de 17 de fev. de 1988.

_____. Lei nº 7.804, de 18 de julho de 1989. **Diário Oficial de União**, Brasília, DF, de 20 de jul. de 1988.

_____. Ministério da Saúde. **Doenças relacionadas ao trabalho**: manual de procedimentos para serviços de saúde. Ministério da Saúde do Brasil, Representação no Brasil da OPS/OMS. Brasília: Ministério da Saúde, 2001.

_____. **Norma Regulamentadora NR9**. Manual de Legislação Atlas. 59. Ed. 2006a.

_____. Ministério do Trabalho. **Norma Regulamentadora NR15**. Manual de Legislação Atlas. 59. Ed., 2006b.

CAMACHO, E. N. **Uma Proposta de Metodologia para Análise Quantitativa de Riscos Ambientais**. 2004. Tese (Pós-graduação de Engenharia)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

CAPRA, Fritjof. **As conexões ocultas:** ciência para uma vida sustentável. 4 ed. São Paulo, SP: Ed. Cultrix, 2005. 296 p.

CHURRO, D. et al. **Parques Eólicos:** Estudo dos Impactes no Ambiente Sonoro I - Influência no Ruído Local. Guimarães-Lisboa. 2004. Paper ID: 184 /p.1.

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

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução Conama nº 001**, 1986. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>> Acesso em 10 jun 2013.

_____. **Resolução Conama nº 002**, 1990. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/port/conama>> Acesso em 10 jun 2013.

_____. **Resolução Conama nº 252**. 1999. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/port/conama>> Acesso em 10 jun 2013.

DEWI, **Deutsches Windenergie Institut. Environmental Aspects and Acceptance of Wind.** Disponível em < <http://www.dewi.de/dewi/index.php>> Acesso em 15 jun. 2013.

DEPONTI, Cidonea Machado; ECKERT, Córdula; AZAMBUJA, José Luiz Bertoli. Estratégia para construção de indicadores para avaliação da sustentabilidade e monitoramento de sistemas. **Revista Agroecologia. e Desenvolvimento Rural Sustentável.** Porto Alegre, v.3, n.4, out/dez, 2002.

GOMES, J. R.; COLACIOPPO, S.; FISCHER, F. M. **Tópicos de saúde do trabalhador.** São Paulo, SP. Editora HUCITEC, 1989.

FUNDACENTRO. NHO-01 - **Avaliação da exposição ocupacional ao ruído.** São Paulo: 1999. Disponível em:<<http://www.fundacentro.gov.br/CTN/nho01.asp>> Acesso em: 01 out. 2006.

GERGES, Samir. N. Y. **Ruído:** Fundamentos e Controle. 2 ed. Florianópolis: Editora Imprensa Universitária UFSC, 2000.

GRANDJEAN, Etienne. **Manual de ergonomia:** adaptando o trabalho ao homem. Trad. João Pedro Stein. 4 ed. Porto Alegre, RS: Ed. Artes Médicas, 1998.

IBP. **Informações e Estatísticas.** Disponível em: <<http://www.ibp.org.br>>. Acesso em: 11. Jul. 2012.

IIDA, Itiro. **Ergonomia:** Projeto e Produção. 2 ed. rev. e ampl. São Paulo, SP: Ed. Edgard Blücher, 2005. 614 p.

MAIA, Paulo Alves. **Estimativa de exposições não contínuas a ruído:** Desenvolvimento de um método e validação na construção civil. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001. Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br/CTN/teses_conteudo.asp?retorno=137>. Acesso em: 06 set. 2006.

MARTINS, F.R.; GUARNIERI, R.A.; PEREIRA, E.B. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, p.1304, 2007.

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

PALMA, D. C. **Quando o Ruído Atinge a Audição**. 1999. Monografia (Especialização)- Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

PINHO, A. M. **Gestão de Projectos de Parques Eólicos Contributos para a melhoria do processo**. Dissertação (Mestrado)- Lisboa, 2008.

PINTO, Antonio Luiz de Toledo (ed.). **Segurança e Medicina do Trabalho**. 7 ed. São Paulo: Saraiva, 2011.

PORTAL ABS. Disponível em: <<http://portal.abs.org.br/estudos/conceitos-gerais-sobre-seguranca-no-trabalho.htm>> Acesso em: 20. Ago. 2012.

RIO, Rodrigo Pires do; PIRES, Licínia. **Ergonomia: fundamentos da prática ergonômica**. 3 ed. São Paulo: LTr, 2001.

SALIBA, T. M. **Curso Básico de Segurança e Higiene Ocupacional**. 4. ed. São Paulo: LTR, 2011.

SALIBA, Tuffi Messias. **Curso Básico de Segurança e higiene Ocupacional**. São Paulo, SP: Ed. LTr, 2004. 453 p.

SESI/SEBRAE, **Saúde e Segurança no Trabalho: Micro e Pequenas Empresas** / Luiz Augusto Damasceno Brasil (org.). - Brasília: SESI-DN, 2005.

SHERIQUE, Jaques. **Aprenda como fazer: PPRA, PCMAT E MRA**. São Paulo: LTR, 2004.

SILVA, J. A. da. **Direito Urbanístico Brasileiro**. São Paulo: Revista dos Tribunais, 1981.

YIN, R. **Estudo de caso: Planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

