



UNIVERSIDADE CATÓLICA DO SALVADOR
PRÓ REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DA PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO AMBIENTAL
MESTRADO PROFISSIONAL EM PLANEJAMENTO AMBIENTAL

LEONARDO RAFAEL TEIXEIRA COTRIM GOMES

AVALIAÇÃO DE RUÍDOS EM AEROGERADORES SITUADOS NO
COMPLEXO EÓLICO SERRA AZUL-BA

SALVADOR
2017

LEONARDO RAFAEL TEIXEIRA COTRIM GOMES

**AVALIAÇÃO DE RUÍDOS EM AEROGERADORES SITUADOS NO
COMPLEXO EÓLICO SERRA AZUL-BA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Ambiental, Mestrado Profissional em Planejamento ambiental pela Universidade Católica do Salvador, como requisito para obtenção do título de Mestre em Planejamento Ambiental.

Orientador: Dr. Juan Carlos Rossi Alva

**SALVADOR
2017**

UCSal. Sistema de Bibliotecas

G633 Gomes, Leonardo Rafael Teixeira Cotrim
Avaliação de ruídos em aerogeradores situados no complexo eólico
Serra Azul-Ba/ Leonardo Rafael Teixeira Cotrim Gomes. __ Salvador,
2017.
117 f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica do Salvador.
Superintendência de Pesquisa e Pós-Graduação. Mestrado Profissional
em Planejamento Ambiental.

Orientação: Prof. Dr. Juan Carlos Rossi Alva

1. Energia Eólica – Fonte Renovável - Energia. 2. Energia Eólica –
Mundo - Brasil. 3. Complexo eólico – Morrinhos – Morro do Chapéu –
Bahia. 4. Potencial Eólico – Estado da Bahia. 5. Estudo de Impactos
Acústicos. 6. Acústica de Parques Eólicos.I. Universidade Católica do
Salvador. Superintendência de Pesquisa e Pós-Graduação II. Alva,
Juan Carlos Rossi - Orientador III. Título

CDU 504.03:620.92



UNIVERSIDADE CATÓLICA DO SALVADOR
PRÓ REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DA PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO AMBIENTAL
MESTRADO PROFISSIONAL EM PLANEJAMENTO AMBIENTAL

TERMO DE APROVAÇÃO

Dissertação de autoria de Leonardo Rafael Teixeira Cotrim Gomes, intitulada **“AVALIAÇÃO DE RUÍDOS EM AEROGERADORES SITUADOS NO COMPLEXO EÓLICO SERRA AZUL-BA”**, apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Planejamento Ambiental da Universidade Católica do Salvador, em 05 de maio de 2017, defendida e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dr. Juan Carlos Rossi Alva
Orientador

Pró Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação – UCSAL

Prof. Dra. Miriam de Fátima Carvalho
Professora do Programa de pós-Graduação da UCSAL
Pró Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação – UCSAL

Prof. Dr. Jilvan Lemos de Melo
Professor do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da UFRB.

SALVADOR
2017

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por ter me dado forças para conseguir conciliar o papel de professor, mestrando, chefe de família, marido e pai, sem que nenhum desses deixasse de ser cumprido. À minha esposa Vanessa que desde o início do nosso relacionamento é a minha fonte constante de amor, dedicação, motivação, crescimento profissional e acadêmico, pois seu apoio contribui, sem dúvida, para a realização dos meus sonhos. Ao meu filho Lucas, que com seu carinho e amor incomparável a de qualquer outra criança que já conheci, me cobria de ânimo para renovar as forças que já pareciam ter acabado. A minha mãe que esteve sempre presente e me ajudou muito com este projeto. Ao meu orientador Juan Alva, que me instruiu e com muito respeito e total liberdade, sendo este papel determinante para o desenvolvimento e conclusão desse trabalho. Aos professores Abdon, Jilvan e Miriam pelas contribuições dadas ao meu trabalho. Por fim aos meus familiares e a todas as pessoas que torceram, oraram e me ajudaram nessa jornada.

EPÍGRAFE

“ O Senhor é a minha rocha, a minha cidadela, o meu libertador, o meu Deus, o meu rochedo em quem me refúgio, o meu escudo, a força da minha salvação o meu baluarte. ”

Salmos 18 - 2

RESUMO

O estado da Bahia detém um dos maiores potenciais eólicos do Brasil, dispondo de uma infinidade de complexos e parques eólicos instalados em seu território. O ritmo acelerado de fabricação, implantação e operação dos aerogeradores foi preponderante para assegurar maior participação no cenário nacional de produção de energia elétrica, aumentando a segurança e fortalecendo o setor energético, promovendo o crescimento econômico e social do país. Embora seja uma fonte de energia tida como alternativa e sustentável, se comparada às tradicionais, a geração de energia elétrica advinda da força dos ventos é capaz de gerar impactos ambientais indesejáveis, que podem ser verificados desde a cadeia de produção dos aerogeradores até os ecossistemas nas vizinhanças dos parques e complexos eólicos. Os impactos ambientais são diversos, entretanto quando se restringe às populações que vivem próximos aos parques alguns impactos se tornam mais evidentes, tais como: o impacto visual, ruído, interferências eletromagnéticas, corona visual, efeito estroboscópico. O presente estudo visa avaliar os ruídos emitidos por aerogeradores no Complexo Serra Azul-BA, a partir de coletas de dados realizadas no local com distâncias pré-definidas entre o aerogerador e o receptor, utilizando um método de estimativa de ruído da Agência Internacional de Energia (IEA), cujo resultado foi comparando com os dados fornecidos pelo fabricante dos aerogeradores e as principais normas vigentes no mundo quanto aos limites permissíveis de ruído. Os resultados das medições demonstraram que através do método de medição do ruído na fonte proposto pela IEA é possível determinar de forma satisfatória o nível de pressão sonora emitido pelos aerogeradores e, portanto, auxiliar no monitoramento ambiental. Através dos resultados obtidos notou-se também, que havia diferença na emissão de ruído entre aerogeradores no parque, sugerindo que um deles pudesse estar desregulado, emitindo ruído próximo do limite superior especificado pelo fabricante, em velocidades de vento abaixo do valor da potência nominal do aerogerador. A pesquisa avaliou normas e leis aplicadas no âmbito nacional e internacional acerca de emissão e monitoramento de ruídos gerados por aerogeradores. Foi visto que há grande variedade de conceitos e que geralmente cada país ou região possui normas próprias a serem utilizadas para o controle, monitoramento, medição e aplicação de leis. A partir do estudo de legislações existente no mundo, foi possível propor ações mitigadoras, atualização e criação de novas normas para o Brasil, haja visto que o país é carente de normas específicas que abranjam de forma adequada a questão dos ruídos emitidos pelos aerogeradores.

Palavras-chave: Energia eólica; Complexos eólicos; Impacto ambiental; Ruído; Aerogerador.

ABSTRACT

The state of Bahia holds one of the largest wind potential in Brazil, with a multitude of wind farms installed in its territory. The quickly increase of manufacturing, implementation and operation of wind turbines was important to ensure greater participation in the national scenario of electric power generation, increasing safety and strengthening of the energy sector, promoting economic and social growth of the country. The wind power it is an alternative and sustainable source of energy, compared to traditional ones, although the production of electric energy from the force of the winds can generate undesirable environmental impacts that can happen from the production chain of the wind turbines to the ecosystems around the windfarms. Environmental impacts are diverse, however when it is restricted to the populations that living near the windfarms, some issues become more evident, such as visual impact, noise, electromagnetic interference, visual corona, strobe effect. The present study aims to evaluate the wind turbine noises in the Serra Azul-BA windfarm, from data collections performed at the site with pre-defined distances between the wind turbine and the receiver using an International Energy Agency (IEA) noise estimation method. With the collected data is possible to compare the noise with the values provided by manufacturer of the wind turbines and the main standards in the world. The results of the measurements shows that through the method of measurement of noise at source proposed by the IEA it is possible to determine satisfactorily the sound pressure level emitted by wind turbines and therefore to assist in the environmental monitoring. Can be verified differences in the noise emission between wind turbines in the park, suggesting that one of them could be deregulated, emitting noise near the upper limit specified by the manufacturer, at wind speeds below the nominal power Wind turbine. The research evaluated national and international laws and regulations on the emission and noise environmental monitoring generated by wind turbines. Nowadays the world have a great variety of concepts and each country or region have its own norms to be used to control, monitoring, measure and enforcement of laws. With the study of existing laws in the world, it was possible to propose mitigating actions, updates and creation of new standards for Brazil, since the country lacks specific norms that adequately cover the issue of noises emitted by wind turbines.

Keywords: Wind energy; Wind farms; Environmental impact; Noise; Wind turbine.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Capacidade global anual instalada em MW de 2000 a 2015.....	27
Gráfico 2: Capacidade Global em MW acumulada de 2000 a 2015	28
Gráfico 3: Brasil – Crescimento demográfico	28
Gráfico 4: Evolução da demanda de energia e taxa de crescimento - 1970 a 2030	29
Gráfico 5: Percentual de contribuição produção energética por tipo de empreendimento em operação.....	30
Gráfico 6: Percentual de contribuição produção energética por tipo de empreendimento em construção.....	31
Gráfico 7: Evolução do diâmetro do rotor das turbinas eólicas contemporâneas	45
Gráfico 8: Diâmetro do Rotor VS. Potência.....	46
Gráfico 9: Ruído de fundo e do aerogerador	51
Gráfico 10: Mínima distância de recuo entre os aerogeradores e residências.....	62
Gráfico 11: Níveis de pressão sonora inferior e superior em países e regiões no mundo	62
Gráfico 12: Gráfico do ruído medido em relação as distâncias.....	97
Gráfico 13: Curva de atenuação de pressão sonora.....	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Moinhos de Vento no Campo de Criptana - 2005	23
Figura 2: Turbina de Vento de Charles Brush - 1888.....	24
Figura 3: Principais marcos do desenvolvimento da Energia Eólica - Século XX	25
Figura 4: Turbina MOD-5B – 3,2MW	26
Figura 5: Mundo - Potência Instalada e Geração por país (2014)	27
Figura 6: Potencial eólico Brasileiro por região	32
Figura 7: Principais componentes de um aerogerador.....	34
Figura 8: Disposição dos eixos de turbinas eólicas	36
Figura 9: Esquema de forças atuantes nas pás.....	37
Figura 10: Estrutura da pá do rotor de um aerogerador.....	38
Figura 11: Caixa de transmissão - Multiplicadora.....	39
Figura 12: Multiplicadora com engrenagens aparentes	39
Figura 13 : Pitch Control (Controle de Passo) ilustração de rotação das pás.....	40
Figura 14: Yaw Control – Ilustração de rotação do aerogerador em relação a torre.....	41
Figura 15: Escoamento em torno do perfil de uma pá de rotor não controlado	42
Figura 16: Escoamento em torno do perfil de uma pá de rotor com “stall control”.....	42
Figura 17: Evolução das turbinas eólicas	44
Figura 18: Modelo Vestas V136-3.45 MW – 2016.....	44
Figura 19: Propagação do som no ar	47
Figura 20: Escala sonora ilustrada em decibéis.....	48
Figura 21: Intervalo de frequência audível pelo ser humano	49
Figura 22: Senoidal de sons puros A, B e C.....	49
Figura 23: Escoamento do ar no bordo de ataque de uma pá.....	56
Figura 24: Relação entre incômodo e exposição sonora	58
Figura 25: Posicionamento do microfone em uma placa no solo.....	71
Figura 26: Configuração do Parque Eólico Serra Azul	80
Figura 27: Parque Serra Azul - Localização das torres	81
Figura 28: Aerogerador Siemens SWT 2.3-101 pertencente ao Complexo Cristal.....	83
Figura 29: Aerogerador G97 – Complexo Eólico Serra Azul	84
Figura 30: Especificação do modelo G97 - Gamesa	86
Figura 31: Estrada de acesso ao Complexo Eólico Serra Azul	90
Figura 32: Torres DM01 e DM02 a direita.....	91

Figura 34: Mapa do Zoneamento.....	92
Figura 35: Medidor multifunção. Teste de medição de ruído	94
Figura 36: Maleta de armazenamento do medidor multifunção.....	94
Figura 37: Teste de medição de ruído no Complexo Eólico Serra Azul	95
Figura 38: Atenuação em dB (A) de absorção sonora para grandes distancias.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Emissão de CO ₂ em diferentes tecnologias de geração de energia elétrica.	19
Tabela 2: Empreendimentos em operação – ANEEL 2016.....	30
Tabela 3: Empreendimentos em construção – ANEEL 2016.....	31
Tabela 4: Ranking de produtores de Energia eólica.....	33
Tabela 5: Ranking da capacidade instalada de energia eólica no Brasil.	33
Tabela 6: Etapas principais de geração elétrica por aerogeradores.....	34
Tabela 7: Função dos principais componentes de um aerogerador.....	35
Tabela 8: Aspectos principais para escolha do gerador.....	43
Tabela 9: Tipos de ruído e descrição.....	50
Tabela 10: Tipos de ruídos aerodinâmicos e descrição.....	55
Tabela 11: Características dos ruídos de acordo com o tipo.....	57
Tabela 12: Sintomas e sinais da Doença Vibroacústica pelo tempo de exposição.....	60
Tabela 13: Valores de nível de pressão sonora para áreas externas (TA Lärm).....	65
Tabela 14: Distâncias mínimas para implantação de um aerogerador na Alemanha.....	66
Tabela 15 - Coeficiente de absorção atmosférica – ISO 9613.....	69
Tabela 16: Nível de Critério de Avaliação (NCA) para ambientes externos, em dB (A).....	73
Tabela 17: Níveis de ruído para conforto acústico – ABNT 10.152.....	73
Tabela 18: NR-15 – Nível de Ruído e exposição máxima ao ruído.....	75
Tabela 19: Conceitos básicos - NBR 10151.....	76
Tabela 20: Correção de características especiais do ruído.....	78
Tabela 21: Descrição das áreas afetadas pelo Complexo Eólico Serra Azul.....	82
Tabela 22: Aerogerador G97III A - Gamesa.....	85
Tabela 23: Cronograma de Gestão Ambiental do Complexo Eólico Serra Azul.....	87
Tabela 24: Características dos Pontos de Medição, Valores Medidos (dB (A)) e Comparação com o NCA da NBR 10.151.....	88
Tabela 25: Discussão dos resultados encontrados durante monitoramento de ruído.....	89
Tabela 26: Planejamento das medições de ruído.....	92
Tabela 27: Características do equipamento de medição multifunção.....	93
Tabela 28: Dados das medições executadas.....	96
Tabela 29: Media das medidas dos ruídos por classe de distância.....	97
Tabela 30: Valores de coeficiente de absorção sonora (α) e correção.....	101
Tabela 31: Nível de Ruído na fonte emissora (L_w).....	102

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Nível de pressão sonora	48
Equação 2: Nível sonoro contínuo equivalente	52
Equação 3: Equação para determinação da pressão sonora através de uma superfície reflectiva	100

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADA	Área Diretamente Afetada
AID	Área de Influência Direta
AII	Área de Influência Direta
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
BIG	Banco de Informações de Geração
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CHESF	Companhia Hidrelétrica do São Francisco
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
(D)	Força aerodinâmica de arrasto
(dB)	Decibel
DM01	Torre ou aerogerador. Damascena 01
DM02	Torre ou aerogerador. Damascena 02
DVA	Doença Vibroacústica
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EOL	Central Geradora Eólica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EUA	Estados Unidos da América
Gamesacorp	Gamesa Corporación Tecnológica (Gamesa Corporação Tecnológica)
GW	Gigawatt
GWEC	Global Wind Energy Council (Conselho Global de Energia Eólica)
Hz	Hertz
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
IEC	International Electrotechnical Commission
INEMA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
INMETRO	Instituto nacional de Metrologia
kHz	Kilohertz
kW	Kilowatt

(L)	Força aerodinâmica de sustentação
L_{10}	Nível de pressão sonora estatístico a 10%
L_5	Nível de pressão sonora estatístico a 5%
L_{50}	Nível de pressão sonora estatístico a 50%
L_{90}	Nível de pressão sonora estatístico a 90%
L_{95}	Nível de pressão sonora estatístico a 95%
L_{Aeq}	Nível de pressão equivalente na escala A
L_C	Nível de pressão sonora corrigida
L_{eq}	Nível sonoro equivalente
L_n	Nível de pressão sonora estatístico n
Log	Função logarítmica
L_p	Nível de pressão sonora no receptor
L_{ra}	Nível de ruído ambiente
L_w	Nível de ruído emitido pela fonte emissora
MME	Ministério de Minas e Energia
MNPS	Medidor de Nível de Pressão Sonora
Mtap	Megatonelada Equivalentes de Petróleo
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
MW	Megawatt
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NBR	Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas
NCA	Nível de Critério de Avaliação
NR	Normas Regulamentadoras
OEMAs	Organizações Estaduais do Meio Ambiente
P	Pressão sonora em um determinado local
Pa	Pascal
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
Pitch Control	Controle de passo
P_o	Pressão sonora de referência
PROINFRA	Programa de Incentivo às Fontes Renováveis
R	Distância entre a fonte emissora e o receptor
RAS	Relatório Ambiental Simplificado
RBC	Rede Brasileira de Calibração
RBF	Ruído de baixa frequência

RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
Rpm	Rotação por minuto
SEIA	Sistema Estadual de Informações Ambientais e Recursos Hídricos
Stall Control	Controle estol
TEP	Toneladas Equivalentes de Petróleo
Ton/GWH	Toneladas por Gigawatt hora
TW	Terawatt
UFV	Central Geradora Solar Fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica
UR	Unidade Relativa
US\$	Dólar
UTE	Usina Hidrelétrica
UTM	Universal Transversa de Mercado
UTN	Usina Termonuclear
(W)	Velocidade relativa do vento
WEC	World Energy Council (Conselho Mundial de Energia)
α	Coefficiente de absorção sonora

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Objetivo geral	21
1.2	Objetivos específicos	21
2	A ENERGIA EÓLICA	22
2.1	A energia eólica no mundo	25
2.2	A energia eólica no Brasil.....	28
2.2.1	O potencial eólico do Brasil	31
2.3	A geração de energia eólica no estado da Bahia.....	32
2.4	O aerogerador	33
2.4.1	Componentes e funcionamento	35
a)	Rotores	36
b)	Transmissão (caixa de engrenagens).....	38
c)	Mecanismos de Controle	40
d)	Geradores	42
2.4.2	A evolução dos aerogeradores	43
2.5	Energia eólica e o meio ambiente	46
2.6	Noções de acústica ambiental	47
2.6.1	Conceitos básicos	47
a)	O som	47
b)	Nível de pressão sonora.....	47
c)	Decibel	48
d)	Frequência	49
e)	Som puro ou simples	49
f)	Tipos de ruído.....	50
2.6.2	Parâmetros dos ruídos.....	51
a)	Nível de pressão sonora.....	51
b)	Nível sonoro contínuo equivalente.....	52
2.7	Ruídos provocados pelos aerogeradores	52
2.7.1	Ruídos mecânicos	53
2.7.2	Ruídos aerodinâmicos	54
2.8	Ruídos, efeitos e impactos sobre a população	56
2.8.1	Patologias associadas.....	58

2.8.2	Síndromes relacionadas	59
2.8.3	Doença vibroacústica.....	59
3	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL NO MUNDO.....	61
3.1	A avaliação do ruído em países da Europa.....	63
3.1.1	O caso da Dinamarca.....	63
3.1.2	O caso da Holanda.....	64
3.1.3	O caso da Alemanha.....	64
3.1.4	O caso da Bélgica.....	67
3.2	Normas internacionais de avaliação de ruído	68
3.2.1	Norma ISO 9613.....	68
3.2.2	Norma IEC-61400-11	70
3.3	Legislação ambiental no Brasil.....	72
3.3.1	Licenciamento ambiental.....	72
3.3.2	Normas técnicas brasileiras	73
a)	Medição de ruído segundo norma NBR-10.151.....	75
b)	Equipamentos de medição.....	76
c)	Procedimentos de medição.....	77
d)	Medições no exterior de edificações	77
e)	Medições no interior de edificações.....	77
f)	Correções para ruídos com características especiais.....	78
4	COMPLEXO EÓLICO SERRA AZUL	80
4.1	Os aerogeradores do Complexo.....	82
4.2	Previsão do ruído do Complexo.....	85
4.2.1	Monitoramento do ruído - Implantação.....	87
4.3	Análise dos ruídos no Complexo Eólico Serra Azul	90
4.3.1	Coleta de dados.....	91
a)	Metodologia	91
b)	Instrumentos utilizados	93
4.3.2	Tratamento dos dados.....	96
a)	Discussão do tratamento dos dados.....	98
4.4	Determinação do ruído na fonte.....	99
4.4.1	Dados de entrada	99
4.4.2	Estimativa do ruído.....	99

4.4.3	Discussão dos resultados dos ruídos em DM01 e DM02	102
5	PROPOSTAS.....	105
5.1	Propostas de novas diretrizes de regulação e normatização	105
5.2	Propostas de medidas mitigadoras	107
6	CONCLUSÃO	109
	REFERENCIAS	111

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a energia eólica é vista como uma das prioridades e necessidades para, em conjunto com outras fontes de energia, suprir a demanda de energia do Brasil, oferta que é importantíssima para o crescimento socioeconômico do país. A energia eólica é considerada fonte alternativa, inovadora e sustentável de geração de energia, embora produza impactos ambientais negativos, tornando necessário o monitoramento e realização de ações que garantam a redução do seu impacto a curto, médio e longo prazo.

Um dos maiores benefícios trazidos pela utilização da energia eólica, está relacionado a queda das emissões de CO₂, ao ponto que a sua utilização reduz a dependência da utilização de combustíveis fósseis, conseguintemente diminuído a emissão de poluentes, visto que o vento é recurso permanente e renovável.

Para a construção de usinas eólicas são ocupadas pequenas áreas, sendo necessária a degradação de menores extensões territoriais quando comparada aos demais empreendimentos de geração de energia.

A Tabela 01 apresenta a diferença entre as emissões das principais fontes de geração de energia.

Tabela 1: Emissão de CO₂ em diferentes tecnologias de geração de energia elétrica.

Tecnologias	Emissões de CO ₂ nos estágios de produção (Ton/GWh)			
	Extração	Construção	Operação	Total
Solar térmico	ND	3	ND	3
Grandes hidrelétricas	ND	4	ND	4
Solar fotovoltaico	ND	5	ND	5
Energia eólica	ND	7	ND	7
Reatores nucleares	2	1	5	8
Pequenas hidrelétricas	ND	10	ND	10
Plantas geotérmicas	<1	1	56	57
Energia térmica oceânica	ND	4	300	304
Planta de queima de gás	-	-	484	484
Planta de queima de óleo combustível	-	-	726	726
Planta de queima de carvão	1	1	962	964

*ND (Não definido)

Fonte: Adaptado de: (WEC COMMISSION et al., 1993).

Dentre os impactos negativos gerados pelos empreendimentos do setor eólico, se destacam os ruídos provocados pelos aerogeradores, mudança na paisagem, choque de morcegos e aves, efeito estroboscópico e interferência eletromagnética. (TERCIOTE, 2002).

Embora seja recente a implantação da energia eólica do Brasil, quando comparada à Europa e Estados Unidos, o ritmo de crescimento é acelerado, impulsionado pelos empreendedores privados e linha de crédito disponibilizada pelo governo federal através do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES).

O uso da energia eólica no Brasil, confirma que o país estará no topo dos produtores mundiais do seguimento. Uma notícia divulgada, em dezembro de 2016 no BIG - Banco de Informações de Geração no site da ANEEL, mostra que o Brasil possui um total de 401 empreendimentos e 10 GW de potência instalada, e prevê nos próximos anos a adição de mais 7GW de potência (ANEEL, 2016).

Quando os impactos ambientais estão relacionados aos ruídos emitidos pelos aerogeradores, a legislação é limitada e não existem normas exclusivas para esse tipo de ruído o que dificulta a avaliação, monitoramento e a fiscalização no território Brasileiro.

Na Europa, onde a utilização da energia eólica é uma realidade antiga, já existem leis ou normas próprias, que variam entre os países, para a avaliação, monitoramento e fiscalização dos ruídos emitidos pelos aerogeradores. Tais leis e normas surgiram depois de vários problemas relacionados aos ruídos das máquinas em áreas urbanas e rurais.

A vida útil média de um aerogerador é de 20 anos, e no caso da fabricante Gamesa, os aerogeradores podem chegar a 30 anos (GAMESACORP, 2015). Com a expectativa de uma máquina operar cerca de três décadas, a deficiência no monitoramento e manutenção poderá comprometer o bom funcionamento dos equipamentos, propiciando que os ruídos gerados estejam em níveis de exposição inseguros aos seres humanos e o meio ambiente. Torna-se fundamental a atualização das normas existentes ou a criação de uma norma regulamentadora específica para ruídos provocados pelos aerogeradores.

O cenário atual, requer a adequação e atualização das normas brasileiras, quanto aos ruídos gerados nos parques e complexos eólicos, tendo em vista que os maiores impactos para ser humano serão percebidos com maior intensidade no médio e longo prazo.

O presente trabalho pretende avaliar o ruído gerado pelos os aerogeradores, bem com criar diretrizes que possam possibilitem a atualização, adequação, ou a criação de uma norma específica para a implantação, operação e monitoramento dos parques eólicos, contribuindo para reduzir o impacto nos seres humanos, principalmente àqueles que trabalham e vivem no entorno dos empreendimentos.

1.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho consiste em definir novas diretrizes, para adequação, atualização e ou criação de normas, que permitam a avaliação, monitoramento e fiscalização dos ruídos emitidos pelos aerogeradores em parques eólicos, nas zonas urbanas e rurais do país.

1.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral, é necessário:

- Estudar o cenário da energia eólica no Brasil e no mundo, os componentes e o funcionamento de um aerogerador, bem como a acústica ambiental e os efeitos e impactos gerados pelo ruído emitido pelo aerogerador ao ser humano;
- Comparar as legislações e normas internacionais relacionadas a ruídos emitidos pelos aerogeradores, com a legislação e norma brasileira;
- Realizar a coleta de dados no Parque Eólico Serra Azul;
- Determinar e avaliar os ruídos emitidos pelos aerogeradores no Parque Eólico Serra Azul.

2 A ENERGIA EÓLICA

Desde o início da navegação, o homem tem utilizado as forças do vento para impulsionar embarcações em uma determinada direção. De modo simplório, a propulsão por meio de velas, consiste na captação de correntes de vento, estas por sua vez geram uma reação na estrutura naval presa às velas, gerando deslocamento em relação a uma determinada posição inicial. Neste caso o que ocorre é a transformação de energia cinética dos ventos em energia mecânica.

O mesmo princípio utilizado nos barcos, mais tarde, seria responsável pela operação dos moinhos de ventos. Os moinhos de ventos são equipamentos que convertem a energia dos ventos em rotação mecânica através das suas pás ou velas. Concebidos na atividade agrícola, têm um papel muito importante para a moagem de grãos, bombeamento de água, drenagem do solo, extração de água subterrânea e quando utilizados para geração de energia elétrica, podem ser considerados como um tipo de turbina eólica. (PAWAR; SHILWANT, 2012).

Dados históricos relatam que o primeiro moinho de vento surgiu na Pérsia, por volta de 200 A.C. Outros indícios relatam que mesmo antes dos moinhos existirem na Pérsia, as invenções surgiram no Império Babilônico (1.700 A.C.) e na China (2.000), utilizados para manejo da irrigação. (CHESF-BRASCEP, 1987), (SHEPHERD, 1994).

Na Holanda, no período entre os séculos XIV e XVII, a diversidade na aplicação dos moinhos de vento no setor agrícola era bem expressiva. Os moinhos eram utilizados desde o bombeamento de água, irrigação processamento de grãos, óleos vegetais, fabricação de papéis até o processamento de madeira.

Em meados do século XVI o número de moinhos de vento contabilizados na Holanda era de 9.000. Em outros países da Europa a quantidade também era expressiva, chegando a 3.000 moinhos na Bélgica, 10.000 na Inglaterra e cerca de 650 na França (CHESF-BRASCEP, 1987).

A FIG. 1 ilustra moinhos de vento no Campo de Criptana, na Província Espanhola da Cidade Real.

Figura 1: Moinhos de Vento no Campo de Criptana - 2005



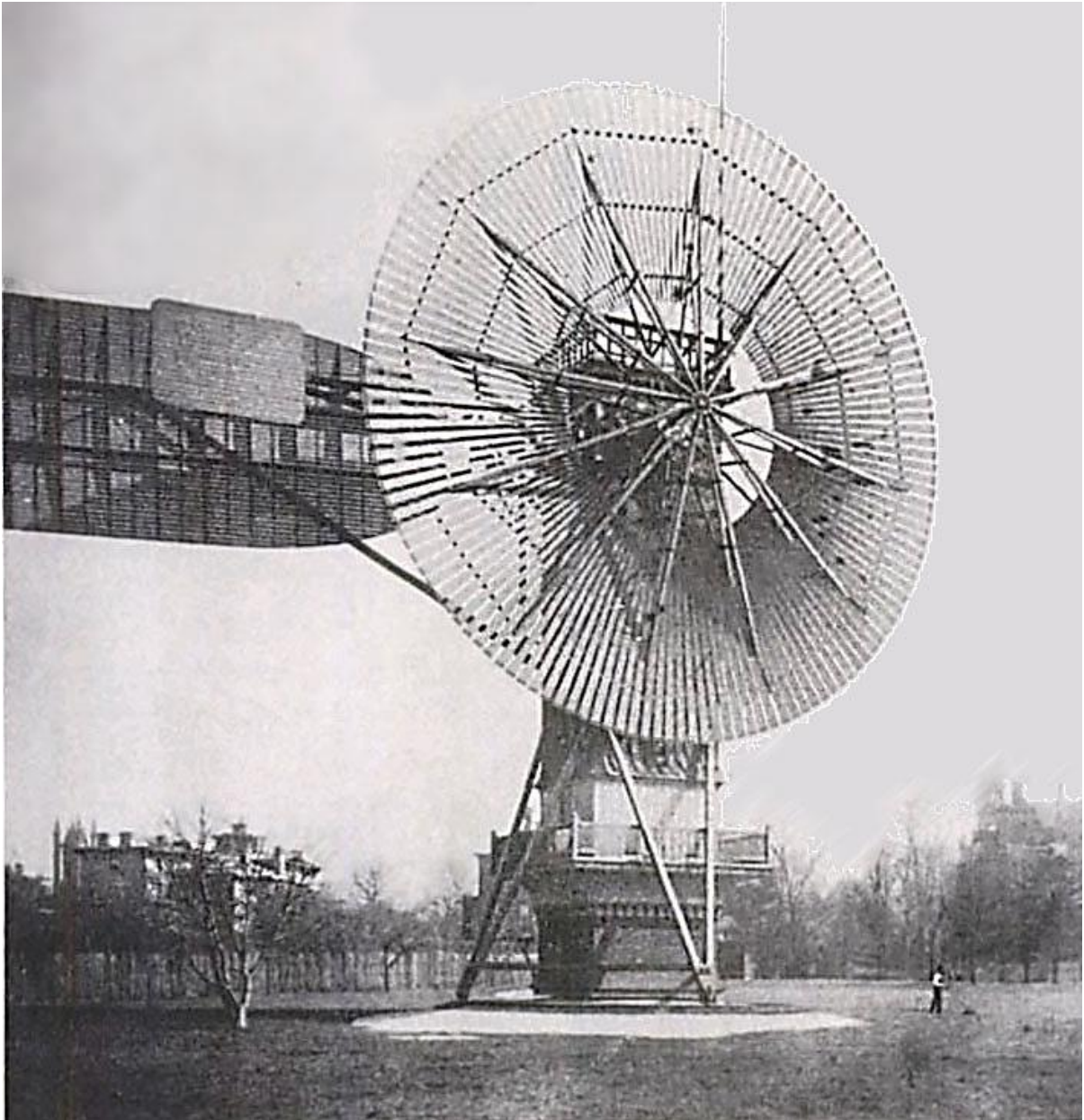
Fonte: QUIJANO, 2005.

Com o surgimento da revolução industrial e das máquinas a vapor, os moinhos de vento tiveram uma queda expressiva e com isso o declínio da energia eólica, haja vista a disponibilidade e eficiência da máquina a vapor frente aos moinhos de vento. No início do século XX a quantidade de moinhos operando eram de apenas 2.000, reduzindo em pouco tempo para 1000 em 1960 (CHESF-BRASCEP, 1987).

Uma pesquisa liderada pelo Charles F. Brush, em 1888 em Cleveland nos Estados Unidos, fez com que cata-ventos, ou seja, moinhos de ventos fossem adaptados, podendo desta forma gerar energia elétrica. Primeiramente fora implantado um equipamento cuja geração de energia elétrica alcançou 12kW em corrente contínua, o equivalente a fornecer energia para 350 lâmpadas incandescentes. A configuração básica do moinho consistia em uma roda principal com 144 pás, com 17m de diâmetro e 18 metros de altura, configuração arcaica se comparada aos dias de hoje, porém de grande significado tecnológico para a época em que foi desenvolvido (SHEFERD, 1994).

O modelo apresentado por Brush foi inovador devido a capacidade da adaptação do sistema aos moinhos antigos para a geração de energia elétrica, bem como a instalação de mecanismos de multiplicadores de giros, que permitiu na época, que cada giro dado pelas pás fosse gerado 50 giros na saída do eixo gerador. A FIG. 2 ilustra o modelo utilizado, conhecido como turbina de Vento de Brush.

Figura 2: Turbina de Vento de Charles Brush - 1888

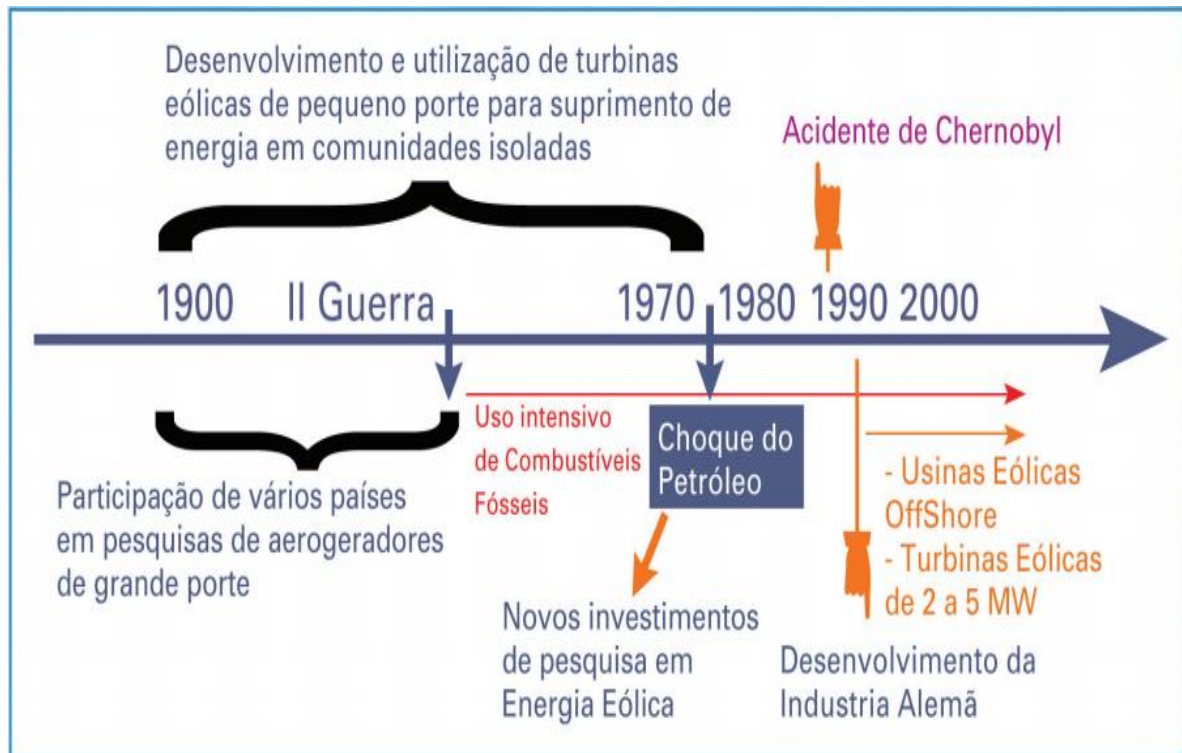


Fonte: WIKIÉDIA, 2016.

A energia eólica passou por alguns cenários de desenvolvimento do século XIX até os dias atuais. A Figura 3 ilustra os principais marcos no desenvolvimento da energia eólica, com destaque no desenvolvimento industrial, o consumo de combustíveis fósseis e a crise do petróleo.

Pode-se perceber que a FIG. 3 ilustra comportamentos distintos entre o período de 1900 a 1970, que tivera como objetivo gerar energia para comunidades isoladas, ao passo que a partir de 1990 a energia eólica está ligada a produção de energia elétrica em escala industrial, dado o elevado rendimento das turbinas eólicas naquela década. A crise do petróleo, acidentes com usinas nucleares permitiram o aumento dos investimentos em energia eólica.

Figura 3: Principais marcos do desenvolvimento da Energia Eólica - Século XX



Fonte: DUTRA, 2001.

2.1 A energia eólica no mundo

No início da década de 70 o preço do barril de petróleo deu um grande salto, aumentando cerca de 4 vezes do valor original, passando de US\$ 3,00 para US\$ 12,00. Os Estados Unidos da América, por sua vez preocupados com este evento investiram em tecnologia através de um programa posto em prática na NASA entre 1974 e 1980, sendo responsável pelo desenvolvimento de 13 projetos de aerogeradores, o que propiciou o início da era comercial dos aerogeradores. Grande parte da tecnologia desenvolvida na época ainda são utilizadas nos aerogeradores modernos (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016a).

Com cerca de 100m de diâmetro do rotor e capacidade para geração de 3,2 MW, em 1987 uma turbina eólica conhecida como MOD-5B, FIG. 4, alcançou tal marca e naquela época bateu o recorde de eficiência energética.

Figura 4: Turbina MOD-5B – 3,2MW



Fonte: BOEING, 2016.

O preço do barril do petróleo volta a disparar em 1979, passando de US\$ 12, para US\$ 40. Este fato foi crucial para impulsionar o investimento na nova fonte de energia renovável, porém em 1986 o preço do barril de petróleo começa a cair e com isso muitas empresas que apostaram no ramo eólico, cerca de 70% deixaram o ramo. O mundo passaria ainda por outra crise do petróleo no século 21 que fez com que o barril de petróleo atingisse marca histórica de US\$ 100, fazendo com que a energia eólica fosse de uma vez por todas consolidada e alavancada pelas políticas mundiais de proteção ao meio ambiente devido ao aquecimento global. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016a).

As informações de capacidade de energia eólica antes de 1980 eram falhas e restritas. Na década de 80 era registrado 7MW de potência total instalada no mundo. As taxas de crescimento entre o ano 2000 e 2015 superavam os 23% ao ano e conseqüentemente a capacidade de energia instalada saltou para 62,8GW correspondendo a 27% do total da capacidade de todas as fontes de energia instaladas no mundo. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016a).

A FIG. 5 apresenta os percentuais e o potencial de energia eólica instalada no mundo e em alguns países. O Brasil ocupa a oitava posição.

Figura 5: Mundo - Potência Instalada e Geração por país (2014)

País	Geração (TWh)	% do Total Gerado no País	Potência Instalada (MW)	Fator de Capacidade (%)	Expansão no Ano (MW)
EUA	192,9	4,5	74.740	31	8.594
China	185,1	3,1	145.109	16	30.500
Alemanha	88,0	14,6	45.018	24	5.825
Espanha	49,3	18,2	23.025	24	-
Índia	41,4	3,1	25.088	20	2.623
Reino Unido	40,4	12,8	14.191	34	1.204
Canadá	24,6	3,9	11.190	27	1.506
Brasil	21,6	3,5	7.633	38	2.745
França	20,2	3,7	10.269	23	932
Suécia	16,6	10,7	6.126	33	602
Itália	14,7	5,4	9.126	19	423
Dinamarca	14,3	44,6	4.932	34	154
Portugal	11,6	21,7	4.815	28	132
Turquia	11,6	4,6	4.503	34	873
Polônia	10,8	6,8	5.150	27	1.265
Austrália	10,7	4,3	4.436	29	380
México	7,9	2,6	3.224	32	714
Holanda	7,5	5,2	3.422	27	546
Romênia	7,0	11,9	2.985	27	23
Irlanda	6,6	24,8	2.546	31	224
Outros	58,5	0,8	27.195	26	3.565
Total	841,2	3,5	434.722	23,8	62.829
%/total*	3,5		7,0		27,0

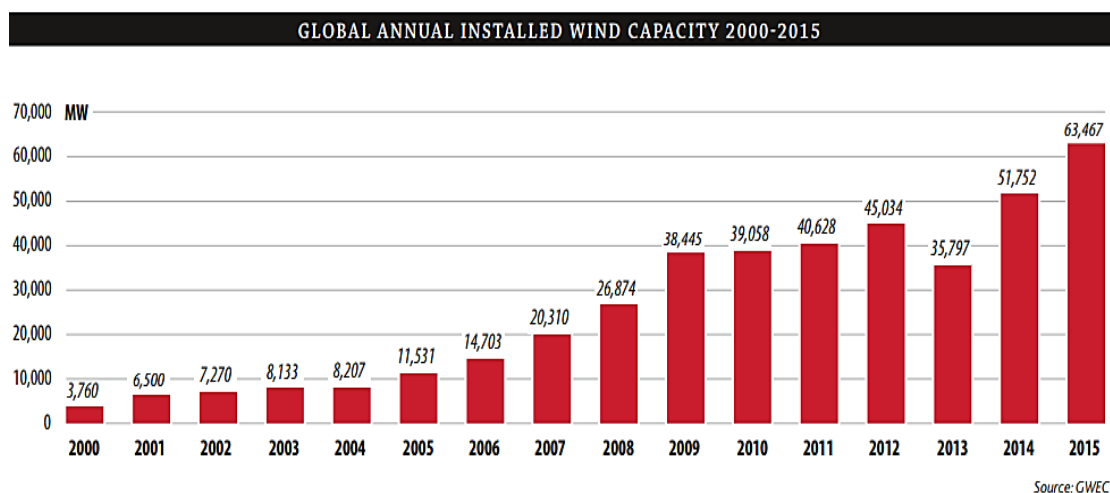
* % da eólica sobre os totais mundiais

Fonte: Adaptado de MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016a.

O Conselho Global de Energia Eólica, uma das mais renomadas instituições de publicação de dados e notícias sobre energia eólica, conhecida como GWEC (Global Wind Energy Council), emitiu um relatório recente que contém Gráficos acerca das evoluções da energia eólica no mundo.

O Gráfico 1 demonstra que a capacidade global anual instalada, num período de 15 anos cresceu de 3.760 para 63.467MW, ou seja, cerca de 17 vezes.

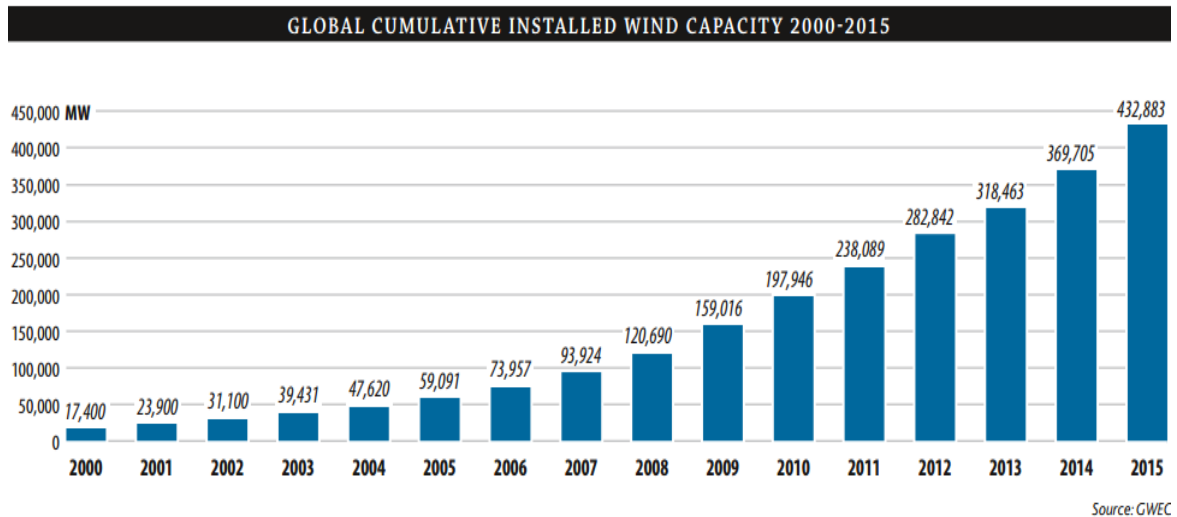
Gráfico 1: Capacidade global anual instalada em MW de 2000 a 2015



Fonte: GWEC, 2016.

O Gráfico 2 demonstra que a capacidade global acumulada no mesmo período acima, ou seja, a soma das capacidades do que existia no ano imediatamente anterior ao ano 2000, somado ano a ano a evolução anual do Gráfico. A capacidade acumulada em 2015 é maior que 24 vezes a capacidade tida no ano 2000.

Gráfico 2: Capacidade Global em MW acumulada de 2000 a 2015

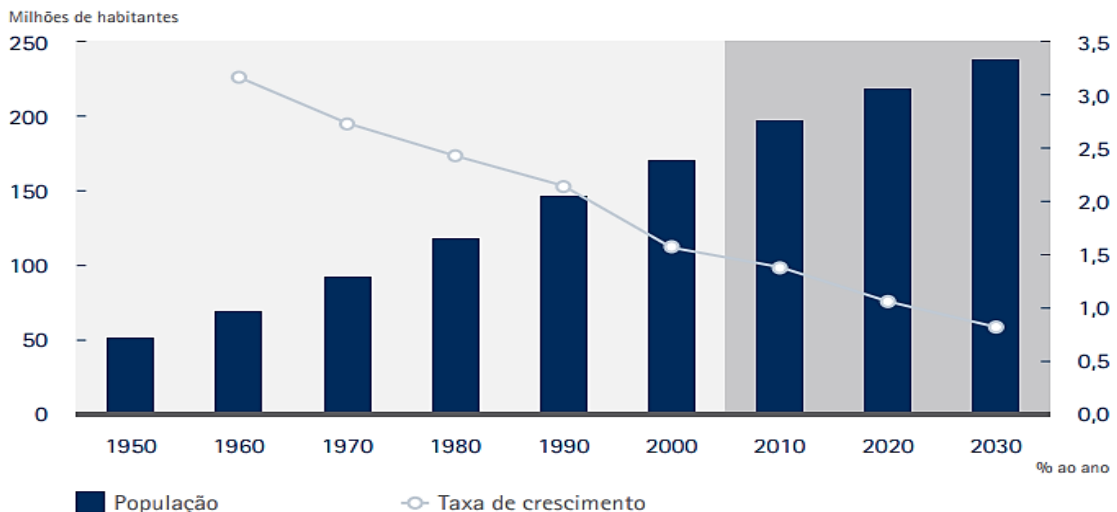


Fonte: GWEC, 2016.

2.2 A energia eólica no Brasil

O crescimento populacional e econômico do Brasil nas últimas cinco décadas foram fatores determinantes para o crescimento da demanda energética do país. Um estudo realizado em 2007 pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), que está ligada ao Ministério de Minas e Energia do Brasil, prevê que até o ano de 2030 a população do Brasil ultrapasse 238 milhões de pessoas. (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007.)

Gráfico 3: Brasil – Crescimento demográfico

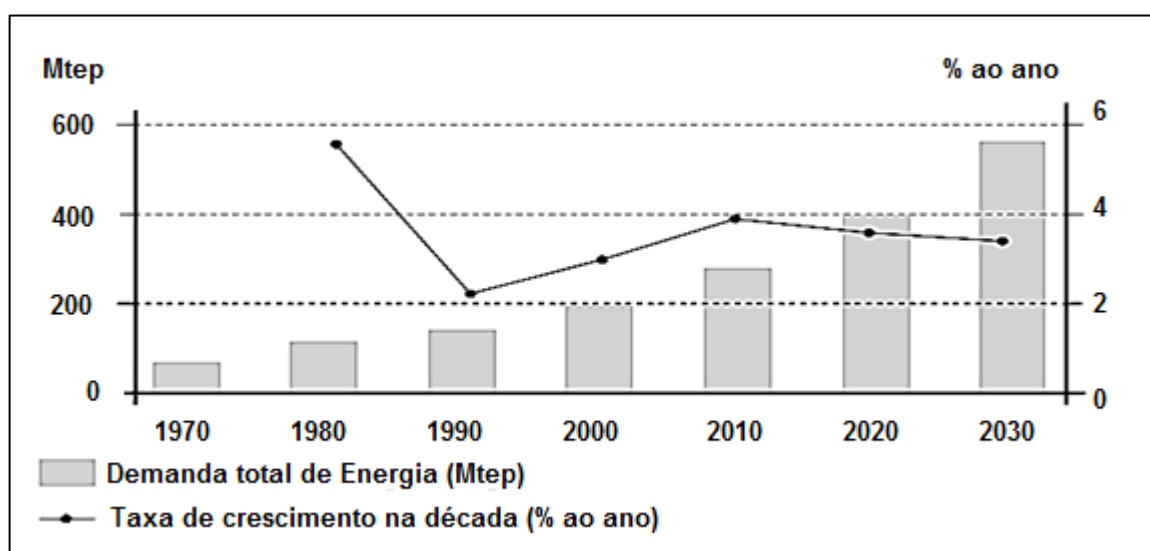


Fonte: EPE, 2007.

O processo acentuado da industrialização e expressivo crescimento demográfico aliada ao crescimento da taxa de urbanização fizeram com que o consumo e a demanda energética do Brasil desse um salto histórico, tornando necessária a intervenção do governo para fortalecer, diversificar e aumentar a matriz energética do país. (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007.)

O Gráfico 4 apresenta uma projeção, desde a década de 1970 até 2030, da demanda energética em tep (toneladas equivalentes de petróleo) no Brasil. Segundo ANEEL 2017, a “tep” "é utilizada na comparação do poder calorífero de diferentes formas de energia com o petróleo. Uma “tep” corresponde à energia que se pode obter a partir de uma tonelada de petróleo padrão.

Gráfico 4: Evolução da demanda de energia e taxa de crescimento - 1970 a 2030



Fonte: Adaptado de EPE, 2007.

Com a perspectiva no aumento da demanda de energia, o Governo Federal em 2004 instituiu por meio do decreto nº 5.025 o PROINFRA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica), que teve como objetivo aumentar a participação da energia elétrica produzido por setores de geração alternativa de energia, dentre as quais se destaca a energia eólica. Em 2009 foi promulgada a Lei nº 11.943 que determinou, que o prazo para o início do funcionamento desses empreendimentos fosse em 30 de dezembro de 2010. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016b).

Pouco mais de três anos após o lançamento do PROINFRA, o Brasil deu um considerável salto na geração de energia eólica, partindo de 22MW para 414 MW instalados, o que significou um aumento de 19 vezes na geração de energia por meio dessa fonte alternativa. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2016b).

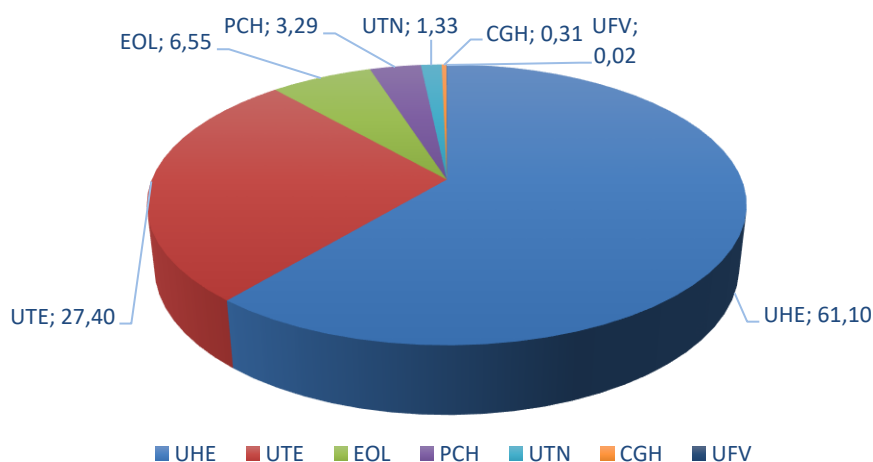
Em 2016, a ANEEL divulgou dados da matriz energética brasileira, demonstrando o panorama nacional atual e a perspectiva para os próximos anos. Com a união de todas as fontes de energia, o Brasil conta hoje com 4.613 empreendimentos, totalizando 149,7GW (Tabela 2, Gráfico 5). Há a previsão de que para os próximos anos mais 25,5GW sejam computados através de 202 empreendimentos em construção (Tabela 3, Gráfico 6) e outros 655 com obras não iniciadas. Atualmente a energia eólica é responsável por 6,55% da potência total instalada e nos próximos anos aumentará a participação ficando com cerca de 9% da potência total instalada no Brasil (ANEEL, 2016).

Tabela 2: Empreendimentos em operação – ANEEL 2016.

Tipo	Descrição	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Contribuição por tipo de empreendimento (%)
UHE	Usina Hidrelétrica	218	101.076.620	91.459.470	61,10
UTE	Usina Termelétrica	2.937	42.678.345	41.043.952	27,40
EOL	Central Geradora Eólica	401	9.857.338	9.804.560	6,55
PCH	Pequena Central Hidrelétrica	442	4.929.517	4.919.884	3,29
UTN	Usina Termonuclear	2	1.990.000	1.990.000	1,33
CGH	Central Geradora Hidrelétrica	571	460.662	462.324	0,31
UFV	Central Geradora Solar Fotovoltaica	42	27.008	23.008	0,02
Total		4.613	161.019.490	149.703.198	100

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2016.

Gráfico 5: Percentual de contribuição produção energética por tipo de empreendimento em operação



Fonte: Adaptado de ANEEL, 2016.

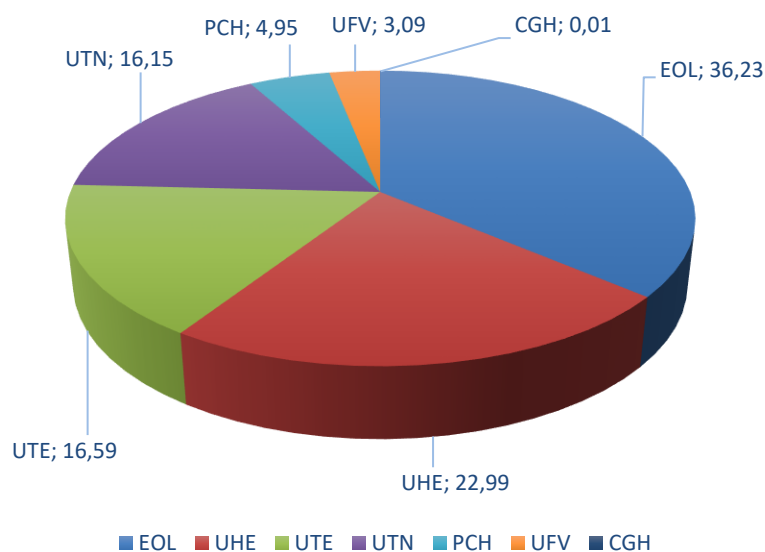
Tabela 3: Empreendimentos em construção – ANEEL 2016.

Tipo	Descrição	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Contribuição por tipo de empreendimento (%)
EOL	Central Geradora Eólica	133	3.029.600	36,2
UHE	Usina Hidrelétrica	6	1.922.100	23
UTE	Usina Termelétrica	21	1.386.950	16,6
UTN	Usina Termonuclear	1	1.350.000	16,2
PCH	Pequena Central Hidrelétrica	31	414.153	4,95
UFV	Central Geradora Solar Fotovoltaica	9	258.000	3,09
CGH	Central Geradora Hidrelétrica	1	848	0,01
Total		202	8.361.651	100

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2016.

O Gráfico 6 mostra a participação de cada uma das fontes de geração dos empreendimentos em construção

Gráfico 6: Percentual de contribuição produção energética por tipo de empreendimento em construção



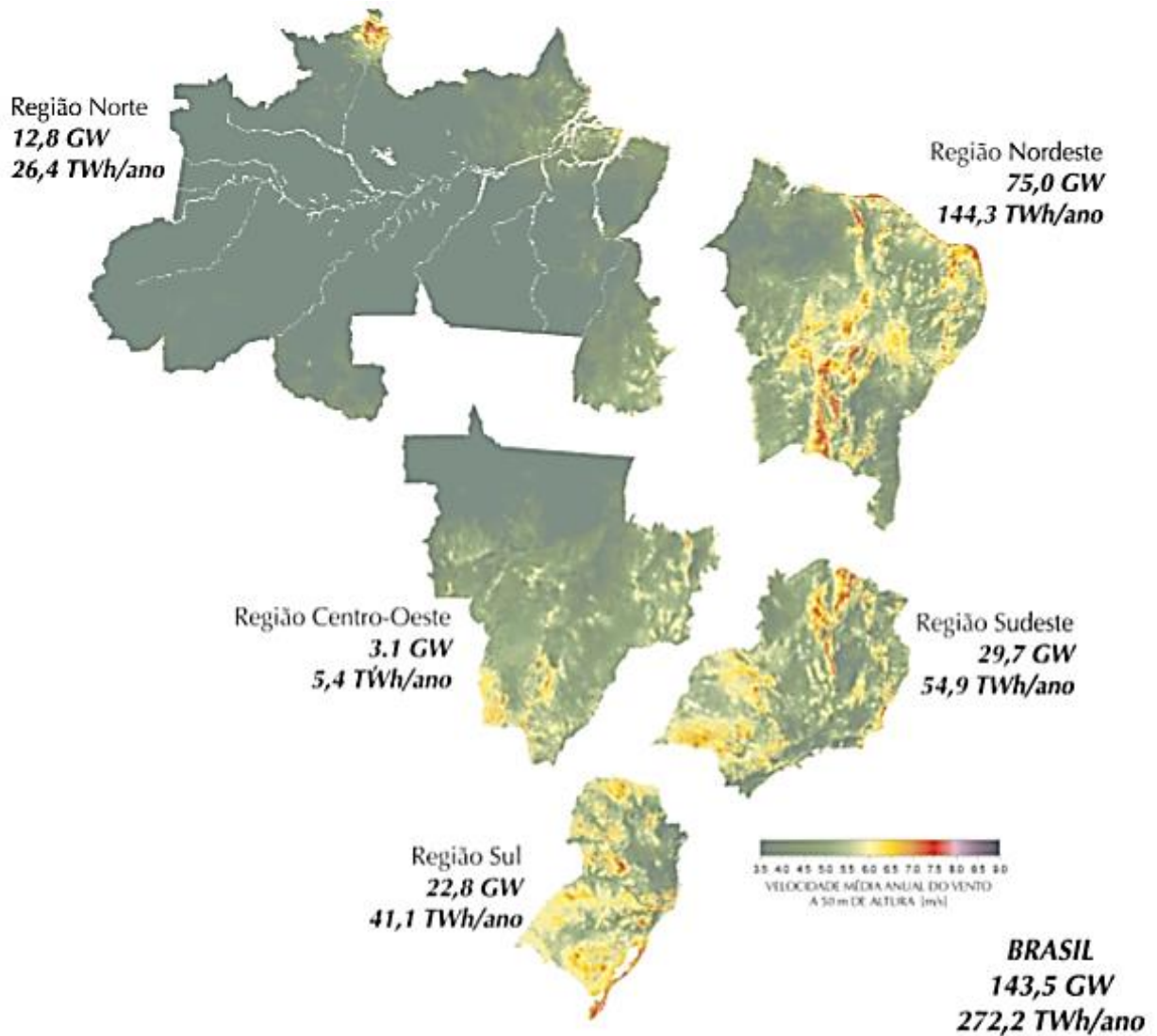
Fonte: Adaptado de ANEEL, 2016.

2.2.1 O potencial eólico do Brasil

Um estudo realizado pela CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica) mostrou que o Brasil possui grande potencial eólico, com previsão bruta de geração de mais de 143GW. O estudo teve grande importância e é considerado um marco comprobatório, que fez com que o Brasil adotasse e investisse na implantação de energia eólica para compor sua matriz energética. Dentre as regiões brasileiras a que mais se destaca em potencial eólico é a região

nordeste, que detém 52% do potencial, o que equivale a 75GW. (AMARANTE *et al.*, 2001). A FIG.6 apresenta o mapa do potencial eólico Brasileiro dividido por região.

Figura 6: Potencial eólico Brasileiro por região



Fonte: AMARANTE *et al.*, 2001.

2.3 A geração de energia eólica no estado da Bahia

A Bahia se destaca como um dos estados detentores de maior potencial eólico no Nordeste e no Brasil. Segundo a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, a Bahia que no final de 2015 fechou o ranking em capacidade instalada de energia eólica em quarto lugar, conseguiu no primeiro trimestre de 2016, superar os estados do Ceará e Rio Grande do Sul, ficando em 2º lugar no Ranking (Tabelas 4 e 5). (CCEE 2016).

Segundo a GWEC - Global Wind Energy Council, a Bahia até o final de 2015 possuía 62 empreendimentos instalados no estado. (GWEC 2016).

Tabela 4: Ranking de produtores de Energia eólica

Posição	Estado	MW médios
1°	Rio Grande do Norte	855,5
2°	Bahia	601
3°	Rio Grande do Sul	477
4°	Ceará	434
5°	Piauí	157,5
6°	Pernambuco	90
7°	Santa Catarina	29
8°	Paraíba	13
9°	Rio de Janeiro	7,5
10°	Sergipe	6

Fonte: Adaptado de Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, 2016.

Tabela 5: Ranking da capacidade instalada de energia eólica no Brasil.

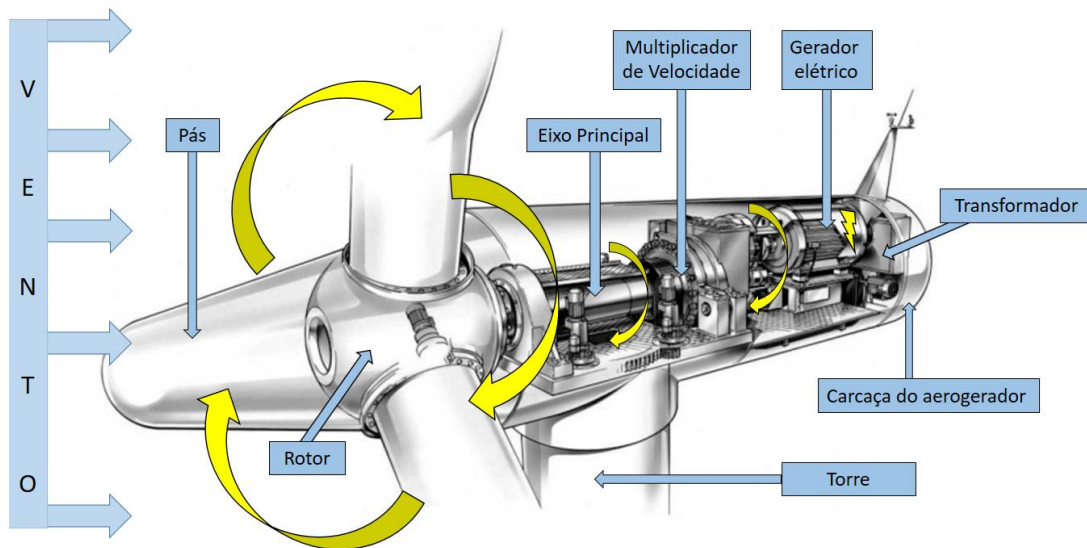
Posição	Estado	MW
1°	Rio Grande do Norte	2.661
2°	Bahia	1.720
3°	Ceará	1.615,50
4°	Rio Grande do Sul	1.515
5°	Piauí	734,7
6°	Santa Catarina	224
7°	Pernambuco	192
8°	Paraíba	59,5
9°	Sergipe	34,5
10°	Rio de Janeiro	28

Fonte: Adaptado de Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, 2016.

2.4 O aerogerador

Os aerogeradores são equipamentos que convertem energia mecânica dos ventos em energia elétrica. A FIG. 7 apresenta uma turbina eólica disposta horizontalmente, sendo esta a mais comum e utilizada, dispondo de vários mecanismos para tornar possível a geração de energia. (ISLAM; MEKHILEF; SAIDUR, 2013).

Figura 7: Principais componentes de um aerogerador.



Fonte: Adaptado de (ACKERMANN; SÖDER, 2002), p. 93.

De maneira simplória, a geração de energia elétrica por um aerogerador segue basicamente as principais etapas, conforme descrito na Tabela 6.

Tabela 6: Etapas principais de geração elétrica por aerogeradores

Etapas	Descrição
1	Os ventos surgem por diferenças de pressão ao longo da superfície terrestre, devidas ao fato de a radiação solar recebida na terra ser maior nas zonas equatoriais do que nas zonas polares. A origem do vento é, portanto, a radiação solar. As correntes de vento se chocam contra as pás (hélices) que iniciam um movimento rotativo.
2	Um rotor (cubo) conectado às pás transmite o movimento de rotação das pás para o eixo principal, também conhecido como eixo da caixa multiplicadora.
3	A caixa multiplicadora eleva os giros, de entrada, das pás através de trens de engrenagens, fazendo com que a rotação na saída da multiplicadora seja bem maior que a rotação na entrada.
4	Através dos movimentos circulares, giros, concebidos pela multiplicadora o gerador converte energia mecânica em energia elétrica.
5	O gerador por sua vez, transfere a energia gerada para um transformador que adequa a tensão e/ ou corrente gerada para ser conectada com a subestação de energia.
6	Ao chegar na subestação de energia elétrica é ajustada para uma tensão menor de forma a distribuir na rede de transmissão. Esta poderá ser uma rede de alta tensão, rede industrial ou residencial

Fonte: Do Autor

2.4.1 Componentes e funcionamento

Um sistema gerador eólico, ou seja, um aerogerador, é composto por uma série de elementos, dos quais se destacam os componentes mecânicos e elétricos. O funcionamento adequado dos componentes de um aerogerador é condição necessária para alcançar desempenho e rendimento satisfatório na captação e geração de energia.

Para a geração de energia através de uma turbina eólica, devem ser considerados os seguintes componentes principais, conforme Tabela 7.

Tabela 7: Função dos principais componentes de um aerogerador

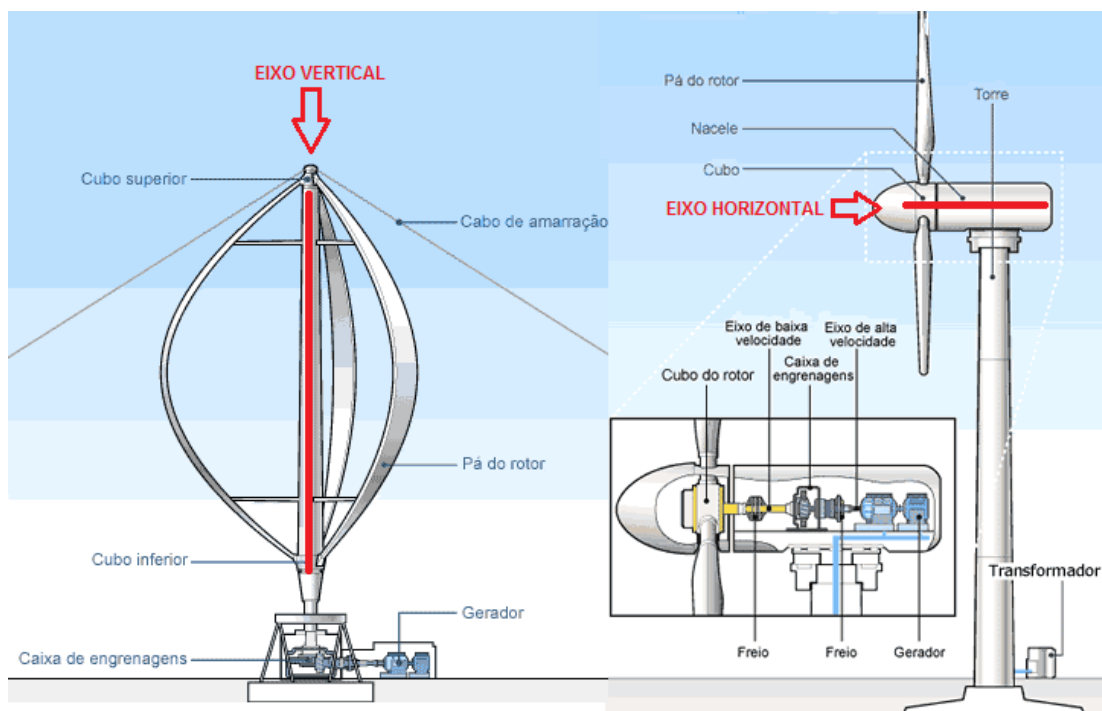
Componentes	Função
Rotor	Responsável por captar os fluxos de vento, ou deslocamento de massa de ar, e transmitir o movimento rotatório para o eixo principal da turbina.
Transmissão e Caixa Multiplicadora	A transmissão é o elemento responsável por transmitir a energia mecânica rotatória da saída do eixo rotor até o mecanismo de geração. A transmissão é composta por eixos e engrenagens e uma caixa multiplicadora, que aumenta a eficiência na transformação da energia mecânica, aumentando a energia cinética, ou seja, para cada volta do eixo do rotor a caixa multiplicadora transforma em várias voltas. Essa tecnologia aumenta a eficiência da geração de energia.
Mecanismos de Controle	Os mecanismos de controle são responsáveis pelo posicionamento das pás, rotação da torre, controle de velocidade do rotor, controle de velocidade e de carga, controle dos geradores, frenagem e segurança do sistema. Os controles podem ser mecânicos, aerodinâmicos, hidráulicos e elétricos.
Gerador Elétrico	Os geradores que mais despontam para aplicações em sistemas eólicos são as máquinas de indução com rotor em gaiola, em esquemas eólicos de velocidade fixa, as máquinas assíncronas duplamente excitadas e finalmente as síncronas, com enrolamento de campo e rotor bobinado, nos sistemas de velocidade variável. As máquinas síncronas de ímã permanente são hoje também vistas como uma boa alternativa, pela eliminação da caixa de engrenagens. Os geradores a ímã permanente, por outro lado, podem apresentar sérios problemas de regulação de tensão em situações de variação na velocidade da máquina primária ou da carga elétrica, pois os mesmos não possuem um controle da tensão de campo, como as máquinas síncronas bobinadas

Fonte: Adaptado de (BAUER et al., 2000).

a) Rotores

Conhecidos também como turbinas eólicas, os rotores são os principais componentes da máquina, pois são eles que captam o vento e transferem a energia através de um eixo para o sistema. As configurações das turbinas impactam diretamente no funcionamento e rendimento da máquina. Conforme pode ser visto na FIG. 8 os rotores possuem diversas classificações, porém a propriedade que mais se destaca é a orientação do eixo principal, o qual pode ser horizontal ou vertical.

Figura 8: Disposição dos eixos de turbinas eólicas



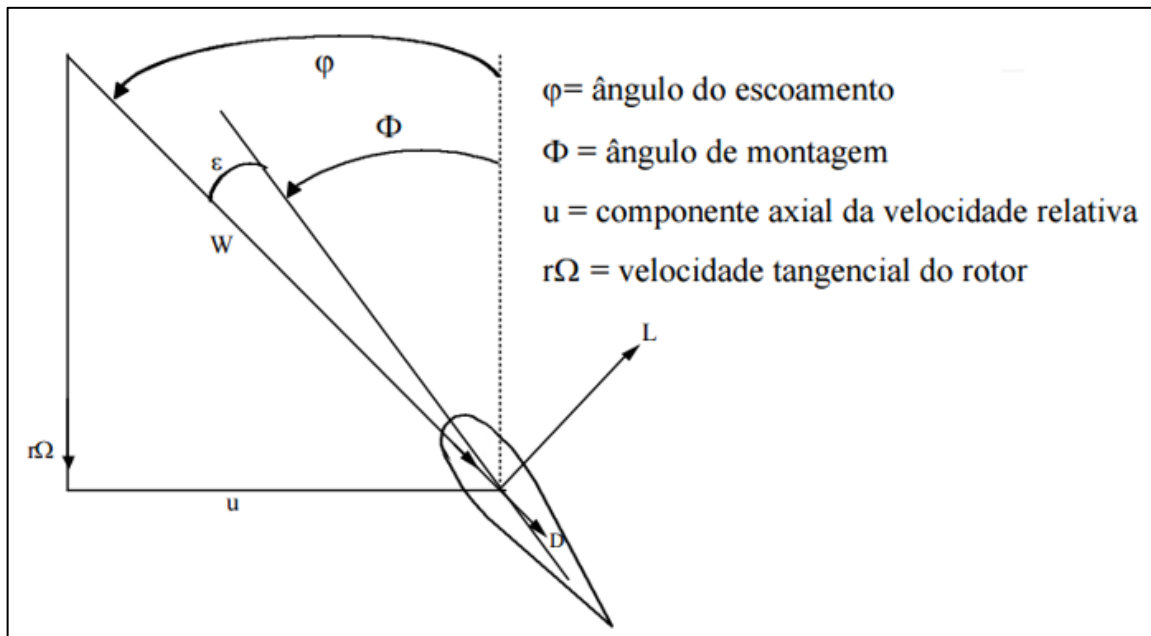
Fonte: Adaptado de HSW, 2016.

Os rotores de eixo horizontal, são os mais utilizados. A movimentação do eixo horizontal se dá pelas forças aerodinâmicas de sustentação (L) e de arrasto (D). A força de sustentação atua nas pás, que por sua vez são tangenciais a trajetória circular na superfície atrelado ao sentido de rotação do perfil aerodinâmico do conjunto. As forças de arrasto atuam tangenciando os perfis das pás, causando uma reação na sua superfície, propiciando a movimentação.

Segundo Martins, Guarnieri e Pereira 2008, as pás ao obstruir as correntes e massas de ar, sofrem a ação de forças que estão perpendiculares ao escoamento do fluido, essas são ditas forças de sustentação. As forças conhecidas como força de arrasto atuam na direção do escoamento. Existe proporcionalidade, para ambas forças, entre o quadrado de velocidade relativa do vento (W). As forças de sustentação se relacionam e são dependentes da forma,

geometria das pás e do ângulo de ataque (ε) contido no corpo, que se forma entre a velocidade relativa do vento e o eixo do corpo, como na FIG. 9.

Figura 9: Esquema de forças atuantes nas pás

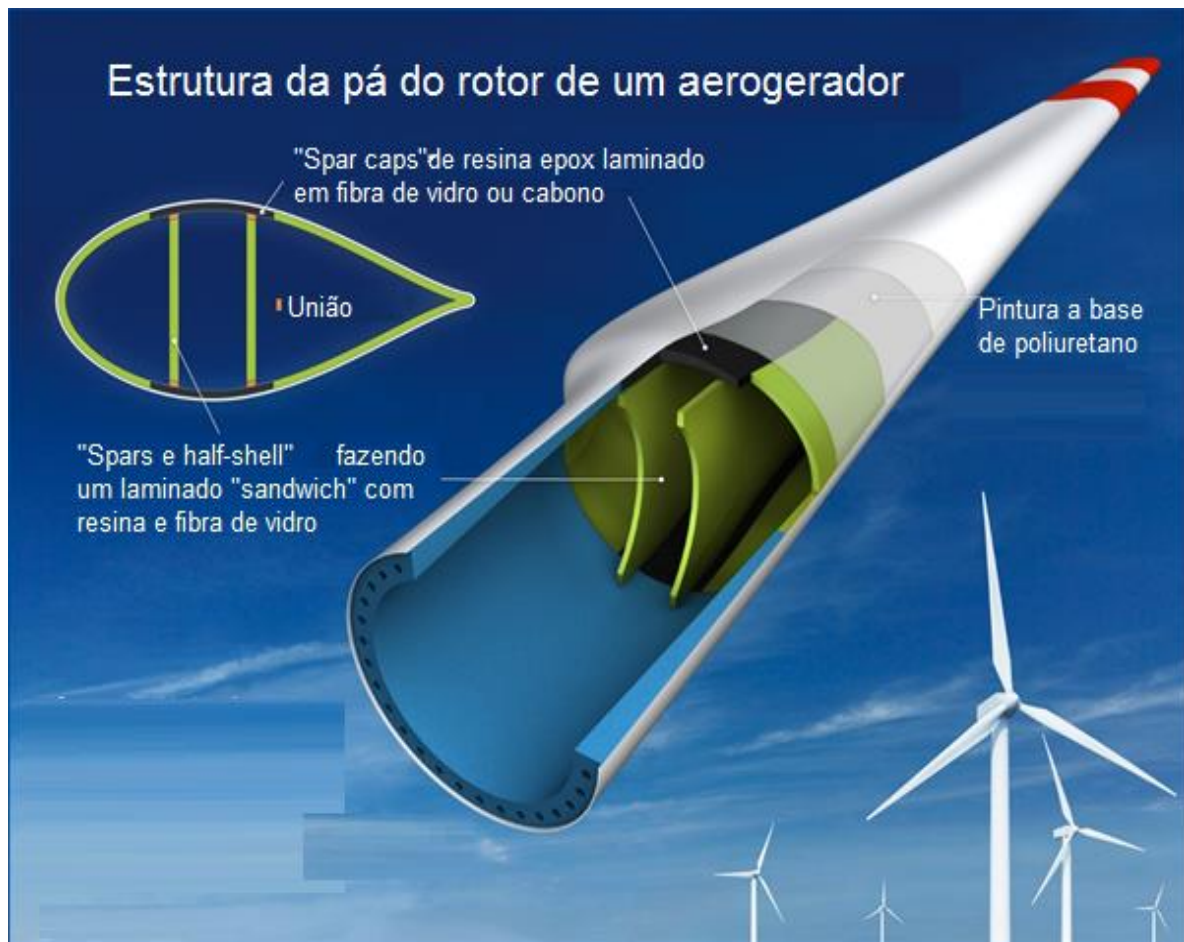


Fonte: MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2008.

As pás, como já foi visto, são partes importantes e determinantes para o giro do rotor. Por este motivo o processo que envolve a sua fabricação é altamente controlado e de alto custo. Para aumentar a eficiência, redução de peso, e custo, as pás são feitas de fibra de vidro, através do processo de laminação e infusão a vácuo de resina epóxi ou poliéster. A utilização dos materiais, tais como: resinas de poliéster e epóxi, reduzem o peso drasticamente se comparado com estruturas metálicas.

A FIG. 10 apresenta o esquema e estrutura das pás de um rotor de uma turbina eólica, demonstrando os principais materiais utilizados e as camadas em que os materiais são colocados. O projeto e forma construtiva das pás já são dimensionados para suportar os esforços solicitantes gerados pelo peso da estrutura pela ancoragem das pás nos rotores, velocidade do vento no bordo de ataque, vibrações e intempéries. Vale ressaltar que a fibra de vidro tem papel importante na proteção da pá, pois os materiais feitos de fibra não sofrem corrosão e possuem proteção ultravioleta na sua camada superficial.

Figura 10: Estrutura da pá do rotor de um aerogerador



Fonte: Adaptado de BASF, 2016.

b) Transmissão (caixa de engrenagens)

A transmissão, que engloba a caixa multiplicadora, possui a finalidade de transmitir a energia mecânica, entregue pelo eixo do rotor até o gerador, multiplicando sua velocidade angular. Esta é composta por eixos, mancais, engrenagens de transmissão e acoplamentos.

A caixa de engrenagens é responsável pelo acoplamento dos diversos eixos contidos no aerogerador. A caixa transmite movimento rotatório de um ponto de entrada para um ponto de saída. As velocidades são variadas de acordo com o conjunto de engrenagens aplicadas.

A velocidade angular dos rotores tem uma variação entre 20 a 150 rpm, as restrições se devem às velocidades alcançadas nas extremidades das pás. (JENKINS et al., 2000). Por meio do conjunto de trens e caixa de engrenagens a rotação do eixo no gerador é entregue com valores muito elevados (em geral, entre 1200 a 1800 rpm). Essa diferença de rotação, conhecida como relação de entrada e saída, só é possível com a utilização de sistemas multiplicadores.

Além do conjunto de caixa de engrenagens, outra tecnologia similar foi produzida para a multiplicação das rotações do eixo de entrada. Esta tecnologia consiste no acoplamento direto do eixo ao gerador. Neste caso ao invés da utilização das engrenagens multiplicadoras, se utilizam geradores multipolos, de baixa velocidade e maior diâmetro, o que resulta na redução do comprimento axial da parte móvel do aerogerador. Neste caso o maior responsável pela multiplicação da eficiência são os geradores. (HANSEN et al., 2002).

Embora haja diferentes tecnologias, as multiplicadoras (FIG. 11 e 12) continuam sendo os mecanismos mais utilizados na atualidade para aumento da rotação na entrada do eixo do gerador.

Figura 11: Caixa de transmissão - Multiplicadora



Fonte: CRESESB, 2016.

Figura 12: Multiplicadora com engrenagens aparentes



Fonte: WIND ENERGY, 2016.

c) Mecanismos de Controle

Com os objetivos de melhor aproveitamento das correntes de vento, redução da turbulência e segurança na operação, os aerogeradores em sua maioria dispõem de alguns mecanismos de controle, dos quais se destacam o “pitch control”, “yaw control” e “stall control”.

O “pitch control” tem como principal objetivo efetuar a rotação das pás no eixo acoplado ao rotor (cubo). Segundo Muljadi e Butterfield (2001), o controle de passo precisa estar ativo no sistema, ou seja, recebendo pulsos de informações de um controlador.

No método de controle supracitado, o controlador eletrônico mede a taxa de saída de energia várias vezes por segundo. Se constatado que a saída de energia está elevada, ou seja, próximo do limite de geração de energia do aerogerador, o controlador emite um comando através de pulsos elétricos para o “pitch control” (controle de passo), que imediatamente aciona (gira) as pás do rotor, reduzindo a resistência às correntes de vento na sua superfície. De modo análogo, em situações de correntes de vento de baixas velocidades, o mecanismo é acionado de forma a captar o máximo de energia possível fornecida pelo vento, aumentando a eficiência do sistema. (DWIA, 2017).

A FIG. 13 ilustra o movimento dado pelo “pitch control”.

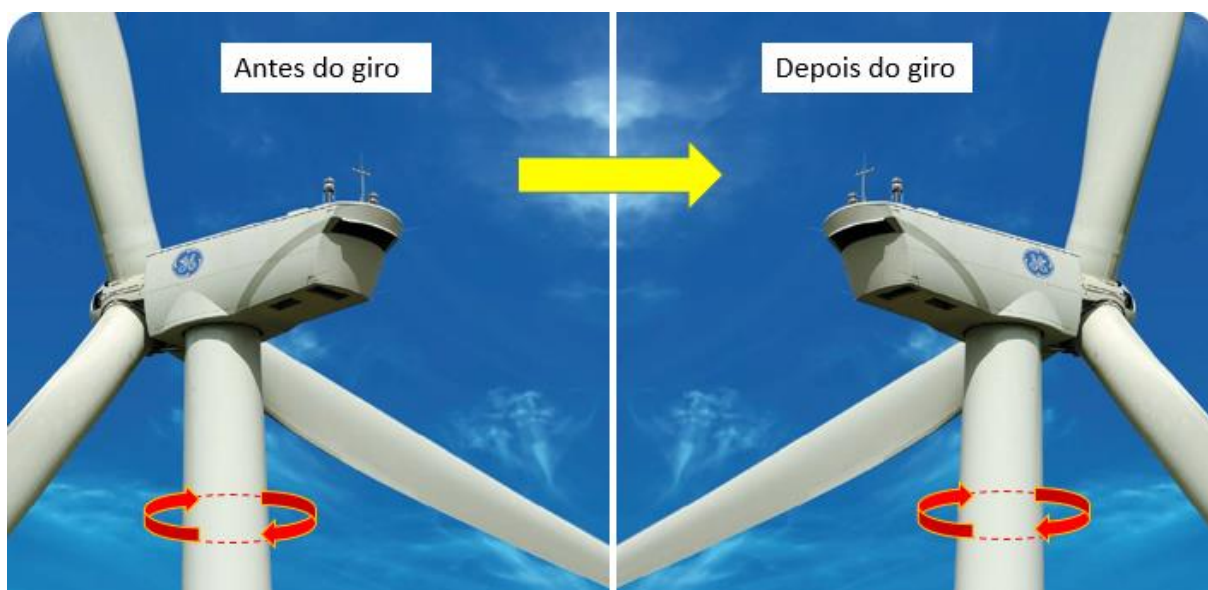
Figura 13 : Pitch Control (Controle de Passo) ilustração de rotação das pás



Fonte: Adaptado de Vestas 2017.

O “yaw control”, consiste num mecanismo de controle de giro do aerogerador em relação a torre. O mecanismo é acionado após controladores receberem informações relativas à direção do vento. Para o maior aproveitamento do vento é recomendado que a posição do aerogerador em relação ao vento seja perpendicular. A FIG. 14 ilustra o movimento do aerogerador.

Figura 14: Yaw Control – Ilustração de rotação do aerogerador em relação a torre



Fonte: Adaptado de WPE, 2017.

O controle de rotação nas torres e das pás é extremamente necessário, pois evita que a potência de entrada seja superior a potência nominal da máquina, permitindo que o sistema trabalhe dentro dos parâmetros de projeto do fabricante, assegurando a segurança da operação e contribuindo para o aumento da vida útil das máquinas.

A utilização do “stall control” (Controle de bloqueio) se deu inicialmente nas décadas de 80 e 90. O que existe no “stall control” é uma predeterminação de projeto, que consiste na determinação do ângulo de passo, o qual é escolhido para ventos que atuem com velocidades superiores a velocidade nominal. Este método reduz as forças de sustentação e aumenta as forças de arrasto e conseqüentemente mantém a potência do rotor próximo da potência nominal. Um dos inconvenientes é o ruído aerodinâmico gerado, que passa a ser mais perceptível por conta das regiões de turbulência nas pás.

. Com o aumento do porte e potência dos aerogeradores a utilização do “stall control” foi substituída pelo “pitch control”. Num evento ocorrido em Hamburgo na Alemanha em 2002, conhecido como “ Wind Energy 2002”, ficou convencionada a utilização do “pitch control” (controle de passo) para turbinas com diâmetro maior ou igual a 62 metros. (DE VRIES, 2002).

Existe uma aderência significativa do escoamento do ar em torno dos perfis das pás do rotor, o que produz sustentação aerodinâmica e pequenas forças de arrasto. (NUNES, 2003). A FIG. 15 apresenta o comportamento do escoamento no perfil da pá de um rotor sem considerar o “stall” ou o “pitch control”.

Figura 15: Escoamento em torno do perfil de uma pá de rotor não controlado



Fonte: CRESESB, 2016.

Diferentemente do “pitch control” o “stall control” age passivamente e reage conforme a velocidade do vento. Neste caso as pás não efetuam o giro, e logo não podem adequar o seu perfil de acordo com a velocidade do vento. A FIG. 16 apresenta a turbulência formada na parte inferior do perfil, necessária para a ação do “stall control”

Figura 16: Escoamento em torno do perfil de uma pá de rotor com “stall control”



Fonte: CRESESB, 2016.

d) Geradores

A seleção do gerador depende alguns fatores de projeto e geração de energia, ademais há uma grande variedade de controles associados às turbinas eólicas. A maior dificuldade na seleção correta de um gerador é dada pelo tipo de operação do aerogerador, ou seja, se utilizará velocidade fixa ou variável. Outro ponto a ser levado em consideração é o tipo de rede elétrica ao qual o conjunto será ligado. (NUNES, 2003).

A escolha do gerador deve, dentre outros, se basear na diversidade e variedade de aplicação que se apresenta na Tabela 8, de modo a inserir adequadamente o dispositivo ao sistema de geração do aerogerador.

Tabela 8: Aspectos principais para escolha do gerador

Fatores	Descrição
Velocidade do Vento	Comportamento característico da velocidade do vento e consequentemente do torque mecânico de entrada na turbina no local onde se pretende implementar o sistema eólico, uma vez que alterações da energia eólica captada induzem variações da potência mecânica disponível no eixo do rotor do gerador;
Frequência e Tensão	Exigência de frequência e tensão constantes na energia elétrica final produzida;
Rede Elétrica	Rede elétrica fraca, com limitações na transmissão da potência elétrica, ou sistema forte com reservas de potência reativa;
Instalação e Manutenção	Facilidade de instalação, operação e manutenção do gerador em situações de isolamento geográfico, sobretudo em casos de pequena escala de produção em redes elétricas isoladas.

Fonte: Adaptado de NUNES, 2003.

Atualmente se destacam quatro tipos de geradores: as máquinas de indução de rotor em gaiola; os geradores assíncronos duplamente excitados; as máquinas síncronas a ímã permanente e os geradores síncronos de rotor bobinado.

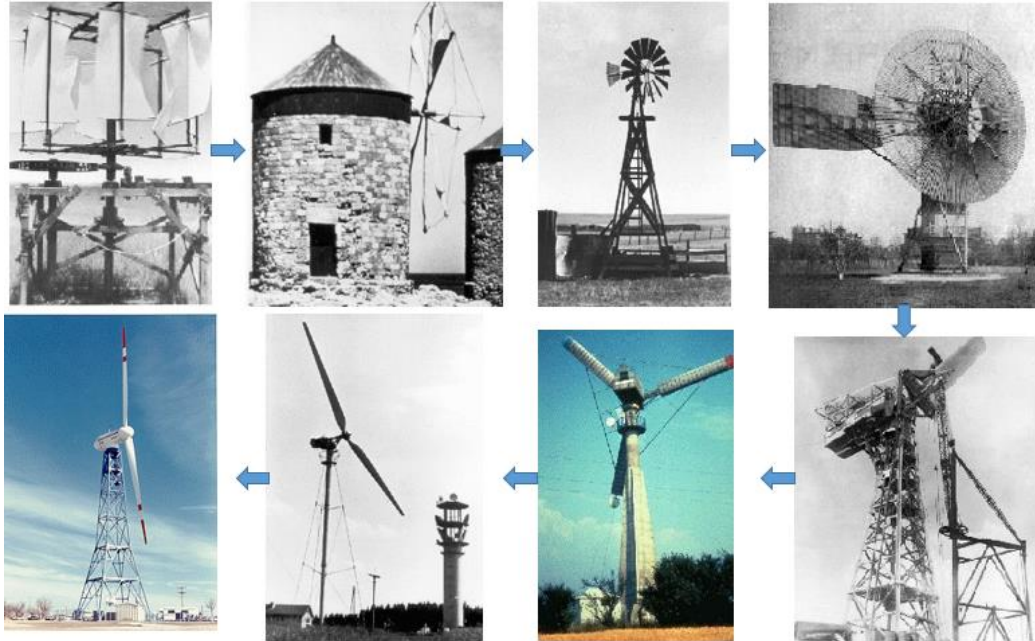
2.4.2 A evolução dos aerogeradores

As turbinas eólicas têm evoluído com o tempo. Há de se considerar que no início se tratavam de simples moinhos adaptados para a geração de energia elétrica e hoje de maneira expressiva podem ser comparadas as mais modernas máquinas de tecnologia.

A Figura 17 ilustra as diferenças construtivas e de projeto entre os primeiros moinhos, até os aerogeradores modernos vistos hoje. Pode-se notar que o princípio básico de

funcionamento permanece, que neste caso é dado pelo giro de pás, paletas e velas. A expressiva mudança se dá nos materiais utilizados, no design e na eficiência alcançada,

Figura 17: Evolução das turbinas eólicas



Fonte: Adaptado de TELOSNET, 2016.

A Figura 18 apresenta um dos modelos mais recentes lançados no mundo com alto rendimento. Com diâmetro do rotor de 136m a potência chega aos formidáveis 3,45MW.

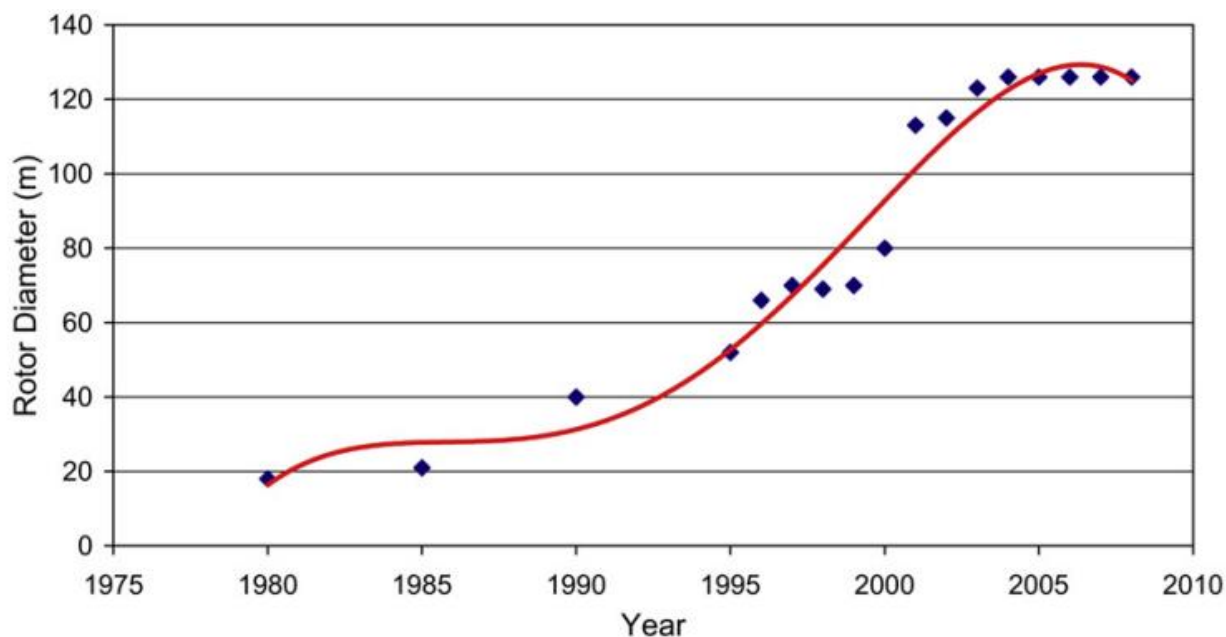
Figura 18: Modelo Vestas V136-3.45 MW – 2016



Fonte: Vestas, 2016.

Com o passar dos anos, os rotores foram aumentando de tamanho, crescendo consequentemente a eficiência na transformação e geração de energia. O Gráfico 7 apresenta a relação entre o diâmetro dos rotores com o tempo. É possível perceber, pelo comportamento da curva, que a evolução entre os anos de 1990 e 2005 foi consideravelmente acelerado.

Gráfico 7: Evolução do diâmetro do rotor das turbinas eólicas contemporâneas



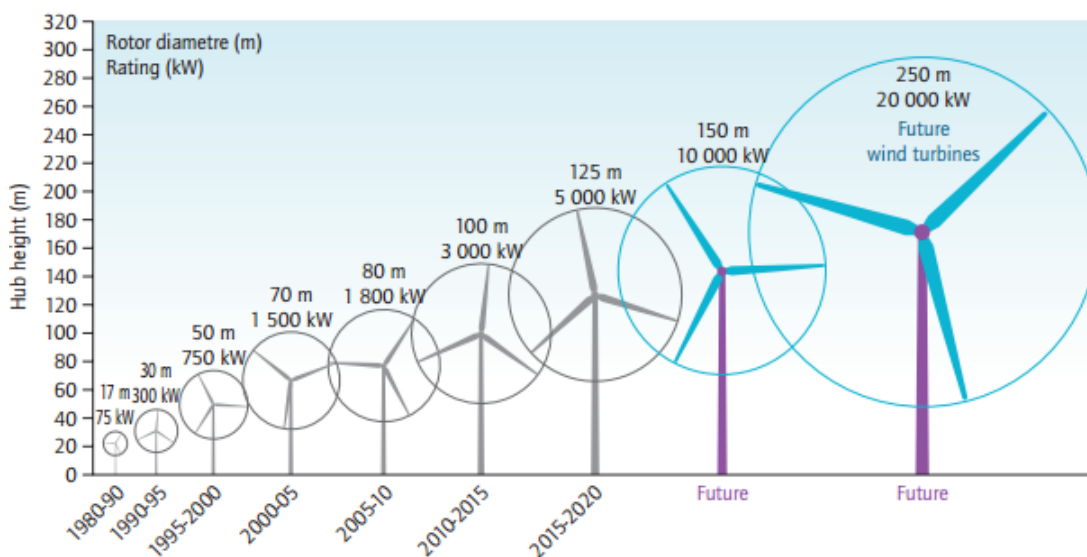
Fonte: KALDELLIS ; ZAFIRAKIS, 2011.

No Gráfico 8 mostra a relação entre o crescimento do diâmetro do rotor entre 1980 e 2010, referenciando o crescimento da eficiência e potência alcançada pelos rotores. A relação de crescimento dos rotores com o aumento da eficiência energética é notável. Quanto maior o rotor, maior é a capacidade de captação de vento e desta forma a disponibilidade é aumentada, tornando o aerogerador mais eficiente, pois em uma mesma região, quanto maior for o rotor maior será a velocidade de rotação.

A velocidade de rotação está ligada diretamente com a potência nominal do aerogerador, ou seja, mesmo que potencialmente o rotor possa alcançar velocidades superiores ao projetado pelo aerogerador, os controladores e sensores não permitirão que a velocidade de rotação exceda a máxima necessária para alcançar a potência nominal.

A partir das informações contidas no Gráfico 8, é possível observar que em se em 1985, um aerogerador que tinha um rotor com diâmetro de 17 metros gerava 75 kW, atualmente um rotor com 125 metros consegue gerar 5.000kW

Gráfico 8: Diâmetro do Rotor VS. Potência



Fonte: IEA, 2013.

2.5 Energia eólica e o meio ambiente

Embora a energia eólica seja conhecida como fonte de geração de energia renovável e sustentável, cooperando para produzir benefícios ao meio ambiente quando se trata da redução da emissão de CO₂, este ponto de vista gera controvérsias, pois existem outros impactos ambientais que não estão sendo considerados.

O projeto para a construção de uma usina, parque, ou complexo eólico, requer cuidado, pois além de afetar o meio ambiente no local da implantação, afeta também as regiões circunvizinhas ao empreendimento.

Parte dos principais impactos são gerados com a instalação dos aerogeradores. O impacto visual das turbinas é algo que depende da opinião de cada indivíduo, pois há opiniões que defendam a exótica beleza de uma torre eólica, mas opiniões que defendem que as torres eólicas retiram as características visuais naturais de certo espaço. As interferências eletromagnéticas com os sinais de telecomunicações e nos seres podem acontecer, bem como os choques mecânicos contra animais voadores. (CASTRO, 2007).

O ruído gerado pelas turbinas, é um dos impactos que mais requer atenção e tem sido, globalmente, a maior arma utilizada contra a implantação de novos parques. Os ruídos gerados pela turbina e pelas pás afetam principalmente os seres humanos que vivem em regiões circunvizinhas e aqueles que vivem em fazendas cujos aerogeradores estão instalados em suas propriedades. (CASTRO, 2007)

2.6 Noções de acústica ambiental

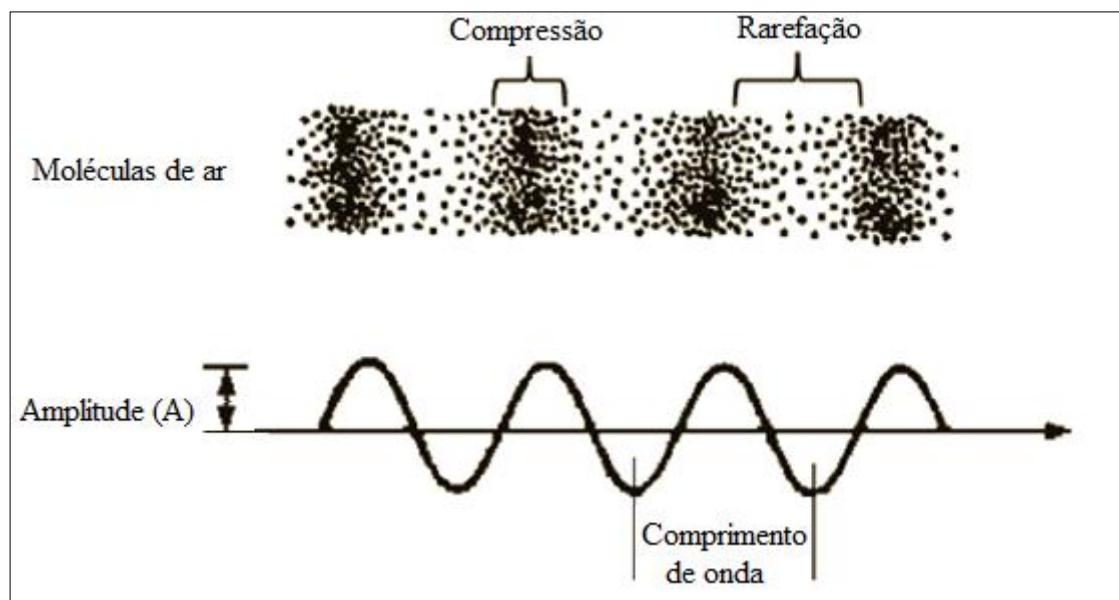
2.6.1 Conceitos básicos

a) O som

O som, é o resultado de um estímulo vibratório em um determinado meio vibrante, que se inicia através da variação de pressão do ar, que é estimulado por uma fonte emissora (como por exemplo equipamentos e as cordas vocais). O estímulo vibratório ao chegar ao aparelho auditivo humano é assimilado pelo cérebro e reconhecido como um som. Caso estímulo seja agradável pode ser classificado como som, do contrário, será um ruído. (MAIA, 2012).

A Figura 19 mostra a representação da propagação de ondas no ar. As regiões de compressão das ondas representam os picos e as regiões de rarefação representam os vales.

Figura 19: Propagação do som no ar



Fonte: GOELZER; HANSEN; SHERNDT, 2001.

b) Nível de pressão sonora

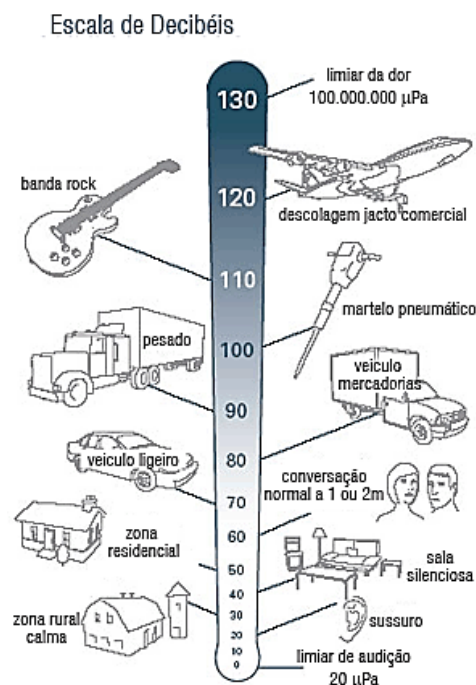
Pressão sonora consiste na variação média (*RMS – root mean square*) de pressão em relação à pressão atmosférica; medida em pascal (*Pa*) ou newtons por metro quadrado (N/m^2). O Nível de Pressão Sonora (NPS, ou em inglês, SPL - Sound Pressure Level) em um determinado ponto é expresso em decibel e tem como valor de referência $P_0 = 20 \text{ mPa}$ ($2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$). Conhecida também como medida que determina o grau de potência sonora determinada pela amplitude. A unidade é o decibel (dB).

O ouvido humano possui uma determinada faixa audível dos sons. Os limites de audição humana, podem ser descritos como limite superior (limiar de dor humana) e o limite inferior

(início da percepção do som). Entre os dois limites, ou seja, amplitudes máximas e mínimas, existe uma escala de graduação, a qual se divide em aproximadamente 1.000.000 de valores. O excesso de valores na escala torna muito difícil uma análise do som em escala linear, tornando necessária a utilização de uma relação logarítmica, que possibilita a avaliação da variação sonora. A escala então pode ser simplificada tendo como intervalo inferior o (zero) e superior 120 dB. (MAIA, 2012).

De forma didática a Figura 20 ilustra o nível de pressão sonora por fontes emissoras comuns no cotidiano do ser humano. A escala considera que 130 dB é o limite a partir do qual o ser humano começa a presenciar a dor do aparelho auditivo, ou seja, é o limiar da dor.

Figura 20: Escala sonora ilustrada em decibéis.



Fonte: EXPLICATORIUM, 2016.

c) Decibel

O decibel (dB) por definição, consiste como a unidade logarítmica de medida do nível de pressão sonora (L_p). Seu significado matemático equivale a razão de pressão sonora de um determinado local e um valor referencial sonoro de (p_0) de 20 μPa, valor este que se aproxima do limiar da audição. Para determinação da pressão (L_p) em dB é aplicada a Equação 1.

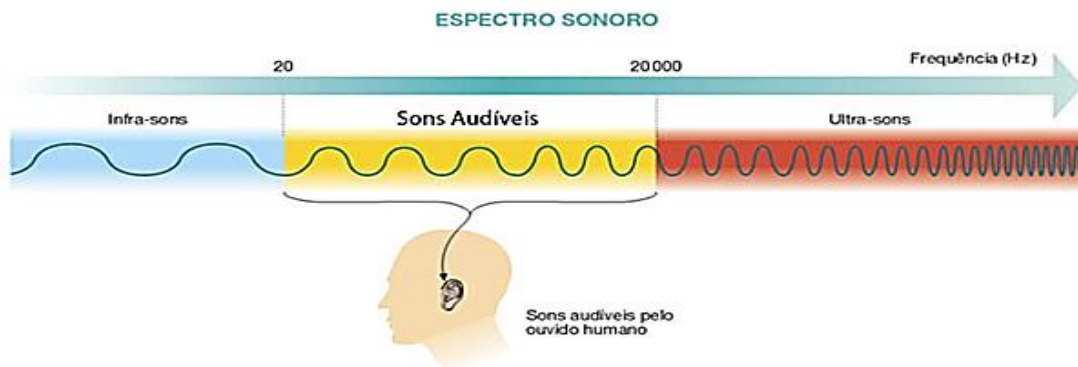
Equação 1: Nível de pressão sonora

$$L_p = 20 \log \left(\frac{p}{p_0} \right) \text{ em que } p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$$

d) Frequência

A frequência sonora representa o número de ciclos, ou seja, flutuações completas de pressão por segundo. A unidade de medida no sistema internacional de medidas é o hertz (Hz). Os principais tipos de frequências são as agudas, médias e graves. O ouvido humano consegue perceber frequências entre 20Hz e 20kHz. Sons abaixo de 20Hz, ou seja, o limite inferior de percepção do ouvido humano é designado de infrassons, e os sons acima de 20kHz, considerados como o limite superior da audição são considerados ultrassons. (MAIA, 2012).

Figura 21: Intervalo de frequência audível pelo ser humano



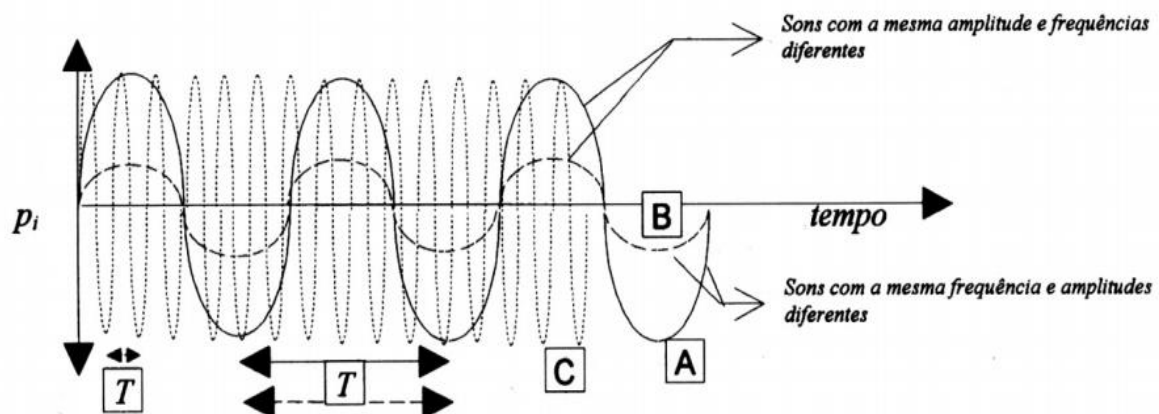
Fonte: Adaptado de CAVALEIRO & BELEZA, 2011.

e) Som puro ou simples

Som puro é um som com vibração senoidal unidimensional que é composto por apenas uma única frequência.

Na Figura 22 são representados três exemplos deste tipo de som, que se caracterizam da seguinte forma: - A e B têm a mesma frequência e amplitudes diferentes; - A e C têm a mesma amplitude e frequências diferentes; - B e C têm amplitudes e frequências diferentes.

Figura 22: Senoidal de sons puros A, B e C



Fonte: MAIA, 2012.

f) Tipos de ruído

Os principais tipos de ruídos podem ser descritos conforme é apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Tipos de ruído e descrição

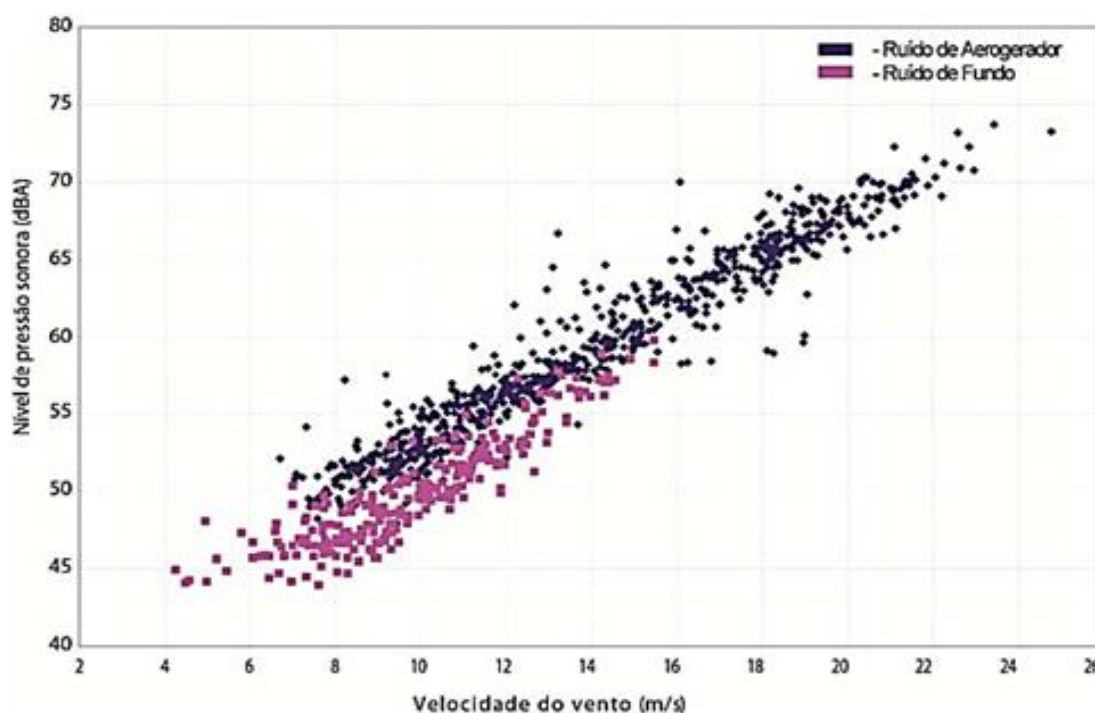
Tipo de Ruído	Descrição
RUÍDO DE BANDA ESTREITA	O ruído de banda estreita é aquele cuja banda efetiva é inferior ou igual a 1/3 de oitava. Pode-se exemplificar como ruídos de banda estreita os ruídos gerados por: motores de combustão, compressores, unidades de refrigeração, máquinas giratórias, transformadores de potência devido aos campos magnéticos que causam vibração e a frequência dos fios de alta.
RUÍDO IMPULSIVO OU DE IMPACTO	O ruído impulsivo é o ruído com um ou mais impulsos de energia acústica cuja duração é inferior a 1s, separados por intervalos de tempo superiores a 0,2 s. Como exemplo se pode considerar como ruído impulsivo os emitidos por furadeiras, britadeiras, prensas, martelos, explosões e impactos.
RUÍDO AMBIENTE	O ruído ambiente representa o ruído global observado para uma dada circunstância num determinado instante, devido ao conjunto de todas as fontes sonoras que fazem parte da vizinhança próxima ou distante da fonte examinada. O ruído ambiente é composto pelos ruídos particular e residual.
RUÍDO PARTICULAR	O ruído particular é a componente do ruído ambiente que pode ser especificamente identificada por meios acústicos e atribuída a determinada fonte sonora. Como exemplo citemos um canteiro de obras da construção civil, onde é possível identificar um ruído ambiente e dentro desse ruído ambiente é possível perceber separadamente o ruído de um martelo, elevador, correntes, motores ligados, sons emitidos por seres humanos.
RUÍDO RESIDUAL	O ruído residual trata-se do ruído que é perceptível quando se separa, ou deixa de ser emitido, um ou mais ruído particulares do ruído ambiente.
RUÍDO DE FUNDO	O ruído de fundo é todo e qualquer ruído, proveniente de uma ou mais fontes sonoras que esteja sendo captado durante o período de medição e que não seja proveniente da fonte objeto das medições. Podemos citar como exemplo o som emitido por um sapo, uma queda d'água em um determinado meio.

Fonte: Adaptado de MAIA, 2012.

O ruído de fundo é um dos tipos de ruídos que devem ser analisados, haja visto que a importância do ruído de fundo é avaliar a resposta sonora do receptor do ruído. Para a captação de um ruído de um aerogerador, caso o ruído de fundo seja muito elevado, não será possível avaliar o ruído emitido pela turbina. De forma análoga acontece se o ruído de fundo for excessivamente baixo, o ruído do aerogerador será notado de forma acentuada. Para medição de ruído dos aerogeradores o ruído de fundo não deve ser desprezado. Este deve ser integrado no valor total do ruído. (HUSKEY; MEADORS, 2003).

O Gráfico 9 apresenta pontos do ruído de fundo concomitante com o do aerogerador. A separação dos ruídos é feita com base nas frequências conhecidas dos ruídos emitidos pelos sistemas compostos no aerogerador. Através de um equipamento com vários canais que possam medir frequências variadas é possível separar os ruídos no tratamento de dados.

Gráfico 9: Ruído de fundo e do aerogerador



Fonte: MAIA, 2012.

2.6.2 Parâmetros dos ruídos

a) Nível de pressão sonora

A parametrização dos níveis de pressão sonora é feita pelos níveis de pressão sonora estatísticos (L_n). Para efeitos estatísticos são utilizados cinco fatores de (L_n), que quantifica o percentual amostral, ou seja, é o nível em “n” em porcentagem (%). São eles: L_5 (5%), L_{10} (10%), L_{50} (50%), L_{90} (90%), L_{95} (95%). Geralmente é utilizado o L_{90} para caracterização do ruído de fundo a um período de 10min. (MAIA, 2012).

b) Nível sonoro contínuo equivalente

Considera-se como nível sonoro contínuo equivalente “A”, cuja expressão é dada por $L_{Aeq,T}$, a intensidade de um ruído em um determinado espaço de tempo. A unidade será dada em decibel. (MAIA, 2012). O nível sonoro contínuo equivalente $L_{Aeq,T}$, ou simplesmente L_{eq} , poderá ser calculado conforme Equação 2.

Equação 2: Nível sonoro contínuo equivalente

$$L_{Aeq,T} = 10 \times \log \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{P_{A(t)}^2}{P_0^2} \right) dt \right]$$

$L_{Aeq,T}$, é nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, em decibel, determinado intervalo de tempo t , com início em t_1 e t_2 .

P_0 é a pressão sonora de referência (20 μ Pa);

$P_{A(t)}^2$ é a pressão sonora instantânea, ponderada do sinal sonoro.

2.7 Ruídos provocados pelos aerogeradores

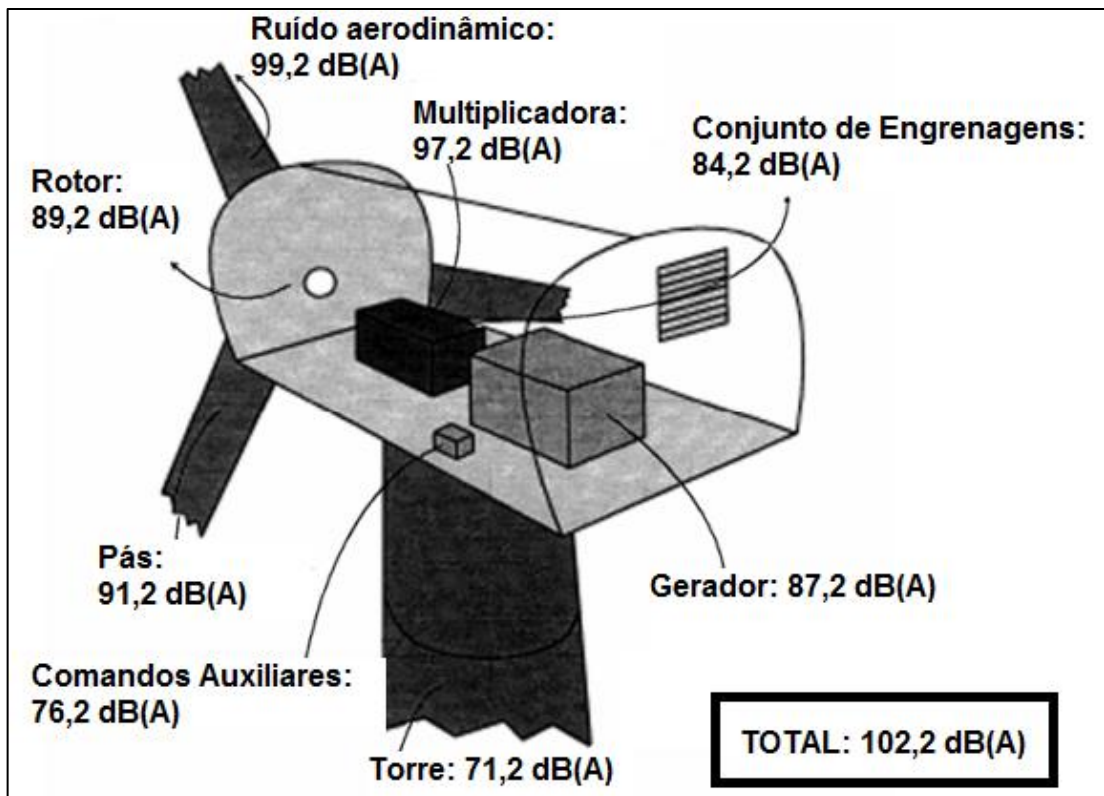
Os aerogeradores, assim como diversos equipamentos que utilizam engrenagens, produzem ruído durante suas operações. No ambiente industrial o ruído tem sido uma das principais causas de danos auditivos, levando também a outros transtornos de saúde mais complexos. (ANDRADE et al., 1998).

Os ruídos produzidos pelos aerogeradores podem ser subdivididos em dois tipos: O ruído mecânico, que se deve principalmente pelo atrito dos rolamentos e engrenagens, embora alguns modelos mais modernos de aerogeradores possuam sistemas de amortecimento de vibrações e cargas que visam diminuir o ruído e o desgaste prematuro das peças. O segundo tipo, trata-se do ruído aerodinâmico que é gerado pelo movimento e turbulência gerada nas pás em operação. Neste caso, quanto maior o diâmetro das pás, mais evidente é o ruído, dada que a velocidade é sempre maior nas extremidades da pá do que no centro do rotor (cubo). (MAIA, 2012).

A análise dos ruídos emitidos pelos aerogeradores pode ser feita de distintas maneiras, tendo como princípio o que se deseja observar, coletar e analisar. Em geral o ruído emitido pelo aerogerador é analisado como um ruído ambiente, ou seja, ocorre a equalização de todas as fontes que emitem ruído pelo equipamento e no entorno dele. Nesse modo os ruídos mecânicos, aerodinâmicos e o ruído de fundo não são separados, haja visto que para uma análise de coleta de ruído no entorno do aerogerador, é importante saber qual a intensidade do ruído em determinado ponto de um parque eólico, comunidade, dentre outros.

Na Figura 23, é possível verificar que o ruído total gerado por um aerogerador é uma interação dos ruídos gerados pelos seus componentes. Na figura o ruído resultante, ou seja, a onda (interação de todos os ruídos através de interferências destrutivas e construtivas), possui um valor de 102,2 dB (A).

Figura 23 - Ruído total de um aerogerador provocado pelos componentes



Fonte: Adaptado de ROGERS; MANWELL; WRIGHT, 2006.

Através de equipamentos e análises específicas, os ruídos podem ser desmembrados e separados em ruídos mecânicos, aerodinâmicos e ruído de fundo.

2.7.1 Ruídos mecânicos

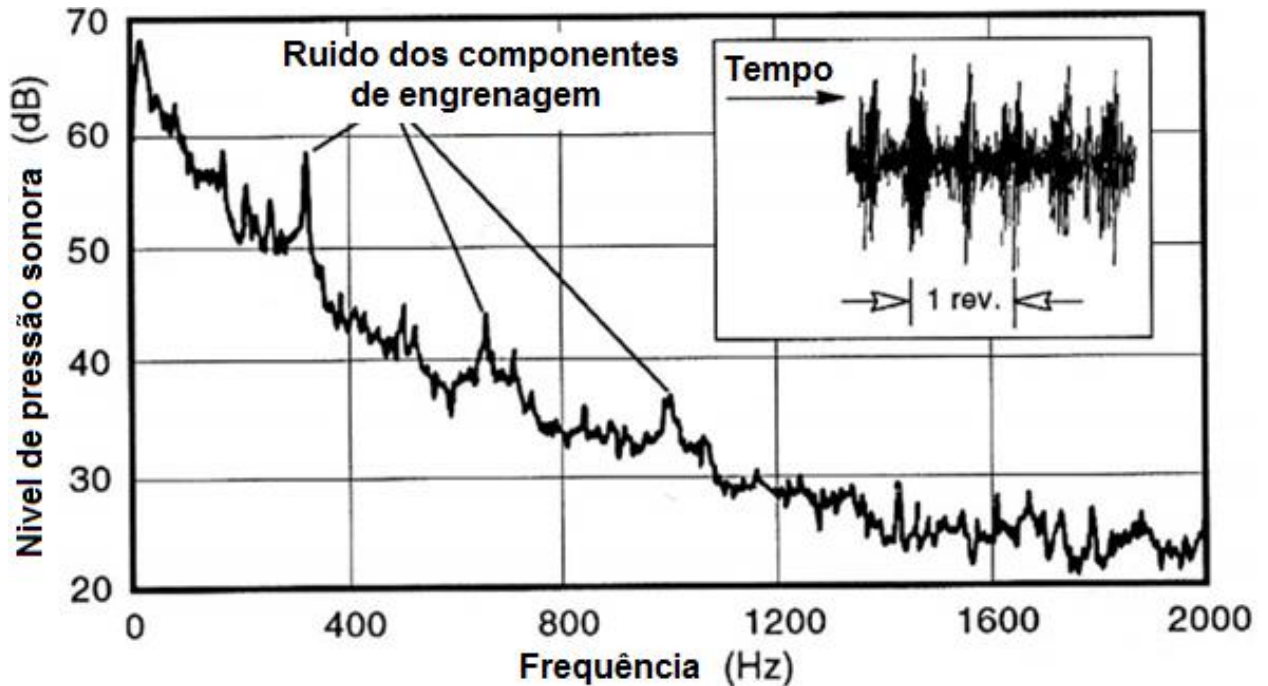
Os ruídos mecânicos, são produzidos pelo atrito entre elementos de máquinas, tais como rolamentos, engrenagens, freios, polias. Os aerogeradores são projetados com diversos sistemas que contêm esses elementos, e por isso emitem ruídos distintos em cada operação, ou seja, é possível identificar os ruídos de um rolamento isoladamente do ruído de um atuador hidráulico.

Como já foi abordado neste trabalho, é possível fazer identificação dos ruídos pela frequência, ou seja, a frequência sonora emitida por uma furadeira em operação é diferente da frequência sonora emitida por um motor de um automóvel.

A Figura 24 apresenta a média do espectro de ruído gerado pelas engrenagens de um aerogerador, captado a uma distância de 36 metros num intervalo de tempo de 180 segundos.

O nível de pressão sonora decai no gráfico, conforme se aumenta a frequência de captação sonora, ou seja, conforme o som fica mais agudo. É possível perceber que nas frequências médias (intervalo entre 360 e 1400Hz) os ruídos alcançam picos acima de 45dB.

Figura 24 - Ruídos dos componentes de engrenagens.



Fonte: Adaptado de HUBBARD; SHEPHERD, 2009.

Com o objetivo de controlar a emissão de ruídos mecânicos produzidos, alguns sistemas foram introduzidos aos aerogeradores. As otimizações foram feitas nos sistemas de arrefecimento (resfriamento) que passou a funcionar com óleos sintéticos (lubrificantes não minerais), ao invés de água, permitindo o amortecimento de vibrações e lubrificação ativa dos componentes. Os aerogeradores de menor porte não possuem sistemas de controles tão efetivos como os demais, o que pode ocasionar aumento do ruído. Em geral os ruídos mecânicos apresentam características muito distintas, são assimétricos e possuem direção de propagação definida, o que torna mais fácil a identificação do defeito, desta maneira pode-se afirmar que dois componentes mecânicos de diferentes funções emitem sons (ruídos) diferentes. (MAIA, 2012).

2.7.2 Ruídos aerodinâmicos

Os ruídos aerodinâmicos provocados pelos aerogeradores tem influência direta da velocidade dos ventos que incidem sobre as pás dos rotores. Os perfis das pás desde o processo

de fabricação dos aerogeradores modernos sofrem modificações, motivados por pesquisas que visam diminuir o ruído aerodinâmico.

Como já citado na seção 3.1.3, existem aerogeradores dotados dos sistemas de “yaw” e “pitch control”, melhorando o aproveitamento do vento ao incidir com as pás. Caso o vento incidente, supere o limite máximo de velocidade permitido para o aerogerador, os controles se ajustam para compensar o arrasto do vento nas pás, fazendo com que a potência de geração da máquina não ultrapasse a potência nominal. O arrasto do vento e a turbulência nos bordos das pás provocam o ruído aerodinâmico.

Modelos semi-empíricos são testados, visando o máximo aproveitamento aerodinâmico com redução de ruído, através da análise de sustentação das pás e a turbulência gerada no ar. Tal fato pode ser verificado, pela diversidade de modelos de pás nos variados fabricantes de aerogeradores. (HESSLER, 2008). A Tabela 10 faz a descrição dos tipos de ruídos aerodinâmicos.

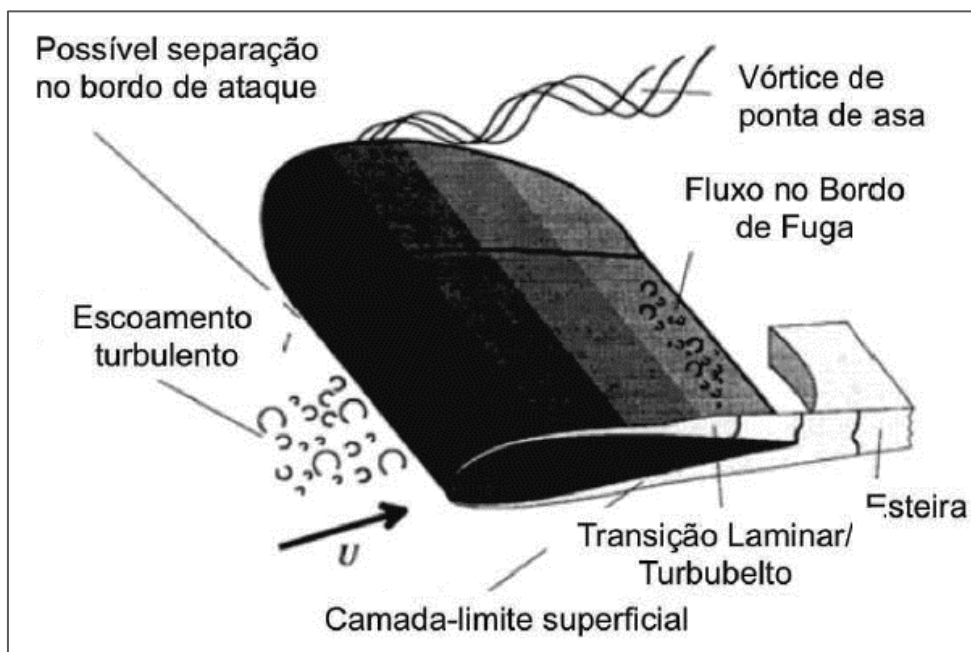
Tabela 10: Tipos de ruídos aerodinâmicos e descrição

Tipo de Ruído	Descrição
Ruído de Baixa Frequência	Som na região de baixa frequência do espectro sonoro, é gerado quando as pás se encontram com irregularidades pontuais no fluxo, devido a presença da torre, mudanças na velocidade do vento ou interferência da esteira de outras Pás.
Ruído associado Turbulência no Escoamento	Depende da turbulência atmosférica. A turbulência atmosférica resulta em uma determinada força ou flutuações de pressão dessa força em torno da pá.
Ruído de Forma do Perfil	Conhecido como “ <i>Airfoil Self Noise</i> ”, este grupo inclui o som gerado pelo fluxo de ar ao longo da superfície do perfil. Este tipo de som possui uma natureza tipicamente de banda larga, ruídos com características distintas e assimétricas, podem ocorrer devido aos bordos de fuga rombudos ou irregulares, ou fluxos sobre fendas e buracos.

Fonte: Adaptado de WAGNER; BAREIS; GUIDATI, 1996.

A Figura 23 apresenta o comportamento do fluido, ar, devido a turbulência causada pelo choque do vento no bordo de ataque, a fuga e caminhos realizados pela massa de ar deslocada pela pá é quem gerará o ruído aerodinâmico.

Figura 23: Escoamento do ar no bordo de ataque de uma pá



Fonte: WAGNER; BAREIS; GUIDATI, 1996.

A potência sonora gerada pelo ruído aerodinâmico é proporcional a velocidade nas extremidades das pás, quanto maior o diâmetro da pá maior será a geração e propagação do ruído. (HERRERA, 2006).

2.8 Ruídos, efeitos e impactos sobre a população

Os níveis de ruído diminuem à medida que aumenta a distância entre o receptor e as turbinas eólicas. Os níveis de ruído são medidos em decibéis (dB). A medição é feita através de um decibelímetro, que é um aparelho medidor de pressão que opera em escala aproximada da escala de percepção sonora humana.

Efetuar os projetos com as previsões dos ruídos a serem emitidos pelos aerogeradores em futuros parques, complexos ou usinas eólicas é de extrema importância para o controle e atendimento às normas técnicas e legislação do país. Quando comunidades vivem no entorno de um complexo eólico, algumas ações devem ser tomadas para garantir que o ruído provocado pelos aerogeradores não gerem desconfortos aos habitantes.

Devido à grande variação dos níveis de tolerância individual ao ruído, não há nenhuma maneira completamente satisfatória para se medir os seus efeitos subjetivos, ou as reações correspondentes de aborrecimento e insatisfação. A intolerância ao ruído de um aerogerador é um tema muito complexo. Estudos apresentaram uma correlação entre o incômodo com a interferência visual e a presença de características de som intrusivo. (LOCATION, 2006).

O Ruído de baixa frequência (RBF) é aquele em que o nível de pressão sonora nas escalas fica abaixo dos 20Hz. Os infrassons e o ruído de baixa frequência são ondas sonoras que podem afetar o organismo humano causando danos irreversíveis, mas que não provocam as perdas auditivas clássicas. (PEREIRA; BRANCO, 2007).

O RBF pode causar desconforto e incômodo para as pessoas sensíveis e por isso tem sido amplamente analisado. Um levantamento dos resultados nas medições de infrassom de turbinas eólicas publicados, concluiu que, o infrassom pode ser negligenciado na avaliação dos efeitos ambientais. (JACOBSON; MASTERS, 2001).

Segundo MAIA, 2012, os ruídos podem ser divididos em três características, conforme Tabela 11.

Tabela 11: Características dos ruídos de acordo com o tipo

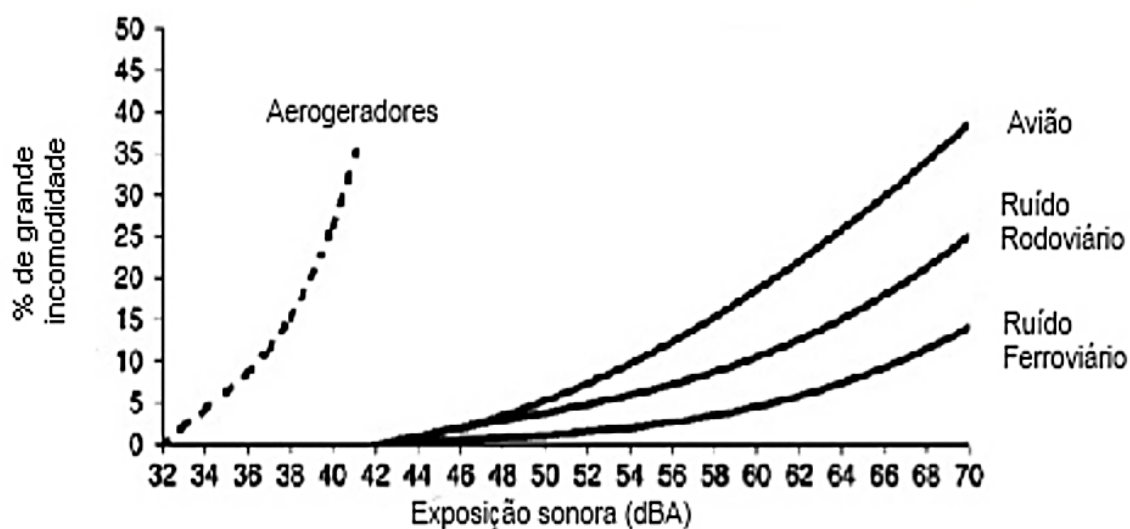
Tipo	Características
Modulação	Consiste na variação dos ruídos emitidos pelos aerogeradores, com efeitos que variam entre assobios, batidas excessivamente altas, etc. A variação de apenas 3dB na banda de frequência de 1kHz, é facilmente detectado pelo ouvido humano, esse ruído pode ser comparado ao aviso sonoro de um veículo em marcha ré, ou até mesmo um alarme de relógio. Tratando-se de parques eólicos os níveis podem chegar a 9dB.
Infrassom	Uma das principais preocupações relativamente à instalação de parques eólicos é a presença de infrassons e os impactos negativos que têm na saúde dos receptores, tais como perturbações do sono, tonturas, doenças cardíacas e outros efeitos nefastos para a saúde. Este aspecto era mais evidente nos modelos iniciais de aerogeradores que tinham uma forte componente de baixas frequências devido à caixa de velocidades que se localizava no solo.
Sons variados	Outro aspecto do ruído dos aerogeradores que provoca incomodidade a pessoas nas redondezas é o fato de estar relacionado com muitos sons diferentes que são ouvidos em tempos diferentes identificados como: “batendo”, “assobiando”, um som profundo de rolar (o comboio “que nunca chega”), bem como um ritmo regular identificado como um pulsar.

Fonte: Adaptado de MAIA, 2012

A exposição constante do ser humano ao ruído pode afetar a sua saúde. Além do aparelho auditivo, outros efeitos indesejados podem afetar o correto funcionamento do corpo humano. Alterações fisiológicas podem ser geradas pelo ruído, afetando o sistema nervoso, digestivo, endócrino, respiratório, alterações psicológicas e psiquiátricas. (AÖR, 2014).

A Figura 24 ilustra o grau de incomodo (percentual de incomodidade) em pessoas que são expostas a quatro distintas fontes geradoras de ruído. Pode-se notar que, embora o ruído seja menor nos aerogeradores do que nos demais, o incomodo percentual é mais elevado que o das outras fontes como avião, ruído rodoviário e ferroviário.

Figura 24: Relação entre incômodo e exposição sonora



Fonte: (MAIA, 2012).

Em sua maioria os efeitos patológicos ocorrem em frequências sonoras inferiores as 500Hz. Se relaciona a Síndrome da Turbina Eólica e a Doença Vibroacústica por esses efeitos. (SIMÕES, 2015).

Os infrassons, geralmente, são percebidos pela vibração corporal do indivíduo, mesmo dentro das casas, sendo prejudiciais à saúde tanto quanto ou mais do que ruídos de modulação e sons variados. A exposição contínua em um determinado de tempo, pelo menos duas semanas, pode causar a maioria dos efeitos colaterais, como: falta de sono, náuseas, tonturas, dores de cabeça, aumento de pressão arterial, agressividade dentre outros. (LOCATION, 2006).

2.8.1 Patologias associadas

Um estudo feito com ratos, mostrou que a exposição prolongada a RBF (Ruído de Baixa Frequência) provoca aumento significativo de troca de cromossomos, o que demonstrou que o RBF age como agente genotípico. (SILVA et al, 2002). Outro estudo mostrou um novo sintoma da doença Vibro Acústica, alterando o controle neurológico da respiração, estando ligada a RBF (FERREIRA et al, 2003).

Em 2003, indivíduos portadores de doenças autoimunes que estavam expostos ao RBF, foi verificado traços de alterações de células no pericárdio, membrana que envolve o coração.

Foi relacionada tal alteração com a Doença Vibroacústica. (BRANCO; ALVES-PEREIRA, 2006).

Estudos anteriores ao ano 2000 demonstraram que a exposição ao RBF, podia acelerar o desenvolvimento de um tipo de lúpus eritematoso disseminado em tripulantes de voos comerciais. (AGUAS et al.,1999). Outro fato na literatura, trata da associação do vitiligo às alterações imunológicas dos linfócitos causadas pela RBF. (CASTRO et al, 1999).

Existe a necessidade de manter o estudo de doenças associadas ao ruído de baixa frequência, haja visto que a operação de parques eólicos é algo recente no Brasil. Casos de enfermidades poderão surgir em regiões próximas aos empreendimentos podem não estar sendo diagnosticadas de maneira adequada, caso seja desprezado os infrassons.

2.8.2 Síndromes relacionadas

A Síndrome da Turbina Eólica, ocorre pela exposição do indivíduo a dois tipos de frequência: infrassom (0 – 20Hz) e o som audível (20 – 500Hz). A doença afeta sistema auditivo, através de alterações no aparelho vestibular, que consiste no conjunto de órgãos do ouvido interno, responsável pelo equilíbrio. (PIERPONT, 2005).

Os principais sintomas da síndrome são: Perturbação do sono, dores de cabeça que aumentam em frequência ou severidade, tonturas, instabilidade, náuseas, exaustão, ansiedade, raiva, irritabilidade, depressão, problemas de concentração e aprendizagem; zumbido nos ouvidos. (PIERPONT, 2006).

Nem todas as pessoas expostas ao RBF desenvolvem a síndrome. Os indivíduos mais propensos a desenvolver a síndrome, são aqueles que possuem maior sensibilidade ao estimo gerado pelos RBF e por isso devem ser acompanhadas e submetidas a estudo para definir os fatores de risco à exposição do ruído em questão.

2.8.3 Doença vibroacústica

Na década de 80, casos de alterações provocadas por ruídos de baixa frequência (RBF), propiciaram a definição da patologia conhecida como DVA - Doença Vibroacústica. A enfermidade foi definida como um tipo de patologia sistêmica que aflige todo organismo, desde que gerada por contato contínuo aos ruídos de baixa frequência, causando aumento considerável e anormal do colágeno e elastina, proteínas estruturais produzidas e utilizadas pelo corpo humano, que geralmente aumentam suas concentrações quanto há um processo inflamatório no organismo (BRANCO; ALVES-PEREIRA, 2006).

Certas diversidades de alterações celulares foram identificadas em órgãos e sistemas distintos, além dos problemas de fibrose do pericárdio e válvulas do sistema circulatório e

coração. Os enfermos muitas vezes eram considerados pacientes que se queixavam de enfermidades diversas ao mesmo tempo sem sintomas aparentes, cuja a inter-relação era improvável. Na maior parte dos pacientes, prevalece ainda a ausência de processos físicos que demonstrem a doença. (BRANCO; ALVES-PEREIRA, 2006).

Certas profissões estão sujeitas ao maior contato com o ruído de baixa frequência, dentre elas se destacam tripulantes e pilotos de aeronaves, operadores de ferramentas vibratórias, caminhoneiros e outras. Mesmo com a exposição ao ruído não são todos os indivíduos que contraem a doença. (BRANCO; ALVES-PEREIRA, 2006). No caso do Brasil, não existe nenhuma lei trabalhista específica que regula o tempo máximo de exposição a ruídos de baixa frequência como potencial para o desenvolvimento da DVA.

Assim como na maioria das doenças ocupacionais, a DVA, está diretamente ligada ao tempo de exposição ocupacional. Um estudo aprofundado e minucioso através da identificação da patologia foi realizado, com a observação de técnicos da aeronáutica durante o período de trabalho, tendo como base 8 horas diárias, 5 dias da semana, foi então que foi comprovada a correlação da DVA como sendo uma doença de característica ocupacional.

A Tabela 12 resume o estudo de caso feito em 1999, relacionando o tempo de exposição e as doenças e sintomas relacionados.

Tabela 12: Sintomas e sinais da Doença Vibroacústica pelo tempo de exposição

Estágio Clínico	Sintomas e Sinais
Estagio I - Ligeiro (Exposição: 1 -4 anos)	Ligeiras alterações de humor, indigestão, azia, infecções da orofaringe e bronquite.
Estagio II - Moderado (Exposição: 4-10 anos)	Dor no peito, alterações de humor bem definidas, dores lombares, fadiga, infecções da pele por fungos, vírus e parasitas, inflamação da superfície gástrica, dor ao urinar e sangue na urina, conjuntivite e alergias.
Estágio III - Severo (Exposição: > 10 anos)	Distúrbios psiquiátricos, hemorragias da conjuntiva e dos epitélios nasal e digestivo, varizes e hemorroidas, úlceras duodenais, colón espástico, decréscimo de acuidade visual, cefaleias, dores articulares e musculares intensas, alterações neurológicas.

Fonte: Adaptado de BRANCO; ALVES-PEREIRA, 2006.

3 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL NO MUNDO

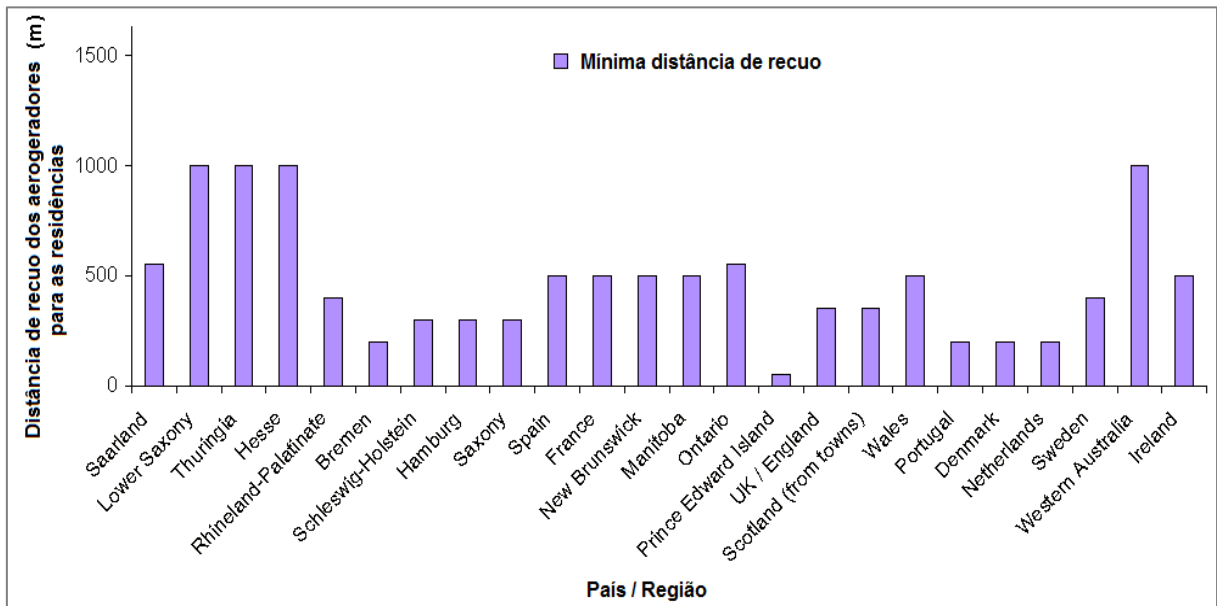
A energia eólica tem gerado opiniões controversas ao redor do mundo, visto que uma parte das pessoas são a favor da implantação da energia eólica, pois acreditam que o futuro do planeta dependa da produção de energia através das fontes renováveis. Outra parcela da população é avessa à implantação da energia eólica, pois ficam preocupados com possíveis impactos na qualidade de vida do ser humano, principalmente pela emissão do ruído. Atualmente não há um acordo mundial, acerca das distâncias apropriadas de afastamento dos aerogeradores das casas e da população. Em poucos países existem normas e recomendações dos limites do nível de pressão sonora em áreas rurais e urbanas, bem como o afastamento mínimo. (HAUGEN, 2011).

A análise do ruído das turbinas eólicas é considerada como um importante aspecto durante o planejamento da implantação de parques eólicos. O governo, autoridades e a população tendem a buscar legislações confiáveis dos mais diversos países para incorporar as suas necessidades específicas e definir os limites de regulação. Assim tem sido feito ao redor do mundo, como por exemplo nos EUA, na Europa e na Austrália. De maneira análoga os fabricantes de aerogeradores, para evitar queixas e problemas judiciais, buscam referências e normas existentes na comunidade, com o objetivo de diminuir os conflitos existentes por conta dos ruídos emitidos pelos aerogeradores (KOPPEN; FOWLER, 2015).

Na Europa, cada país tem desenvolvido suas próprias normas em relação aos ruídos gerados pelos aerogeradores. Devido as diferenças entre as normas implantadas em cada país, torna-se um ponto crucial a realização da comparação entre os limites de ruídos normatizados. Em alguns países, como a Dinamarca, Alemanha, Bélgica e Holanda, são regulamentados diferentes níveis de pressão sonora para uma mesmo aerogerador, através de cálculos. Diferentes formulas são utilizadas para os cálculos nesses países. (NIEUWENHUIZEN; KÖHL, 2015).

O Gráfico 10 apresenta as mínimas distâncias recomendadas de recuo entre os aerogeradores e residências no entorno dos empreendimentos.

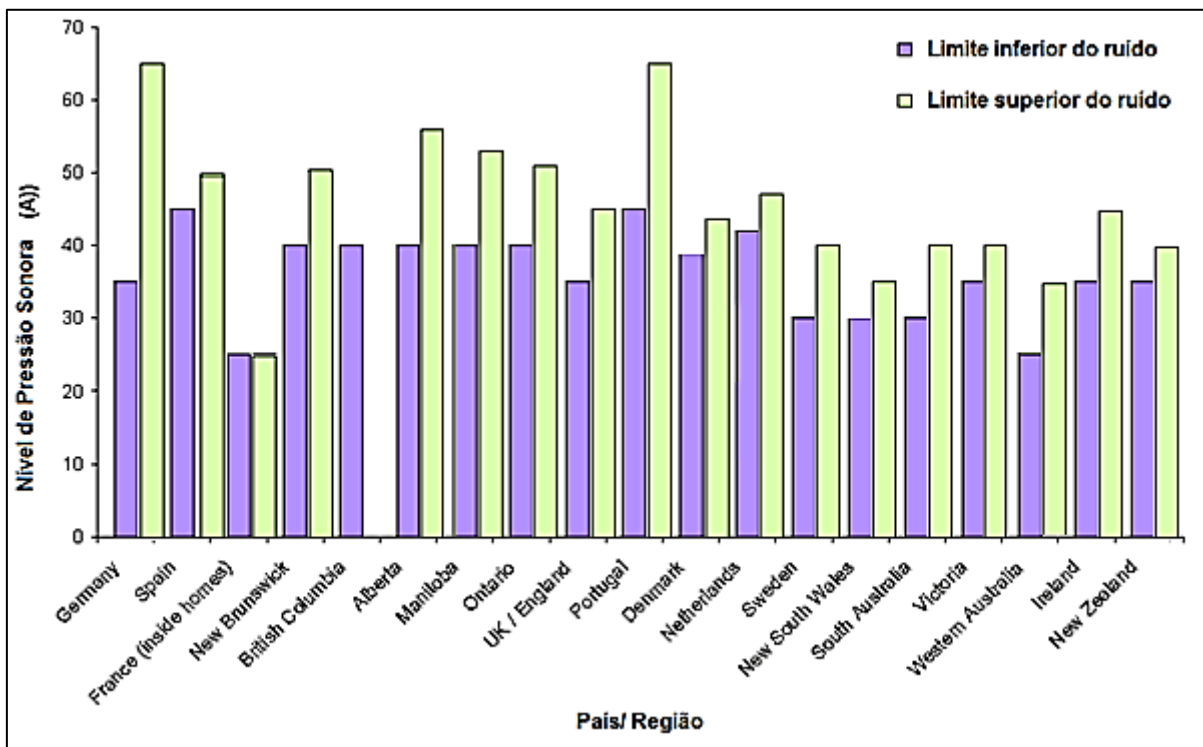
Gráfico 10: Mínima distância de recuo entre os aerogeradores e residências



Fonte: Adaptado de HAUGEN, 2011.

O Gráfico 11 apresenta os limites mínimos e máximos permitidos para os ruídos emitidos pelos aerogeradores.

Gráfico 11: Níveis de pressão sonora inferior e superior em países e regiões no mundo



Fonte: Adaptado de HAUGEN, 2011.

3.1 A avaliação do ruído em países da Europa

3.1.1 O caso da Dinamarca

A Dinamarca tem a maior capacidade de energia eólica per capita, por área de terra, no mundo. Na Dinamarca, recomenda-se que as distâncias de afastamento das turbinas eólicas sejam pelo menos 4 vezes a altura total da turbina. Estas informações estão incluídas no folheto "Turbinas Eólicas na Dinamarca", publicado pela Agência Dinamarquesa de Energia, que inclui uma extensa discussão sobre os possíveis efeitos das turbinas eólicas nos seus arredores, incluindo ruído, sombra, reflexão e valores de habitação. Ele afirma que uma avaliação de impacto ambiental (AVA) seja realizada para todas as instalações eólicas envolvendo turbinas com mais de 80 metros de altura ou mais de três turbinas. O AVA irá verificar tanto os impactos para o meio ambiente, bem como o cumprimento das leis relativas à energia eólica. (HAUGEN, 2011).

A Dinamarca possui uma regulamentação relativa aos ruídos emitidos por um aerogerador contida na portaria nº 1284 daquela nação. Em 1 de janeiro de 2012, o regulamento foi ampliado com regras para o cálculo e avaliação de ruído de baixa frequência (RBF). Desde então, o sistema dinamarquês tem sido objeto de estudo de outros países, devida a falta de regulamentação para ruídos de baixa frequência.

Para avaliação do ruído total emitido pelos aerogeradores, são consideradas velocidades do vento de 6 e 8m/s. Estas velocidades são captadas a uma altura de 10 metros do solo, que é a altura de referência utilizada de acordo com a norma IEC-61400-11 (norma de avaliação de ruídos em aerogeradores). Para uma velocidade de vento de 8 m/s, os valores permitidos são 2 dB a mais que as medidas realizadas com o vento a 6 m/s. Os limites definidos para áreas abertas em ambientes rurais ou residenciais são de 42 dB (A), para ventos a 6m/s e 44 dB (A), para ventos com 8m/s. Para áreas com sensibilidade maior ao ruído foi convencionado 37 dB (A) para ventos a 6m/s e 39 dB (A) para ventos a 8m/s. (NIEUWENHUIZEN; KÖHL, 2015).

As áreas com maior ocupação e áreas de lazer têm limites mais baixos para o ruído das turbinas eólicas. O relatório da agência dinamarquesa de energia reconhece que as turbinas eólicas emitem tanto ruído de baixa frequência como infrassons, mas estes ruídos parecem estar bem abaixo do limite legal e não mais irritantes do que os ruídos de alta frequência e, portanto, não são especificamente tratados. (HAUGEN, 2011).

3.1.2 O caso da Holanda

Em 1 de janeiro de 2011, as novas normas para as turbinas eólicas foram incluídas num “Decreto de Atividades”, que contém regras gerais para as empresas. A característica especial do padrão é que o ruído das turbinas eólicas é avaliado pelo indicador de ruído, que se baseia na emissão média anual de ruído e é calculada pelas condições locais de vento. (NIEUWENHUIZEN; KÖHL, 2015).

Na Holanda, não é feita qualquer distinção entre os diferentes tipos de superfícies. Para cada localização sensível ao ruído, aplica-se o mesmo valor padrão, ou seja, 47 dB (A). Além de um valor limite para noite de 41 dB (A) foi introduzido. No entanto, esse limite não traz nenhuma restrição extra. Tal norma é avaliada concomitante com um mínimo de distância entre o aerogerador e a vizinhança de 4 vezes a altura do aerogerador do chão, ou seja, se a altura do solo para o aerogerador for de 100 metros, a medida deverá ser realizada a 400 metros. (HAUGEN, 2011).

Para avaliação do ruído a Holanda utiliza um modelo próprio, conhecido com Dutch Model, que é uma metodologia muito semelhante à norma ISO-9613-2 - 1996, com exceção da atenuação do solo. O solo poroso conduz o modelo holandês aos mesmos resultados que ISO-9613-2 - 1996. Para superfícies acústicas duras, a atenuação de solo de acordo com o modelo holandês é -2 dB em comparação com -3 dB para a norma ISO.

O resultado da metodologia holandesa mostra que a emissão de ruído para cada local é diferente. Em locais costeiros, a velocidade média anual do vento é cerca de 2 m/s mais elevada do que as localizações no interior. O ruído calculado a uma certa distância de uma turbina eólica em um local costeiro é, portanto, cerca de 2 dB maior que um outro no interior. Normalmente, a emissão sonora média anual é de 4 dB abaixo da emissão máxima de ruído de uma turbina eólica. (NIEUWENHUIZEN; KÖHL, 2015).

3.1.3 O caso da Alemanha

Na Alemanha existem disposições descritas na lei federal que rege as Instruções Técnicas de Redução de Ruído (TA Lärm) de 1988, essas não contêm normas especificamente voltadas para turbinas eólicas. A norma técnica estabelece que, à noite, os ruídos nas zonas estritamente residenciais não devem exceder 35 dB (A). Para os campos e áreas mistas (Urbana, rural e industrial), o limite é de 45 dB (A). (NIEUWENHUIZEN; KÖHL, 2015).

A Tabela 13 apresenta os níveis de pressão sonora regulamentados na Alemanha por tipo de área.

Tabela 13: Valores de nível de pressão sonora para áreas externas (TA Lärm)

Tipo de Área	Ruído	
Zonas Industriais		70 dB (A)
Zonas Comerciais	Diurno	65 dB (A)
	Noturno	50 dB (A)
Zonas Mistas	Diurno	60 dB (A)
	Noturno	45 dB (A)
Zonas Residências dentro de vilas	Diurno	55 dB (A)
	Noturno	40 dB (A)
Zonas estritamente residencial	Diurno	50 dB (A)
	Noturno	35 dB (A)
Zonas de hospitais e Abrigos de Idosos	Diurno	45 dB (A)
	Noturno	35 dB (A)

Fonte: Adaptado de LÄRM, 2017.

Para o cálculo e avaliação do ruído, a Norma Técnica “Materialien n° 63” exige uso da norma ISO-9613-2 - 1996. Os estados federais têm a liberdade de estabelecer requisitos específicos adicionais. Isto aplica-se especialmente ao cálculo do efeito de solo e à forma de lidar com as incertezas. A maioria dos estados federais utiliza a norma adotada pelo estado de La Renânia do Norte-Vestfália. (FRONZ; KINDEL, 2002). Como a Alemanha possui 16 unidades federativas e estas têm sua própria liberdade para fazer suas próprias leis, então a variedade de normas se devem a esse fato.

Com relação a distância mínima da instalação e operação dos aerogeradores para as comunidades vizinhas as normas se diferem de localidade para localidade, conforme pode ser verificado na Tabela 14.

Tabela 14: Distâncias mínimas para implantação de um aerogerador na Alemanha

(Continua)

Região / Estado	Norma / Recomendação
Sarre	Turbinas são geralmente colocados a um mínimo de 550 e 850 metros de casas.
Baixa Saxônia	O estado geralmente recomenda uma distância de 1000 metros de distância de turbinas eólicas de residências, mas isso não é mandatório e os municípios tomam a decisão final. O distanciamento dos aerogeradores são frequentemente determinados caso a caso, considerando a paisagem local, podendo o afastamento ser de até 5.000 metros.
Turíngia	O Ministério da Construção, Desenvolvimento da Terra e Tráfego da Turíngia recomendou que as turbinas eólicas sejam localizadas a pelo menos 1.000 metros de residências e áreas históricas e recreativas.
Hesse	Hesse recomenda uma distância de 1.000 metros entre os aerogeradores e as áreas residenciais.
Bremen	Bremen adota na prática, uma distância de recuo de cerca de 500 metros das residências
Eslésvico-Holsácia	Em um documento chamado "Princípios para o Planejamento de Turbinas Eólicas", Eslésvico-Holsácia, informa as distâncias recomendadas para os aerogeradores de vários modos. Os aerogeradores devem estar recuados 1.000 metros de cidades e áreas turísticas, 500 metros de áreas rurais com apenas uma casa, e 300 metros de áreas rurais a partir de duas casas. Por questões de segurança, as turbinas eólicas devem estar localizadas a uma distância entre 50 e 100 metros de estradas, ferrovias, linhas de comunicação e linhas de energia. Além disso, as turbinas eólicas devem ser colocadas pelo menos 200 a 500 metros de cursos de água e áreas de preservação ambiental. Essas distâncias foram estabelecidas a partir da preocupação da população para possíveis impactos na paisagem, saúde e qualidade de vida, áreas históricas e culturais, meio ambiente e turismo

Tabela 14 - Distâncias mínimas para implantação de um aerogerador na Alemanha

(Conclusão)	
Região / Estado	Norma / Recomendação
Hamburgo	Hamburgo publicou um documento intitulado "Zonas de exclusão para turbinas eólicas em Hamburgo", que descreve as exigências das distâncias dos aerogeradores. Estes devem ser recuados a pelo menos 300 metros de moradias individuais e 500 metros de áreas residenciais. Os aerogeradores, também precisam estar localizadas a pelo menos 50 metros das estradas mais próximas, ferrovias, linhas de energia, transmissores de rádio e limites de propriedades. Para proteger o meio ambiente, os aerogeradores devem ser afastados a distância de 200 a 500 metros de florestas, áreas úmidas, áreas migratórias de aves e morcegos e outras áreas de proteção ambiental.
Saxônia	A Saxônia publicou um extenso documento intitulado "Turbinas eólicas: informações para proprietários e agricultores". Este documento determina as mínimas distâncias entre os aerogeradores. Neste caso ao invés de determinar as o afastamento com base no número de residências próximas, a Saxônia determina os afastamentos com base no número aerogeradores. Os aerogeradores individuais devem estar localizados a uma distância mínima de 300 metros de edificações, e as linhas de transmissão de energia devem estar afastadas a pelo menos 500 metros, sendo que os aerogeradores devem-se manter a distância mínima a sua altura.
Renânia-Palatinado	É recomendado o distanciamento de 1.000 metros entre os aerogeradores e as residências no entorno. Neste caso a distância mínima estabelecida se deve a uma decisão judicial para evitar impactos negativos em áreas residenciais. Outra decisão a implantação uma distância mínima de 400 metros dos aerogeradores de casas individuais.
Berlin	Berlim não tem políticas ou diretrizes para o desenvolvimento de turbinas eólicas. Apenas uma turbina foi erguida devido à densidade da população.

Fonte: Adaptado de HAUGEN, 2011

3.1.4 O caso da Bélgica

A proteção do ambiente é delegada a governos regionais na Bélgica. Flandres e Valónia têm regulamentos totalmente diferentes para turbinas eólicas.

Desde o início de 2012, novas condições ambientais têm sido aplicadas aos aerogeradores em Flandres. As condições são estabelecidas nos regulamentos VLAREM (Vlaams Reglement betreffende de Milieuvergunning) ou simplesmente Regulamento Flamengo sobre o Meio Ambiente. O VLAREM tem uma extensa diferenciação de padrões de ruído para cada área de destino. Existem padrões para o ruído dos aerogeradores em 12

diferentes áreas de destino. Durante a noite, o padrão é 39 dB (A) para áreas residenciais e 4 dB maior em áreas rurais. O VLAREM afirma que o ruído gerado pelos aerogeradores devem ser inferiores aos valores-limite que se aplicam a cada tipo de área. Mas também é possível considerar o ruído ambiente. Se na escala L_{95} o ruído de fundo for maior que o valor limite, aplica-se o verdadeiro valor do ruído de fundo. Nesse caso, deve ser mantida uma distância de captação de pelo menos três vezes o diâmetro do rotor. Os cálculos, do ruído, serão feitos de acordo com a ISO 9613-2 - 1996. (NIEUWENHUIZEN; KÖHL, 2015).

No início de 2014, o Governo da Valónia chegou a um acordo sobre as condições específicas do setor de energia eólica. As normas estão contidas no Decreto de 13 de fevereiro de 2014. A norma distingue entre verão e inverno, o que é incomum quando comparado a outros países. Assim como Flandres, Valónia diferencia os padrões de ruído por área, embora menos extensivamente. Para o período noturno, o limite é de 43 dB (A) para as áreas residenciais e rurais. Em condições de verão, o padrão é 3 dB maior. A regra de verão não se aplica em áreas agrícolas. Os limites inferiores, devem ser respeitadas, se a temperatura for superior a 16 ° C às 22h. Esta particularidade se deve pelo fato de que durante o verão, os moradores estão dispostos a abrir suas janelas. O limite inferior seria garantir um nível de ruído interior de 30 dB (A), mesmo com as janelas abertas. (NIEUWENHUIZEN; KÖHL, 2015).

3.2 Normais internacionais de avaliação de ruído

3.2.1 Norma ISO 9613

A norma ISO 9613 versa sobre a atenuação do som durante a propagação em ambientes externos, e se divide em duas partes, a ISO 9613-1 que trata do cálculo da absorção do som na atmosfera durante a propagação e a ISO 9613-2 que trata do método geral de cálculo.

A primeira parte da norma em questão especifica um método de análise para o cálculo de atenuação de som, como resultado da absorção atmosférica durante várias condições atmosféricas, em que o som de qualquer fonte propaga através da atmosfera.

O som tonal, de atenuação devido à absorção atmosférica é especificada em termos de um coeficiente de atenuação em função de quatro variáveis: frequência do som, temperatura, umidade e pressão de ar. Os coeficientes de atenuação calculados são fornecidos em forma tabular para intervalos das variáveis comumente encontradas na predição de propagação de som ao ar livre: Frequência de 50 Hz a 10kHz; temperatura de - 20 ° C a + 50° C; umidade relativa de 10% a 100%; e pressão de 101.325 kPa (uma atmosfera).

A segunda parte da norma ISO 9613 especifica um método de engenharia para calcular a atenuação do som durante a propagação na atmosfera de forma para prever os níveis de ruído

a uma distância de uma variedade de fontes. O método prevê a nível de pressão sonora L_{eq} em condições climáticas favoráveis para a propagação a partir de fontes emissores de som conhecidas. Estas condições de propagação são para ventos de baixa velocidade, que ocorrem nas inversões de temperatura durante a noite. As condições de superfície podem gerar níveis de pressão sonora mais elevados, como no caso de propagação do som através da água.

A Tabela 15 apresenta o valor do coeficiente de atenuação disposto na norma com parâmetros de temperatura umidade relativa do ar e frequência central nominal pré-definida.

Tabela 15 - Coeficiente de absorção atmosférica – ISO 9613

Coeficiente de absorção atmosférica (dB/km)									
Temperatura	Umidade Relativa	Frequência central nominal (Hz)							
°C	%	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10	70	0,1	0,4	1	1,9	3,7	9,7	32,8	117
20	70	0,1	0,3	1,1	2,8	5	9	22,9	76,6
30	70	0,1	0,3	1	3,1	7,4	12,7	23,1	59,3
15	20	0,3	0,6	1,2	2,7	8,2	28,2	88,8	202
15	50	0,1	0,5	1,2	2,2	4,2	10,8	36,2	129
15	80	0,1	0,3	1,1	2,4	4,1	8,3	23,7	82,8

Fonte: Adaptada da norma ISO 9613, 1993

O método especificado nesta parte da ISO 9613, consiste especificamente de algoritmos de banda de oitava (com frequências centrais nominais a partir de 63Hz até 8000Hz) para calcular a atenuação do ruído, originário de uma fonte específica de um grupo de fontes pontuais. As fontes geradoras de ruído podem estar em movimento ou estacionárias, os termos específicos são proporcionados pelos algoritmos para os seguintes efeitos físicos: variação geométrica; absorção da atmosfera; efeito do solo; reflexão na superfície; obstáculos.

Informações adicionais relativas à propagação através de edificações, campos, e zonas industriais estão contidas no anexo A da norma ISO 9613-2.

Este método é aplicável na prática, para uma grande variedade de fontes e ambientes de ruído. Aplicado direto ou indiretamente em muitas situações como tráfego nas rodovias, linhas de trem, fontes de ruídos industriais, atividades de construção, etc.

Para aplicação do método de cálculo da norma, vários parâmetros precisam ser conhecidos, como a geometria da fonte geradora e do ambiente, as características da superfície do solo, a potência das fontes em termos de níveis de pressão sonora em bandas de oitava para direções de propagação.

Este método não é específico para determinação e previsão dos ruídos em aerogeradores.

3.2.2 Norma IEC-61400-11

A “International Electrotechnical Commission”, (IEC) é uma organização internacional cujo objetivo da IEC é promover a cooperação internacional em todas as questões relativas à padronização nos campos elétrico e eletrônico. Alguns dos seus padrões são desenvolvidos em cooperação com a International Standard Organization (ISO). A parte 11 da norma IEC-61400, trata especificamente da análise do ruído emitido por aerogeradores, apresentando procedimentos de medição que permitem caracterizar as emissões de ruído de uma turbina eólica.

Trata-se de utilizar métodos de medição adequados à avaliação da emissão de ruído em locais próximos da máquina, a fim de evitar erros devidos à propagação do som, mas suficientemente longe para permitir o tamanho finito da fonte. Os procedimentos descritos são diferentes em alguns aspectos daqueles que seriam adotados para a avaliação do ruído em estudos de ruído da comunidade. Destina-se a facilitar a caracterização do ruído das turbinas eólicas, em função de uma variedade de velocidades e direções do vento. A padronização dos procedimentos de medição também facilita a comparação entre diferentes turbinas eólicas. Os procedimentos apresentam metodologias que permitirão caracterizar as emissões sonoras de uma única turbina eólica de forma consistente e precisa. Dentre os procedimentos se destacam:

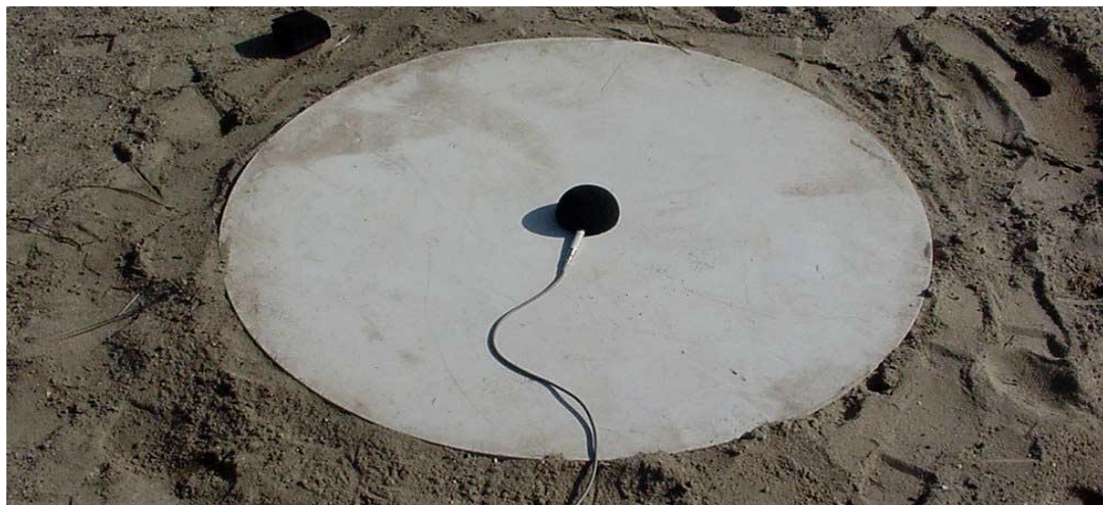
- Localização das posições de medição acústica;
- Requisitos para a aquisição de dados operacionais de turbinas eólicas, meteorológicas e associadas;
- Análise dos dados obtidos e do conteúdo do relatório de dados; e
- Definição de parâmetros específicos de emissão acústica e descritores associados que são usados para fazer avaliações ambientais.

A norma não se restringe a turbinas eólicas de um determinado tamanho ou tipo. Os procedimentos descritos nesta norma permitem a descrição completa da emissão de ruído de uma turbina eólica. Se, em alguns casos, forem necessárias medições menos abrangentes, tais medições são feitas de acordo com as partes relevantes desta norma.

As medições são feitas em locais próximos à turbina, a fim de minimizar a influência dos efeitos do terreno, das condições atmosféricas ou do ruído induzido pelo vento. Para contabilizar o tamanho da turbina eólica em teste, é utilizada uma distância de referência R_0 com base nas dimensões da turbina eólica.

As medições são feitas com um microfone posicionado em uma placa colocada no chão para reduzir o ruído do vento gerado no microfone e minimizar a influência de diferentes tipos de solo, conforme Figura 25.

Figura 25: Posicionamento do microfone em uma placa no solo



Fonte: IEC, 2012.

A direção é determinada comparando os níveis de pressão acústica ponderada A em três posições adicionais em torno da turbina com as medidas na posição de referência.

As medições dos níveis de pressão sonora e velocidade do vento são feitas simultaneamente em curtos períodos de tempo e em uma ampla gama de velocidades do vento. As velocidades de vento medidas são convertidas para velocidades de vento correspondentes a uma altura de referência de 10m e um comprimento de rugosidade de referência de 0,05m. Os níveis sonoros a velocidades de vento normalizadas de 6, 7, 8, 9 e 10 m / s são determinados e utilizados para calcular os níveis aparentes de potência sonora A ponderada.

Para a coleta de dados, e interpretação é necessário a utilização de alguns equipamentos:

- Medição de pressão sonora na escala ponderada “A”
- Equipamento para a determinação de um espectro de bandas de um terço de oitava
- Equipamento para determinação de espectro de banda estreita
- Microfone com placa de medição
- Calibrador acústico
- Sistemas de gravação / reprodução de dados
- Anemômetros
- Transdutor de energia elétrica
- Transdutor de direção do vento
- Higrômetro com medidor de temperatura e humidade
- Câmera e equipamento de medição de distância

Os parâmetros de medição, posicionamento dos instrumentos, atenuação do ruído, correção do ruído medido é feito de acordo com a distância, velocidade do vento no local, potência e dimensão do aerogerador, tipo do aerogerador, dentre outros. (IEC, 2012)

3.3 Legislação ambiental no Brasil

3.3.1 Licenciamento ambiental

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da publicação da resolução nº 462, de 24 de julho de 2014, estabeleceu os procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos que desejam gerar energia a partir da fonte eólica em superfície terrestre. A resolução CONAMA nº 462/2014 altera a resolução CONAMA nº 279/2001. (BRASIL, 2014).

A resolução considera que os empreendimentos de energia eólica são de baixo potencial poluidor e tem papel fundamental para colaborar com o crescimento da matriz energética do país, o qual o Brasil assumiu um compromisso voluntário para dedução das emissões projetadas para 2020, por força do art. 12 da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. (BRASIL, 2009).

O licenciamento deverá ser feito por um órgão licenciador, que no caso da Bahia o responsável é o INEMA.

No art. 3 da resolução do CONAMA nº 462/2014, versa sobre a possibilidade de dois tipos principais de procedimentos de licenciamento. No inciso II existe a possibilidade de um tipo de licenciamento simplificado, para empreendimentos de baixo impacto ambiental, em que não é necessário a emissão do Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental EIA/RIMA, utilizando apenas um Relatório Ambiental Simplificado (RAS). No inciso III, para empreendimentos, que não são considerados de baixo impacto é necessário além do EIA/RIMA, audiências públicas. O responsável pelo enquadramento do tipo de empreendimento é o órgão licenciador. (BRASIL, 2014).

Para o procedimento simplificado é solicitado que os relatórios simplificados deverão conter informações acerca do diagnóstico ambiental, da localidade e inserção do empreendimento, caracterização, identificação dos impactos ambientais a serem gerados, medidas de controle e monitoramento, bem como as ações mitigadoras e compensatórias este último, visa compensar um malefício causado pela construção e ou operação do empreendimento. (BRASIL, 2014).

O artigo 225 da Constituição Federal do Brasil de 1988, prevê que todos os cidadãos têm o direito ao meio ambiente equilibrado, com o intuito de usufruir, preservar e conservar para futuras gerações. Para preservar o direito e respeitar a constituição, o Conselho Nacional

do Meio Ambiente - CONAMA estabeleceu as resoluções números 1 e 2, na área de poluição sonora. A resolução nº1 de 8 de março de 1990 versa sobre, o interesse da saúde, relacionada a emissão de ruídos em decorrência das atividades industriais, já a nº 2 de 8 de março de 1990 dispõe sobre o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora. (BRASIL, 1990).

3.3.2 Normas técnicas brasileiras

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) lançou as normas: NBR-10.151, que prevê a avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade e a NBR-10.152, que determina os níveis de ruído para conforto acústico.

A NBR 10151 - Avaliação do conforto em áreas habitadas visando o conforto da comunidade - tem como objetivo determinar os níveis permissíveis de ruído em comunidades, estabelecendo métodos para a medição dos ruídos, além de apresentar as correções que devem ser feitas aos níveis medidos em condições especiais ambientais. Todas as medições apresentadas por esta norma deverão ser feitas utilizando seus parâmetros e escalas estabelecidas. (ABNT, 2003).

De acordo com a NBR 10151, os níveis de ruído não devem ser superiores 40 dB (A) no período diurno e a 35 dB (A) no período noturno para áreas de sítios e fazendas. Nas áreas estritamente residencial urbana os níveis de ruído deverão ser inferiores a 50 dB (A) no período diurno e a 45 dB (A). A Tabela 16 expressa os limites determinados para cada tipo de área.

Tabela 16: Nível de Critério de Avaliação (NCA) para ambientes externos, em dB (A)

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente Industrial	70	60

Fonte: Adaptado de ABNT, 2003.

A Tabela 17 sintetiza os níveis de ruído recomendados para diversos tipos de ambiente.

Tabela 17: Níveis de ruído para conforto acústico – ABNT 10.152

Locais	dB(A)	NC
---------------	--------------	-----------

Hospitais	Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros Cirúrgicos	35-45	30-40
	Laboratórios, Áreas para uso do público	40-50	35-45
	Serviços	40-55	40-50
Escolas	Bibliotecas, Salas de Música, Salas de desenho	35-45	30-40
	Salas de Aula, Laboratórios	40-50	35-45
	Circulação	45-55	40-50
Hotéis	Apartamentos	35-45	30-40
	Restaurantes, Salas de Estar	40-50	35-45
	Portaria, Recepção, Circulação	40-55	40-50
Residências	Dormitórios	35-45	30-40
	Salas de Estar	40-50	35-45
Auditórios	Salas de concertos, Teatros	30-40	25-30
	Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35-45	30-35
Restaurantes		40-50	35-45
Escritórios	Salas de reunião	30-40	25-35
	Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35-45	30-40
	Salas de computadores	45-65	40-60
	Salas de mecanografia	50-60	45-55
Igrejas e templos	(Cultos meditativos)	40-50	35-45
Locais para esporte	Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45-60	40-55

Fonte: Adaptado de ABNT, 1987.

Quanto ao tempo de exposição ao ruído no ambiente de trabalho temos a NR-15 que estabelece para uma jornada de 8h o nível máximo de 85 dB (A) sendo o tempo diminuído à metade cada vez que o nível de ruído aumenta de 5 dB (A), por exemplo 4 h para 90 dB (A). A Tabela 18 demonstra os níveis de ruídos e a exposição diária máxima permissível. (BRASIL, 1978).

A Tabela 18 apresenta os valores de pressão sonora relacionado ao tempo de exposição.

Tabela 18: NR-15 – Nível de Ruído e exposição máxima ao ruído

Nível de Ruído dB(A)	Máxima Exposição diária Permissível
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 horas e 45 minutos
98	1 horas e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1978.

O Brasil não possui uma norma específica para estabelecer os níveis de ruído, distância de segurança e tempo limite de exposição aos ruídos gerados pelos aerogeradores. A criação de uma legislação específica para o monitoramento e fiscalização dos parques eólicos se torna necessária.

a) Medição de ruído segundo norma NBR-10.151

Além de fixar as condições exigíveis para avaliação, a norma NBR 10.151 especifica o método para a medição dos ruídos. Quando necessário é feita a aplicação de correções nos níveis medidos. Isso ocorre, caso o ruído apresente características especiais. O método de avaliação envolve as medições do nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}), em decibel ponderados em "A" dB (A).

Para a melhor compreensão da norma, a Tabela 19 apresenta alguns conceitos básicos.

Tabela 19: Conceitos básicos - NBR 10151

Termos	Descrição
Nível de pressão sonora equivalente	Nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}), em decibel ponderados em “A” [dB (A)]: Nível obtido a partir do valor médio quadrático da pressão sonora (com a ponderação A) referente a todo o intervalo de medição.
Ruído com caráter impulsivo	Ruído que contém impulsos, que são picos de energia acústica com duração menor do que 1 s e que se repetem a intervalos maiores do que 1 s (por exemplo martelagens, bate-estacas, tiros e explosões).
Ruído com componentes tonais	Ruído que contém tons puros, como o som de apitos ou zumbidos, sons distintos os quais remetem ao um determinado tipo de fonte emissora conhecida.
Nível de ruído ambiente	Nível de ruído ambiente (L_{ra}): Nível de pressão sonora equivalente ponderado em “A”, no local e horário considerados, na ausência do ruído gerado pela fonte sonora em questão.

Fonte: Adaptado de ABNT, 2003.

b) Equipamentos de medição

Para efetuar a medição do ruído, deve ser utilizado um Medidor de Nível de Pressão Sonora (MNPS), que consiste em um dispositivo projetado para reagir ao som de maneira similar à sensação que ouvido humano reage, fornecendo medições diretas que reproduzam o nível de pressão sonora em determinado ambiente. Os dispositivos possuem diversas configurações, mas em geral são compostos de um microfone, um sistema de processamento e uma unidade de leitura externa.

A ABNT NBR 10151, recomenda que o MNPS ou o sistema de medição deve estar calibrado e que o equipamento possua recursos para medição de nível de pressão sonora equivalente ponderado na escala “A” (L_{Aeq}).

O MNPS deve estar calibrado a partir de um calibrador acústico, os quais devem estar munidos de certificado de calibração da Rede Brasileira de Calibração (RBC) ou do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), renovado no mínimo a cada dois anos. Uma verificação e eventual ajuste do medidor de nível de pressão

sonora ou do sistema de medição deve ser realizada pelo operador do equipamento, com o calibrador acústico, imediatamente antes e após cada medição, ou conjunto de medições relativas ao mesmo evento.

c) Procedimentos de medição

Para o monitoramento e a aquisição de dados dos níveis de ruído é necessário que as medições sejam feitas mandatoriamente nos limites da propriedade ou local que contém a fonte emissora sonora. É sugerida uma correção dos valores medidos dos níveis de pressão sonora para obter maior precisão em relação ao incômodo causado numa determinada comunidade de indivíduos, no caso do ruído a ser medido possuir características especiais. O nível de pressão sonora corrigido é expresso por (L_c). (ABNT, 2003).

Para dinamizar o tratamento de dados, é sugerido pela norma que todos os valores medidos do nível de pressão sonora sejam aproximados ao um número inteiro mais próximo. A norma recomenda que não sejam feitas medições caso haja alguma interferência externa de fenômenos da natureza, neste caso a norma se refere a chuvas fortes, trovões, dentre outros. A escolha do intervalo de medição é livre e fica a critério do responsável pela coleta, desde que a coleta efetuada permita a caracterização do ruído. A medição poderá conter uma única amostra ou uma sequência delas. (ABNT, 2003).

d) Medições no exterior de edificações

Com o objetivo de minimizar interferências indesejáveis que possam vir a interferir nos métodos e resultados de medição, um dos efeitos a se prevenir é o dos ventos. Para a prevenção deste, é necessária a utilização de um protetor sobre o microfone, cuja a instrução deverá ser feita de acordo as especificações do fabricante. (ABNT, 2003).

Para medição no exterior das edificações ou áreas externas, que contenham as fontes emissora, as medições deverão ser feitas com altura do coletor de aproximadamente, 1,2m e com afastamento, ou seja, distância de pelo menos 2 metros do limite da propriedade e de qualquer outra superfície refletora, como muros, paredes, painéis. Na impossibilidade do cumprimento das recomendações, o registro da a situação específica deverá constar no relatório. (ABNT, 2003).

e) Medições no interior de edificações

No que se refere à coleta de dados em ambientes internos. Algumas recomendações e regras também deverão ser seguidas, com a finalidade de obtenção de dados de qualidade.

As medições deverão ser efetuadas com distância mínima de 1m de qualquer superfície refletora, como paredes, tetos, piso e moveis. Além da distância de 1m é recomendado que as medições sejam efetuadas em pelo menos três pontos distintos e que tenham afastamento mínimo de 0,5m entre si. De maneira equivalente as medições exteriores, caso não haja o cumprimento de alguma recomendação, a situação deverá ser descrita no relatório.

As medições poderão ser feitas com as janelas abertas ou fechadas. O que vai determinar a opção a ser escolhida é o objetivo da medição com a indicação de quem solicitou.

f) Correções para ruídos com características especiais

Quando há necessidade de correção por características especiais do ambiente algumas correções devem ser feitas conforme Tabela 20. As correções são sugeridas para ruídos que apresentem características impulsivas, de impacto e tonais.

Tabela 20: Correção de características especiais do ruído

Tipo	Ação
Sem caráter impulsivo e sem componentes tonais	O nível corrigido L_c para ruído sem caráter impulsivo e sem componentes tonais é determinado pelo nível de pressão sonora equivalente, L_{Aeq} . Caso o equipamento não execute medição automática do L_{Aeq} , deve ser utilizado o procedimento contido no anexo A da norma ABNT 10.151.
Sem caráter impulsivo e sem componentes tonais	O nível corrigido L_c para ruído sem caráter impulsivo e sem componentes tonais é determinado pelo nível de pressão sonora equivalente, L_{Aeq} . Caso o equipamento não execute medição automática do L_{Aeq} , deve ser utilizado o procedimento contido no anexo A da norma ABNT 10.151
Caráter impulsivo ou de impacto	O nível corrigido L_c para ruído com características impulsivas ou de impacto é determinado pelo valor máximo medido com o medidor de nível de pressão sonora ajustado para resposta rápida (<i>fast</i>), acrescido de 5 dB (A). Quando forem publicadas Normas Brasileiras para avaliação do incômodo devido ao ruído impulsivo, estas deverão ser aplicadas.
Caráter impulsivo com componentes tonais	O nível corrigido L_c para ruído com componentes tonais é determinado pelo L_{Aeq} acrescido de 5 dB (A). Por fim o nível corrigido L_c para ruído que apresente simultaneamente características impulsivas e componentes tonais deve ser determinado aplicando-se os procedimentos descritos na norma e tomando-se como resultado o maior valor.

Fonte: Adaptado de ABNT, 2003.

O método de avaliação do ruído baseia-se em uma comparação entre o nível de pressão sonora corrigido L_c e o nível de critério de avaliação NCA. A Tabela 13 menciona o tipo de área e o ruído equivalente permitido e separado em período diurno e noturno.

4 COMPLEXO EÓLICO SERRA AZUL

O Parque Eólico Serra Azul está localizado na zona rural dos municípios de Cafarnaum e Mulungu do Morro, na região da Chapada Diamantina, no Estado da Bahia. Conforme pode ser visto na Figura 26, Parque Eólico Serra Azul é composto por quatro (04) sub-parques: Dois Riachos (30 MW), Damascena (30 MW), Maniçoba (30 MW) e Esperança (28 MW), que totalizam a geração de 118 MW.

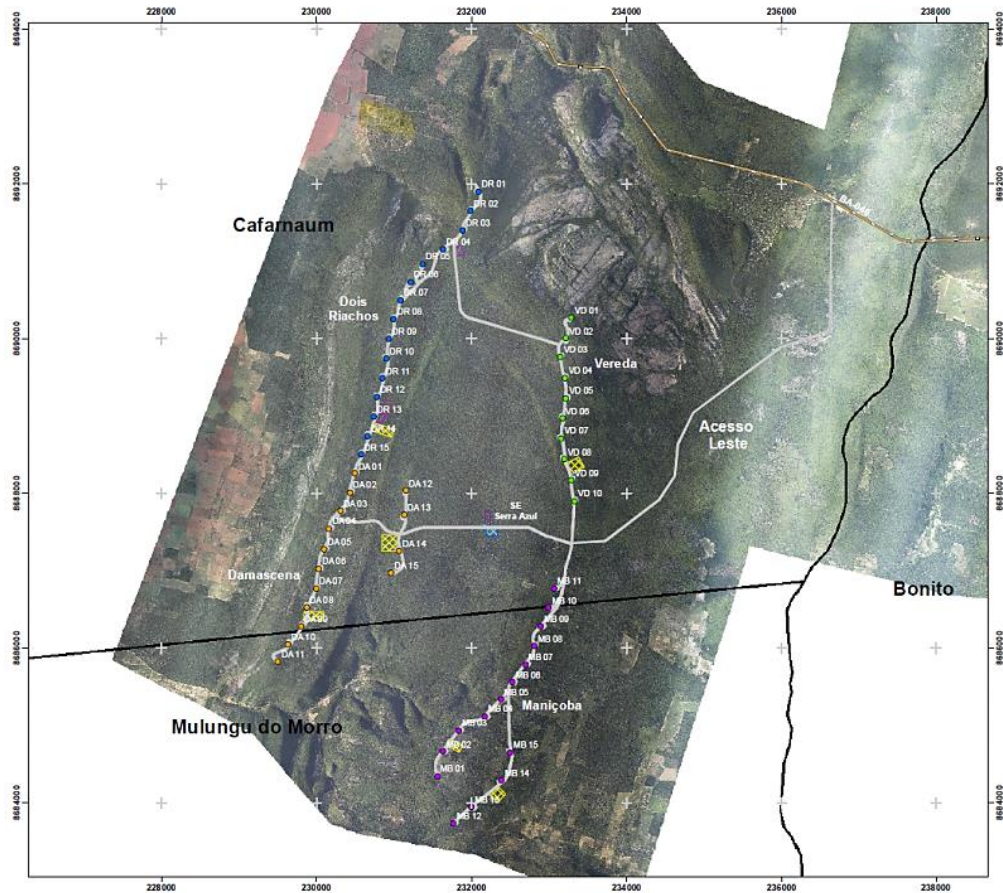
Figura 26: Configuração do Parque Eólico Serra Azul



Fonte: Do autor.

O Parque Eólico Serra Azul abrange 22 propriedades, das quais 17 possuem aerogeradores e infraestrutura instalada. Outras duas propriedades de acesso se situam ao leste e três pelo acesso norte.

Figura 27: Parque Serra Azul - Localização das torres



Fonte: SEIA, 2016.

Para acessar o parque, partindo do referencial a cidade de Salvador, capital do estado da Bahia, é necessário acessar a BR 324 e prosseguir por cerca de 108 km até a cidade de Feira de Santana, e então mudar o trajeto para a BA 052 até chegar ao entroncamento entre a BA 052 e a BR 122, prosseguindo este trajeto por 300 km, chegando a Cafarnaum. De Cafarnaum até o portão de entrada do parque se percorre cerca de 20 km até o complexo Cristal, por onde são percorridos mais 10 km. Dentro do Complexo Eólico Cristal são 21,3 km pelo acesso interno, até chegar à rodovia estadual BA-046. Na rodovia BA 046 são percorridos apenas 0,6 km até o início do acesso ao Parque Eólico Serra Azul, na coordenada UTM Fuso 24L 236658,3 / 8691773,9.

O Complexo Eólico Serra Azul está localizado cerca de 11 km do centro da cidade de Cafarnaum, no Povoado de Pedras que possui 485 habitantes, 215 construções e 131 domicílios ocupados. A economia do Povoado de Pedras é baseada basicamente em agricultura de pequeno porte e familiar, produzindo milho, feijão e mamona em áreas rurais. Nos municípios de Cafarnaum e Mulungu do Morro são cultivados tomate, cebola e mamona. (SEIA, 2016).

O Relatório Ambiental Simplificado (RAS) para a Licença de Instalação, não mencionou nenhuma área de importância arqueológica. Também não foi identificada nenhuma comunidade indígena, quilombola ou tradicional. Os dados contidos no RAS inferem que o empreendimento não traz riscos aos patrimônios históricos, culturais, arqueológicos e espeleológico. A implantação do parque não previu alterações significativa das atividades econômicas da população, haja visto que a atividade predominante é rural. (SEIA, 2016).

Foi identificado potencial para o turismo, pois em épocas de chuva no Balneário do Rio da Pedras, nasce um córrego temporário de águas pluviais de grande vazão, o que propicia o aparecimento e quedas d'água e acúmulo de piscinas naturais, já que a água corre pelas rochas características do relevo da região.

Com relação as áreas de influência, estas podem ser divididas em Área Diretamente Afetada (ADA), Área de Influência Direta (AID) e Área de Influência Indireta (AII), foram feitas as seguintes considerações, como é apresentado na Tabela 21.

Tabela 21: Descrição das áreas afetadas pelo Complexo Eólico Serra Azul

Tipo de Área	Considerações
ADA	Foram considerados os povoados e propriedades que serão atingidas diretamente pela implantação das estruturas do Complexo Eólico. Faz parte desta área 24 (vinte e quatro) propriedades e o povoado de Pedras (Cafarnaum), localizado próximo às margens da via de acesso ao Complexo Eólico Serra Azul.
AID	A sede de Morro do Chapéu foi incluída na AID, devido à infraestrutura de serviços existente no município que poderá atender ao público trabalhador do Complexo Eólico durante a fase de operação.
AII	Em relação à AII do meio socioeconômico, contemplam-se os municípios de Cafarnaum, Mulungu do Morro, Morro do Chapéu e Bonito. As cidades de Morro do Chapéu e Bonito foram incluídas na AII, pois o Complexo Eólico Cristal fica também dentro destes limites municipais.

Fonte: SEIA, 2016.

4.1 Os aerogeradores do Complexo

O projeto inicial do Complexo Eólico Serra Azul, previa a instalação de 39 turbinas eólicas Siemens SWT-2.3-101. As turbinas Siemens, foram substituídas por turbinas do modelo G97III A do fabricante Gamesa. O modelo inicial do projeto tinha capacidade de geração de 2,3 MW, enquanto que o modelo da Gamesa gera 2,0 MW. Os aerogeradores Gamesa foram instalados nos sub-parques Damascena e Maniçoba.

Próximo ao Complexo Eólico Serra Azul, fica o Complexo Eólico Cristal. Parte do Complexo Eólico Cristal possui os aerogeradores da Siemens SWT 2,3-101. Durante a pesquisa de campo deste trabalho parte do Complexo Eólico Cristal também foi visitado, porém os aerogeradores estavam temporariamente desativados. Na Figura 28 pode observar que as pás estão em posição bandeira, ou seja, estão numa posição de repouso.

Figura 28: Aerogerador Siemens SWT 2.3-101 pertencente ao Complexo Cristal



Fonte: Do autor.

Durante a pesquisa de campo foi coletada uma imagem, FIG. 29, no momento da medição em que pode ser visto o aerogerador do modelo G97 2.0 MW da Gamesa.

Figura 29: Aerogerador G97 – Complexo Eólico Serra Azul



Fonte: Do autor.

A Tabela 22 informa as características e especificações do modelo utilizado no Complexo Eólico Serra Azul. As características estão contidas no Relatório Ambiental Simplificado (RAS), disponível no Sistema Estadual de Informações Ambientais e de Recursos Hídricos (SEIA).

Tabela 22: Aerogerador G97IIIA - Gamesa

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICAÇÃO TURBINA GAMESA G97-IIIA
Fabricante	Gamesa
Tipo	Turbinas eólicas com um eixo horizontal e três pás
Modelo	G97-IIIA
Cor	Branca
Composição	Torre cilíndrica ou cônica em aço tubular
Altura da Torre	90m
Diâmetro do Rotor com as pás	97m
Quadro de Controle	Nacelle
Pás	49m de comprimento
Sistema de Freio	Freio a ar, com três cilindros hidráulicos
Diâmetro da Base	19m
Potencia nominal	2.000 kW
Voltagem	690
Peso do rotor	47 toneladas
Peso da Nacelle	72 toneladas
Torre	216 toneladas
Área varrida pelo rotor	7389,8 m ²
Velocidade do rotor	9 – 19 rpm
Velocidade do vento para arranque do rotor	3m/s
Velocidade do vento para potencia nominal	14-15m/s
Velocidade máxima	25 m/s

Fonte: SEIA, 2016

4.2 Previsão do ruído do Complexo

O Complexo Eólico Serra Azul, utiliza aerogeradores G97 Gamesa. Conforme especificações do fabricante, o nível de ruído esperado quando o aerogerador alcança a potência nominal é de 104,5 dB (A). O ruído equivale à soma de todos os ruídos gerados pela turbina. No caso do modelo G97, a potência nominal é alcançada quando a velocidade do vento está entre 14 e 15m/s.

Figura 30: Especificação do modelo G97 - Gamesa

SPECIFICATIONS			
General Data		Towers	
Rated power	2.0 ⁽¹⁾ MW	Height	78, 90, 100, 104 ⁽²⁾ , 120 m
Wind class	IIA/IIIA	Gearbox	
Noise emission level	104.5 dB(A) at rated power	Type	1 planetary stage 2 parallel shaft stages
Noise control	Gamesa NRS*	Ratio	1:106.8 (50Hz) 1:127.1 (60Hz)
Temperature range	-30°C to +40°C (+45°C with de-rating)	Generator	
Environmental options	Versions available for high-altitude sites and dusty and high-corrosion environments	Type	Doubly-fed generator
Cut-in speed	3 m/s	Voltage	690 V AC
Cut-out speed	25 m/s (100s filter)	Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rotor		Protection class	IP54
Diameter	97 m	Power factor	0.95 CAP - 0.95 IND throughout the power range
Swept area	7,390 m ²	MAIN MILESTONES	
Rotational speed	9.6 - 17.8 rpm	G97 IIIA	
Control	Variable pitch and speed	First prototype	2011
Blades		Mass production	2011
Length	47.5 m	Type certificate	Available (DNV)
Profile	Gamesa	G97 IIA	
Material	Fiber glass pre-impregnated with epoxy resin + carbon fiber	First prototype	2012
		Mass production	2012
		Type certificate	Available (DNV)

(1) 2.1 MW nominal power upgrade available depending on the site.
(2) Class S.

Fonte: Adaptado de GAMESACORP, 2016.

No RAS, Relatório Ambiental Simplificado, submetido pela Enel Green Power (responsável pelo empreendimento), está prevista a execução de programas de monitoramento de ruído, o qual foi intitulado pelo empreendimento de “P12”.

O plano de monitoramento de ruído do Parque Eólico Serra Azul se desmembra em três principais fases:

- Fase 01 - Implantação do Parque
- Fase 02 - Após a implantação do parque
- Fase 03 – Operação do Parque

A Tabela 23 apresenta o cronograma e destaca dentre outros os meses previstos da execução dos monitoramentos “P12”.

Tabela 23: Cronograma de Gestão Ambiental do Complexo Eólico Serra Azul

Seq	Id.	Descrição	Coordenador	2014					2015												2016					
				Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev				
1	P01	Programa de Gestão Ambiental	Elcio Terron																							
2	P04	Plano de Supressão de Vegetação, Resgate de Flora, Afugent. e Resgate de Fauna	Adriana Akemi																							
3	P05	Plano de Monitoramento de Fauna	Adriana Akemi																							
4	P06	Programa de Comunicação Social	Márcia Chaves																							
5	P07	Programa de Educação Ambiental	Márcia Chaves																							
6	P08	Programa de Educação em Saúde	Márcia Chaves																							
7	P12	Programa de Controle e Monitoramento de Ruídos	José Carlos Lima																							
8	P14	Plano de Monitoramento da Qualidade da Água e Proteção dos Recursos Hídricos	Elcio Terron																							
9	P18	Plano de Conectividade entre Componentes da Paisagem	Elcio Terron																							

Fonte: SEIA, 2016.

O principal objetivo do Programa de Controle e Monitoramento de Ruído é identificar as situações em que os níveis de ruído gerados pelas obras e pela operação do empreendimento ultrapassam os limites normatizados através da ABNT NBR 10.151.

Como previsto no cronograma foi realizado no período de 17 a 20/12/14 a Primeira Campanha de Monitoramento de Ruído na fase de implantação do Parque Eólico Serra Azul.

4.2.1 Monitoramento do ruído - Implantação

A Primeira Campanha de Medição de Ruído – Fase Implantação, foi feita nos arredores do Complexo Eólico Serra Azul, contemplando as zonas rurais dos municípios de Cafarnaum e Mulungu do Morro – Ba.

As medições foram feitas em dezembro de 2014. Para nível de conhecimento o empreendedor havia realizado uma campanha na fase de pré-implantação, em 2013, os quais constam no relatório da fase de implantação para efeitos de comparação.

A forma de coleta de dados, monitoramento e metodologia, foram aplicados com base nas recomendações da norma ABNT NBR 10.151, que versa sobre os níveis máximos de ruídos em ambientes externos e internos. Na execução do monitoramento foram arbitrados 11 pontos, medidos anteriormente na fase de pré-implantação de modo a gerar comparações dos efeitos gerados na implantação do parque. A Tabela 24 apresenta os pontos e medições. (SEIA, 2016).

Tabela 24: Características dos Pontos de Medição, Valores Medidos (dB (A)) e Comparação com o NCA da NBR 10.151

Características dos Pontos de Medição, Valores Medidos (dB(A)) e Comparação com o NCA da NBR 10.151					
Ponto	Localização no Estado da Bahia	Tipo de Ocupação Classificação segundo NBR 10.151	L_{Aeq} medido em Jul/2013	L_{Aeq} medido em Dez/2014	NCA NBR 10.151
P01	Estrada Rural – Comunidade Popular – Cafarnaum E=230.282 N= 8.705.115	Áreas estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	59,7	62,0	50
P02	Estrada Rural – Bairro do Beca - Cafarnaum E=230.505 N= 8.704.522	Áreas de sítios e fazendas	57,7	60,6	40
P03	Estrada rural – Comunidade de Pedras - Cafarnaum E=231.539 N= 8.695.454	Áreas de sítios e fazendas	41,4	58,1	40
P04	Escola Municipal Manoel L. J. de Souza – Comunidade de Pedras - Cafarnaum E=231.701 N= 8.695.251	Áreas de escolas	47,8	60,3	50
P05	Estrada rural - Comunidade de Pedras - Cafarnaum E=231.988 N= 8.695.251	Áreas de sítios e fazendas	43,2	50,0	40
P06	Estrada rural – Comunidade de Pedras – Acesso principal ao Parque Eólico - Cafarnaum E=236.640 N= 8.691.800	Áreas de sítios e fazendas	40,9	56,7	40
P07	Assentamento Olhos d'água - Cafarnaum E=230.630 N= 8.692.350	Áreas de sítios e fazendas	36,2	37,8	40
P08	Escola Municipal Maria A. R. de Jesus Povoado da Conquista - Cafarnaum E=227.407 N= 8.692.487	Áreas de escolas	46,4	55,5	50
P09	Povoado de Recife - Cafarnaum E=227.091 N= 8.689.573	Áreas de sítios e fazendas	36,9	36,7	40
P10	Área Rural – Mulungu do Morro E=229.785 N= 8.685.112	Áreas de sítios e fazendas	32,5	-	40
P11	Comunidade Lagoa Seca – Mulungu do Morro E=232.705 N= 8.683.596	Áreas de sítios e fazendas	33,8	37,6	40

Nota: Os valores destacados se referem aos valores que ultrapassam os padrões estabelecidos pela NBR 10.151.
Obs.: Ausência de valor de P10 nesta campanha devido à falta de condições de acessibilidade ao exato local do ponto (vide respectiva ficha de medição de ruído).

Fonte: SEIA, 2016

Algumas considerações foram apresentadas nos relatórios, principalmente para aquelas que excederam o limite superior recomendado pela norma ABNR NBR 10151. A Tabela 25 apresenta as considerações apresentadas. Após as medições algumas considerações foram feitas, dentre as quais se destacam aquelas em que o valor apresentado excede o limite máximo da norma NBR 10.151.

Tabela 25: Discussão dos resultados encontrados durante monitoramento de ruído

Considerações	Problema encontrado
1	Os pontos P01, P02, P03, P04, P05, P06 e P08 apresentaram valores acima dos estabelecidos na NBR 10.151. Os pontos P01e P02 já apresentavam L_{Aeq} muito acima dos valores estabelecidos na NBR 10.151, desde a campanha de Julho/2013 e, nesta campanha de Dez/2015, apresentaram acréscimo nestes valores excedentes, de 2,3 dB (A) e 2,9 dB (A), ultrapassando 12,0 dB (A) e 20,6 dB (A), respectivamente. Este leve acréscimo se deve ao aumento de tráfego, inclusive o de veículos pesados, no P01 e ao alargamento e desenvolvimento de maior velocidade dos veículos na via rural em P02. No Ponto P01, nesta campanha de dez/2014, observa-se a alteração de NCA (Nível de Critério de Avaliação) da NBR 10.151, de 40dB (A) em áreas de sítios e fazendas, para 50dB (A) em áreas estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas, devido à implantação da Unidade Básica de Saúde Sede de Cafarnaum no local onde antes, na campanha de Julho/2013, havia um espaço aberto, o qual era utilizado como local de encontro (playground e culto religioso) pelos moradores.
2	Os pontos P03, P05 e P06 já apresentavam L_{Aeq} pouco acima dos valores estabelecidos na NBR 10.151, na campanha de Julho/2013 e, na presente campanha excederam 18,1dB (A), 10,0 dB (A) e 16,7 dB (A), respectivamente. No P03 e P06, isto ocorreu devido ao aumento considerável do tráfego nas vias locais, principalmente de veículos pesados. Já no P05, houve um decréscimo do tráfego, porém o ruído ambiente de pessoas conversando e o canto de pássaros foram responsáveis pelo aumento do excedente apurado na presente campanha.
3	Os valores de L_{Aeq} para os pontos P04 e P08 ultrapassaram os valores estabelecidos na NBR 10.151 nesta campanha de dez/2015, excedendo em 10,3dB (A) e 5,5dB (A), respectivamente. No ponto P04, observa-se uma leve diminuição no tráfego, porém um aumento significativo na porcentagem de veículos pesados trafegando nas vias locais. No P08, houve aumento significativo no tráfego geral de veículos, inclusive no de veículos pesados..
4	Os demais pontos: P07, P09 e P11 permanecem adequados aos padrões de conforto acústico para áreas de sítios e fazendas estabelecidos na NBR 10.151.

Fonte: Adaptado de SEIA, 2016.

Nota: Não foi encontrado nos meios públicos de consulta, como INEMA e SEIA os dados dos monitoramentos posteriores a este. Faz-se necessária uma cobrança aos órgãos de controle e monitoramento ambiental a disponibilização pública dos dados e se estes não tiverem

sido disponibilizados pelo empreendimento fazer uma cobrança para a disponibilização dos mesmos.

4.3 Análise dos ruídos no Complexo Eólico Serra Azul

A coleta de dados foi efetuada dentro do Complexo Eólico Serra Azul. Algumas restrições foram estabelecidas pela Enel Green Power, responsável pelo empreendimento, desde a entrada nos parques do complexo em questão. As restrições incluíam:

Acesso ao Complexo com o acompanhamento de funcionário em viatura do complexo.

As coletas dos ruídos e publicação dos dados se limitaram a apenas duas torres do parque Damascena. Identificadas como DM01 e DM02

A restrição ao parque Damascena se deu em virtude de intervenções nos outros parques

Os horários de coleta estavam restritos aos períodos de 6 as 12h e das 14h às 18h, por motivo de segurança e integridade física dos funcionários e do pesquisador, haja vista a aparição de animais silvestres de grande porte, como onças.

Saída do Parque até as 18h em virtude da estrada de retorno às cidades serem de terra, sem sinalização, sem iluminação e com riscos de assalto.

Figura 31: Estrada de acesso ao Complexo Eólico Serra Azul



Fonte: Do autor.

4.3.1 Coleta de dados

A coleta de dados foi efetuada em duas visitas distintas ao Complexo Eólico Serra Azul, cujo horário disponibilizado e determinado pela administração do empreendimento foi das 6 às 18h, com pausa para o almoço. As únicas torres liberadas para a avaliação foram as de sigla DM1 e DM2, portanto estas foram os objetos de estudo e das coletas.

Figura 32: Torres DM01 e DM02 a direita.



Fonte: Do autor.

a) Metodologia

A metodologia escolhida para coleta de dados foi a mesma utilizada pela norma ABNT 10.151 para efetuar a coleta dos dados, pois a norma em questão versa sobre a medição da pressão sonora em áreas externas. (ABNT,2003). Vale ressaltar que o Brasil não possui uma norma dedicada a medição de ruídos de aerogeradores. Como a norma não restringe as escolhas dos pontos e a quantidade de medições a serem efetuadas, para o estudo de caso deste trabalho foi arbitrada a quantidade de pontos, medidas e a distância entre a fonte emissora e o receptor.

Foram definidos 5 pontos de distanciamento das fontes emissoras de ruído, variando de 5 a 500 metros em intervalos definidos. Para cada distância deles foram efetuadas 6 coletas, divididas entre manhã e tarde, conforme Tabela 26. Vale ressaltar que cada coleta é feita durante 10 minutos, resultando em 120 medidas da pressão sonora em dB (A).

Tabela 26: Planejamento das medições de ruído

Ponto	Distância	Horário	Nº de Coletas	
			DM01	DM02
1	5m	6-12h	3	3
		14-16h	3	3
2	50m	6-12h	3	3
		14-16h	3	3
3	100m	6-12h	3	3
		14-16h	3	3
4	250m	6-12h	3	3
		14-16h	3	3
5	500m	6-12h	3	3
		14-16h	3	3
Total de Coletas			60	

Fonte: Do autor.

Os pontos estão geograficamente distribuídos conforme mapa da Figura 34. As medições foram executadas a frente do aerogerador para evitar a captação de ruídos de turbulência que são gerados na zona posterior da pá. Outro motivo para tal medida está numa possível comparação futura com a norma IEC 61400-11, que prevê que a medida seja realizada a partir da parte frontal do aerogerador.

Figura 33: Mapa do Zoneamento



Fonte: GOOGLE, 2017.

b) Instrumentos utilizados

Conforme solicita a norma ABNT 10.151, foi utilizado um medidor de pressão, que já realiza automaticamente a medidas da pressão sonora equivalente ponderado em “A” (L_{eq}). Um medidor multifunção foi utilizado na aquisição de dados de Pressão Sonora, higrômetro e termômetro. A Tabela 27 apresenta as características do instrumento multifunção utilizado.

Tabela 27: Características do equipamento de medição multifunção

Multifunction- Enviroment Meter		
Decibelímetro	Escala Baixa (Low)	35 a 100 dB
	Escala Alta (High)	65 a 130 dB
	Precisão	$\pm 3,5$ dB a 94 dB
	Resolução	0, 1dB
	Frequência	30 Hz a 10 KHz
	Curva Ponderação	A e C
	Microfone	Eletreto Fixo
Higrômetro	Tipo de sensor	Resistivo
	Escala	25 a 95 % UR
	Precisão	$\pm 5\%$ Leitura + 10 dígitos
	Resolução	0,10%
	Tempo de resposta	6 minutos
Termômetro	Tipo de sensor	Termopar tipo K
	Escala Baixa	- 20 °C a 200 °C
	Escala Alta	200 °C a 750 °C
	Precisão Baixa	$\pm 3\%$ Leitura ± 2 °C
	Precisão Alta	$\pm 3,5\%$ Leitura ± 2 °C
	Resolução Baixa	0,1 °C
	Resolução Alta	1 °C
Características Gerais	Fabricante	Impac
	Modelo	IP-410
	Tipo de Visor	Cristal líquido 3 1/2 dígitos
	Construção	Caixa plástica ABS
	Certificado de Calibração	32402015
	Indicação sobre faixa	Sim
	Congelamento de leitura	Sim
	Auto desligamento	Sim (10 minutos)
	Indicação de Bateria Fraca	Sim
	Alimentação	Bateria 9 V (inclusa)
	Consumo de corrente	7 mA max
	Temperatura ambiente	0... +40 °C
	Umidade ambiente	> 10% e < 80% UR
	Dimensões	251 x 64 x 40 mm
	Peso com bateria	250 g

Fonte: Adaptado de manual IMPAC, 2015.

Na figura 35 e 36 seguem as imagens do medidor utilizado na pesquisa e a maleta do kit.

Figura 34: Medidor multifunção. Teste de medição de ruído



Fonte: Do autor

Figura 35: Maleta de armazenamento do medidor multifunção



Fonte: Do autor.

Não foi necessário efetuar a medição da velocidade do vento, haja vista que o técnico que fez o acompanhamento na visita informou a velocidade captada pelo anemômetro do próprio aerogerador. Parte das coletas foram feitas em junho de 2016. A velocidade média dos ventos nos dias de coleta de dados era de 7 m/s a ESE - lés-sudeste, ou seja, os ventos estavam soprando par a direção entre o nordeste e o leste.

De forma complementar foram utilizados no momento da coleta de dados os seguintes aparatos: Notebook; Microfone; Pedestal para microfone; Smartphone. O objetivo desse material complementar era assegurar que as medições estavam em concordância com os requisitos citados na norma ABNT 10.151.

Figura 36: Teste de medição de ruído no Complexo Eólico Serra Azul



Fonte: Do autor.

4.3.2 Tratamento dos dados

Como previsto foram feitas 60 coletas com duração de 10 minutos cada, totalizando 600 minutos de exposição ao ruído in loco. Como cada coleta efetuada gera 120 medidas, foram feitas as medias aritméticas destas para compor apenas 1 medida de pressão sonora para cada coleta realizada.

Os dados coletados pelo decibelímetro foram transpostos para uma planilha, de modo a organizar os dados para efetuar os cálculos de previsão do ruído emitido pela fonte geradora. O ruído total é considerado como a soma dos ruídos gerados no emissor (mecânico e aerodinâmico) acrescido do ruído de fundo, ou seja, o ruído do ambiente.

Diante dos dados a serem apresentados na Tabela 28, é importante citar que durante as coletas, o aerogerador instalado na torre DM01 apresentava, notoriamente, ruído mais elevado que DM02. Outro ponto a ser considerado está relacionado às medições de DM2 no ponto 5, que mostra todas medidas constantes e com o valor de 30 dB (A). Este comportamento se deve à escala mínima do medidor ser de 30 dB (A), ou seja, qualquer valor inferior ao limite da escala do equipamento é considerado 30 dB (A).

Tabela 28: Dados das medições executadas

Ponto	Distância	Horário	Nº de medições					
			DM01			DM02		
			L_{Aeq} dB (A)	L_{Aeq} dB (A)	L_{Aeq} dB (A)	L_{Aeq} dB (A)	L_{Aeq} dB (A)	L_{Aeq} dB (A)
1	5m	6-12h	78	79	77	71	70	70
		14-16h	79	79	78	69	71	72
2	50,	6-12h	60	58	58	49	48	48
		14-16h	61	60	57	48	50	51
3	100	6-12h	53	53	52	43	41	44
		14-16h	52	51	51	42	44	44
4	250	6-12h	47	43	43	36	35	36
		14-16h	44	46	45	37	36	38
5	500	6-12h	39	40	37	30	30	30
		14-16h	37	42	37	30	30	30
Total de coletas			60					

Fonte: Do autor.

A Tabela 29 apresenta, para cada distância, a média aritmética dos valores contidos na Tabela 28,

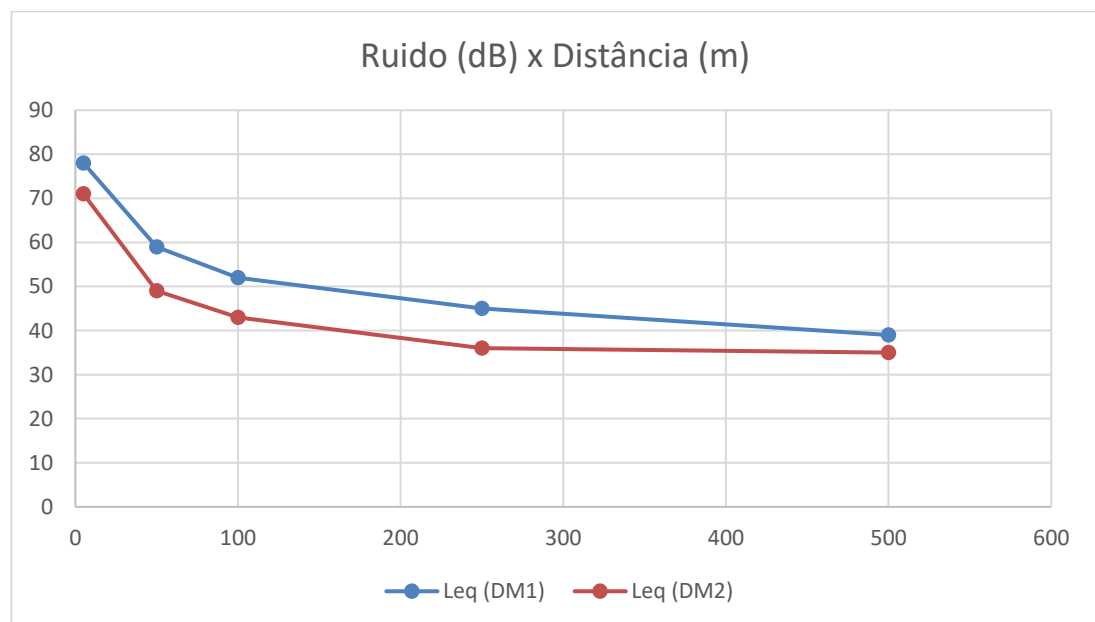
Tabela 29: Media das medidas dos ruídos por classe de distância

Média das Medições de Ruído				
Ponto	Distância	Horário	DM01	DM02
			Laeq (dB) Médio	Laeq (dB) Médio
1	5	6-12h	78	71
		14-16h		
2	50	6-12h	59	49
		14-16h		
3	100	6-12h	52	43
		14-16h		
4	250	6-12h	45	36
		14-16h		
5	500	6-12h	39	35
		14-16h		

Fonte: Do autor.

O Gráfico 12 demonstra o comportamento da queda da percepção do ruído com o afastamento das torres.

Gráfico 12: Gráfico do ruído medido em relação as distâncias.



Fonte: Do autor.

No Gráfico 12 se nota que a curva tende a se igualar no infinito. Esse se fato acontece por dois fatores. O primeiro fator é que a escala mínima do decibelímetro é de 35 dB (A), portanto é um limitante para medir ruídos abaixo deste ponto. A maioria dos decibelímetro operam nas faixas ente 20 a 110 dB (A). O segundo fator é que com o distanciamento da fonte emissora a propagação do ruído diminui, pela atenuação na vegetação e no solo.

A partir do Gráfico 12, é possível notar que o aerogerador DM01 apresenta em todas as distâncias ruído maior do que em DM02. Tal fato pode sugerir que uma das torres esteja com nível de ruído fora do especificado pelo fabricante, a qual poderia se comprovar com a medição interna no aerogerador ou com a utilização de uma equação de previsão de ruído a partir de dados coletados no solo.

a) Discussão do tratamento dos dados

Os resultados das medições demonstram que o nível de ruído diminui com o distanciamento do aerogerador, tendendo a coincidir com o ruído de fundo ou o limite da escala do medidor de pressão sonora.

Os ruídos emitidos pelos aerogeradores, principalmente nas distâncias de 5 e 50 metros, estão em desacordo com os valores estabelecidos pela norma ABNT NBR 10.151, haja visto que para o período diurno o valor máximo permissível para zonas rurais é de 40 dB (A). Para que fosse cumprida a recomendação descrita na norma ABNT NBR 10.151 a distância mínima para que os aerogeradores estivessem dentro da norma seriam aproximadamente de 150m para DM02 e de 410m para DM01.

O Complexo Eólico Serra Azul, está situado a mais de 10km da comunidade local. Tendo em vista que a partir de 500 metros de distância do aerogerador, o ruído ouvido é apenas o ruído de fundo, pode-se dizer, que neste caso não há risco de exposição para essas populações. Como dentro do complexo existem empregados, estes podem sofrer danos pela exposição contínua aos ruídos, desde que ultrapassem os limites previstos na NR-15. Existe uma falha na NR-15, haja visto que somente a partir de 85 dB (A) é que se estabelece uma recomendação do período máximo de exposição permitido. A preocupação recai sobre os vigilantes e seguranças dos parques, pois os mesmos trabalham em regime de turnos de 12 horas.

Como as doenças e síndromes provocadas pelo infrassom estão relacionadas a baixa frequência e não apenas a faixa de pressão sonora, portanto os ruídos apresentados na coleta de dados não podem ser relacionados com essas doenças de maneira direta.

Diante da disponibilidade dos dados obtidos através da coleta, torna-se possível, com a utilização de equações existentes prever o ruído emitido pela fonte (aerogerador), com os dados de ruídos coletados no solo.

4.4 Determinação do ruído na fonte

A partir dos dados coletados dos ruídos (níveis de pressão sonora) emitidos pelos aerogeradores DM01 e DM02, torna-se possível estimar o nível de ruído gerado pela fonte emissora. Desta forma é possível verificar se o aerogerador apresenta níveis de ruídos compatíveis com as especificações fornecidas pelo fabricante. A utilização deste método de determinação do ruído, torna-se uma importante ferramenta para auxílio da manutenção do equipamento e do monitoramento ambiental. As comparações deverão ser realizadas com os limites sonoros apresentados na norma ABNT NBR 10.151.

4.4.1 Dados de entrada

Para realizar a previsão do ruído emitido pela fonte faz-se necessário o conhecimento dos seguintes fatores:

- Características da fonte (por exemplo, direção, altura, etc.); Distância da fonte do observador; Absorção de ar, que depende da frequência; Efeitos de solo (reflexão e absorção de som no solo); Altura da fonte, cobertura do terreno, propriedades do solo, frequência, etc.; Bloqueio do som por obstruções e terreno irregular; Efeitos do tempo (isto é, velocidade do vento, mudança da velocidade do vento ou temperatura com a altura); A direção predominante do vento pode causar diferenças consideráveis nos níveis de pressão sonora entre as posições de upwind e downwind.

4.4.2 Estimativa do ruído

A estimativa do ruído se baseia em um método de propagação hemisférica do ruído sobre uma superfície, a partir de conceitos definidos pela Agencia Internacional de Energia (IEA), a partir da coleta de dados efetuados por um decibelímetro na unidade dB (A).

Para realização da estimativa através do método recomendado pela Agencia Internacional de Energia, é considerada que a propagação dos ruídos dos aerogeradores acontecem sob uma superfície refletora (neste caso o solo) e a potência do ruído decai naturalmente devido ao efeito de propagação esférica. (IEA, 1994).

O método de estimativa utiliza a Equação 3 para determinar a pressão sonora na fonte emissora.

Equação 3: Equação para determinação da pressão sonora através de uma superfície reflectiva

$$L_p = L_w - 10 \log_{10}(2\pi R^2) - \alpha R$$

L_p = nível de pressão sonora no receptor

L_w = nível de ruído emitido pela fonte emissora

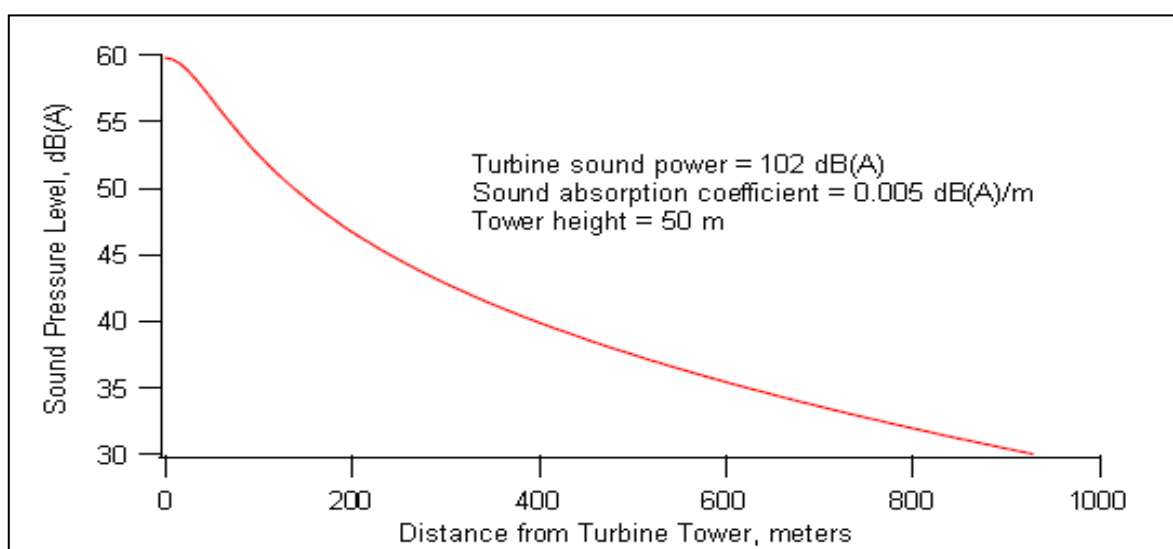
R = Distância entre a fonte emissora e o receptor

α = coeficiente de absorção sonora por metro

O coeficiente de absorção sonora “ α ”, consiste na relação entre a energia sonora absorvida pela superfície do solo e a energia sonora incidente na superfície do solo. Valores próximos de 0 (zero) significa que a maior parte da energia incidente na superfície é refletida, ou transmitida. Valores próximos de 1, significa que a maior parte da energia incidente na superfície foi absorvida. O modelo teórico utiliza o valor de $\alpha = 0,005$ para a superfície do solo.

Em seu trabalho Rogers, Manwell & Wright (2006), se propuseram a calcular, para um aerogerador com nível de emissão de ruído de 102 dB (A), os níveis de pressão sonora em diferentes distâncias. Utilizou-se o fator de absorção $\alpha = 0,005$. A partir dos valores calculados gerou-se uma curva de atenuação de pressão sonora, contendo os níveis de pressão para cada distancia, num intervalo de 0 (zero) a 1000 metros, como pode ser verificado no Gráfico 13.

Gráfico 13: Curva de atenuação de pressão sonora

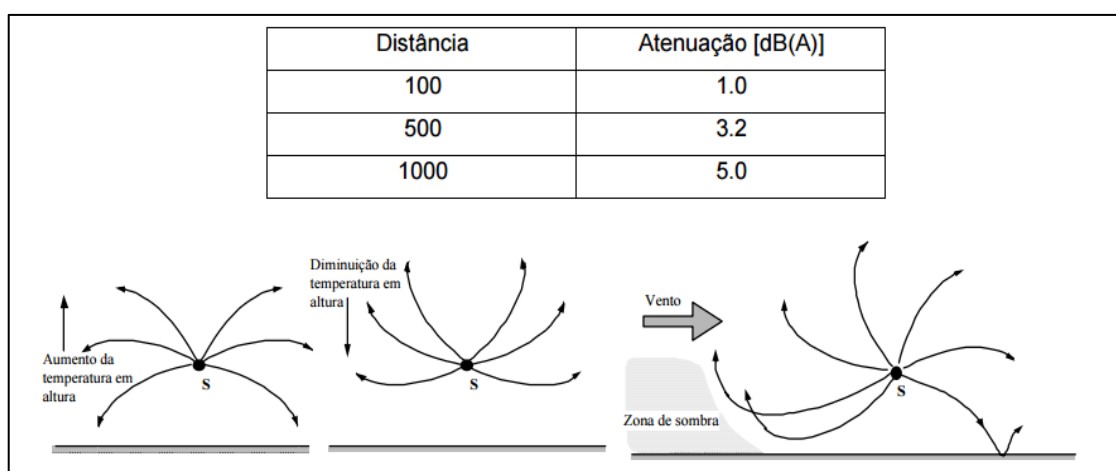


Fonte: ROGERS; MANWELL; WRIGHT, 2006.

Como o coeficiente de absorção sonora “ α ” pode variar de 0 a 1, a norma IEC 61400-11, sugere uma correção, com a atenuação de 6 dB (A) em condição de medição de grandes distâncias entre o emissor e o receptor. (IEC, 2012).

Levando em consideração a absorção atmosfera, uma terceira vertente propõe uma atenuação mais conservadora e consoante com a apresentada IEC (International Electrotechnical Commission) e pela Agencia IEA (International Energy Agency). O estudo se baseia no estudo do terreno, velocidade do vento e temperatura, (MATEUS, 2008).

Figura 37: Atenuação em dB (A) de absorção sonora para grandes distancias.



Fonte: MATEUS, 2008.

Baseado nos conceitos apresentados, convencionou-se a utilização de valores de “ α ” dependente da distância da fonte emissora de ruído, conforme Tabela 30.

Tabela 30: Valores de coeficiente de absorção sonora (α) e correção.

Distância	Coef α	Correção dB (A)
50m	0,0100	0,5
100m	0,0100	1
250m	0,0064	1,6
500m	0,0064	3,2
1000m	0,0050	5

Fonte: Do autor.

A determinação da pressão sonora (ruído) emitido pela fonte dos aerogeradores DM01 e DM02, foram feitas com base na utilização dos dados coletados *in situ*, aplicados na Equação 4, que consiste na reorganização das variáveis contidas na Equação 3.

Equação 4 - Equação modificada para previsão da pressão sonora emitida pela fonte.

$$L_w = L_{eq}(A) + 10\text{Log}_{10}(2\pi r^2) + \alpha r$$

Aplicando os dados coletados em campo dos aerogeradores (G97-Gamesa) no Parque Serra Azul à Equação 4 foi possível determinar a pressão sonora (ruído) emitido pelo aerogerador, conforme Tabela 31.

Tabela 31: Nível de Ruído na fonte emissora (L_w)

Distância (m)	DM01		DM02	
	L_{eq} dB (A) Receptor	L_w dB (A)	L_{eq} dB (A) Receptor	L_w dB (A)
5	78	103	72	97
50	58	103	54	99
100	52	104	44	96
250	44	104	36	97
500	38	106	30	98

Fonte: Do autor.

Para o aerogerador DM01 a média aritmética dos resultados é 104 dB (A). Em DM02 a média aproximada para um número inteiro é de 97 dB (A).

4.4.3 Discussão dos resultados dos ruídos em DM01 e DM02

Os resultados dos cálculos obtidos através da utilização da Equação 4, comprovaram que o método sugerido pelo IEA é eficaz para o cálculo de previsão do ruído emitido pela fonte a partir de dados coletados *in situ*. A afirmativa anterior é pertinente, tendo em vista que foi efetuada uma medição coletada dentro do aerogerador DM01, cujo resultado foi de 101 dB (A). Desta maneira pode se validar o método sugerido pelo IEA.

Alguns fatores foram relevantes para que a estimativa teórica do ruído estivesse próxima do valor real medido no aerogerador. Dentre os fatores se destaca a condição climática

e meteorológica favorável nos momentos das coletas, ou seja, sem chuva ou incidentes físicos que pudessem contribuir de forma negativa para a pesquisa.

O fabricante Gamesa na Tabela 22, informa que para o modelo G97 operar na sua potência nominal, é necessário que a velocidade do vento esteja acima de 14m/s. O valor médio dos ventos captados pelo anemômetro do aerogerador estava abaixo de 10m/s (dado fornecido pelo sistema do aerogerador). Como a velocidade do vento era inferior a 10m/s, subentende-se que o aerogerador não estava operando com a potência nominal, e, portanto, o ruído emitido por este não poderia ultrapassar os 104,5 dB (A), conforme dado do fabricante disponível na Figura 30.

Como a velocidade do vento estava abaixo de 10m/s e o ruído medido no aerogerador DM01 foi de 101 dB (A), o qual se aproxima do valor máximo de projeto (104,5 dB (A)), existe a hipótese de que o aerogerador não esteja funcionando conforme esperado devida proximidade entre o valor medido e o valor de projeto, tendo em vista que a velocidade do vento no local era de 7m/s. Foi observada a presença de equipes de manutenção dentro do parque, é possível que as manutenções já estivessem sido executadas.

A norma ABNT NBR 10.151, estabelece que para zonas rurais o limite de 40 dB (A). Os dados dos níveis de pressão sonora, contidos na Tabela 28, os quais foram aferidos no Parque Serra Azul para os aerogeradores DM01 e DM02, mostram que 70% dos valores estão acima do máximo permitido pela norma ABNT NBR 10.151. Considerando o aerogerador DM01, pode-se notar na Tabela 28, que 80% das medidas estão acima de 40 dB (A). As distâncias que apresentaram os maiores níveis de ruído foram os pontos até 100 metros de distância do aerogerador.

O resultado da medição feita a 500 metros do aerogerador DM02, deve ser ponderado, haja visto que o aparelho responsável pelas medições possui faixa inferior de medição com precisão de 0,1 dB (A) até 30 dB (A), ou seja, ruídos que estejam abaixo desse valor e ainda audíveis pelos seres humanos não puderam ser verificados, o que gerou a exclusão da coleta a 1000 metros e considerou 30 dB para 500m em DM02, pois a partir deste ponto os níveis de pressão sonora não decairiam.

O Gráfico 12 apresenta uma curva de tendência exponencial decrescente, em que os valores dos ruídos gerados pelos aerogeradores DM01 e DM02, tendem-se a se igualar ao ruído de fundo. Tal afirmação faz todo sentido, pois com o aumento da distância, a dissipação do ruído pelo ar e vegetação é maior, ou seja, quanto mais distante o receptor estiver da fonte emissora menor será o efeito dos ruídos emitidos pelos aerogeradores na escala audível pelo humano. E visto que o comportamento logarítmico da curva tende a se estabilizar por volta do

20 dB (A), esse fato se dá pelo ruído de fundo, ou ruído ambiente, que vai permanecer no entorno do Parque Eólico nessa faixa, que confortável e seguro para os seres humanos.

5 PROPOSTAS

5.1 Propostas de novas diretrizes de regulação e normatização

Como já citado na introdução, este trabalho tem como objetivo gerar novas diretrizes para adequação, atualização ou criação de uma norma específica para legislação e regulação do ruído emitido pelos aerogeradores. Tendo como consequência a padronização dos procedimentos de avaliação de ruído e normas que visem garantir, tanto a preservação do meio ambiente quanto a qualidade de vida e saúde do ser humano no entorno dos parques eólicos.

A norma ABNT NBR 10.151, especifica um método para a medição de ruído geral para áreas habitadas em ambientes internos e externos. O método de medição não especifica em nenhum momento a atenuação do ruído do som na atmosfera ou a propagação do ruído no solo, ou seja, existem dados de ruídos que podem estar sendo subestimados ou superestimados. São impostos simples parâmetros como por exemplo a altura do microfone para o piso (solo), sem mencionar o tipo do solo, velocidade do vento, umidade, correção do ruído de fundo e aplicação de coeficiente de absorção sonora pelo solo, vegetação ou atmosfera. Para a avaliação do ruído torna-se necessário que os procedimentos (metodologia) de medição, instrumentos de medição e os relatórios de medição sejam feitos conforme a norma IEC 61400-11 para aerogeradores.

Embora a maioria dos parques eólicos em construção e operação do Brasil estejam situadas em fazendas não habitadas como moradia para os seres humanos, existem funcionários que trabalham nas proximidades dos aerogeradores, com exposição diária de até 12h. Além disso não há uma norma ou lei que garanta que os parques atuais não podem ser habitados, ou mesmo utilizados para a indústria do agronegócio. Desta forma é sugerida uma distância mínima inicial de 1000m, baseada na média das distâncias, citadas neste trabalho, aplicadas na Alemanha, Bélgica, Holanda e Dinamarca (país com maior quantidade de aerogeradores instalados no mundo). As distâncias dos aerogeradores são especificadas para proximidade de habitações, linhas férreas, estradas, rios e lagos, áreas de preservação e proteção ambiental, linhas de transmissão de energia e comunicação.

Com relação aos níveis de ruído, é necessário que seja adotada uma regra que possa atender zonas que possuam ou não aerogeradores, haja visto que nível de pressão sonora de um ambiente é dado pela composição de todos os ruídos gerados no ambiente e no entorno deles. A maioria dos empreendimentos de geração de energia eólica estão na zona rural, e os limites definidos pela norma ABNT NBR 10.151 limita o nível de ruído em 40 dB (A) diurno e 35 dB (A) noturno. Entretanto, com a chegada dos complexos, parques ou usinas eólicas a realidade no entorno dos empreendimentos é alterada, ou seja, uma área que antes era estritamente rural

passa a ser uma área com empreendimentos industriais inseridos no seu meio, aumentando a população, o trânsito local de veículos automotores, aumentando o número e a magnitude das edificações com tendência de aproximação do empreendimento. Por esse motivo essas áreas não devem ser tratadas mais como ambientes rurais. É sugerido que seja inserido à norma ABNT 10.151 mais um tipo de área que se tornou realidade no Brasil: Área Mista, predominantemente de sítios e fazendas, cujos limites de pressão sonora podem ser aumentados. É sugerido que o nível de ruído diurno seja de 50 dB (A), igualando as áreas estritamente residenciais urbanas ou de hospitais e escolas. De modo análogo é sugerido que o nível de pressão sonora noturna seja de 45 dB (A). Tal sugestão se baseia de que com a mudança da atividade estritamente rural para uma atividade industrial de baixo impacto pode ser comparado aos às áreas de centros urbanos que convivem com empreendimentos considerados de baixo impacto de ruído.

Diante do exposto sugere-se a atualização, adequação ou criação de normas ou legislação que garantam:

- Utilização do método próprio para avaliação de ruído em aerogeradores descrito pela norma IEC 61400-11, garantindo que os procedimentos de medição, equipamentos utilizados, calibração dos instrumentos, ponderações, correções e emissão de relatórios seja o mesmo adotado pela IEC. A norma IEC 61400-11 é a norma que define de maneira mais clara e criteriosa o processo de avaliação de ruído gerado especificamente por aerogeradores, sendo utilizada mundialmente, trazendo resultados de medições satisfatórias e coerentes.
- Necessária a avaliação do Ruído de Baixa Frequência (RBF) no processo de implantação e monitoramento dos parques eólicos, com base na IEC 61400-11.
- A distância mínima entre uma aerogerador e qualquer edificação, dentro ou fora do parque, esteja a 1000 m de distância, incluindo guaritas, estação de distribuição, habitações, pontos de vigilância, banheiros e demais edificações correlatas.
- A distância mínima de 500 metros de áreas de preservação ambiental, lagos, córregos de cursos de água, sítios arqueológicos, rota migratória de aves e morcegos.
- Distanciamento de até 5.000m, caso a implantação dos aerogeradores impactem de na perda de identidade na paisagem local.
- A distância mínima de 100 metros de estradas e ferrovias.
- A distância mínima de 5.000 metros de aeródromos e aeroportos, podendo ser estendido caso haja necessidade por conta de segurança.

- Criação de mais um tipo de área presente na Tabela 16 da ABNT NBR 10.151, intitulada Área Mista, predominantemente de sítios e fazendas, cujos limites de pressão sonora diurno seja de 50 dB (A), e noturna seja de 45 dB (A).

Além das propostas supracitadas, são sugeridas algumas ações em conjunto:

- Atualização das Políticas Nacionais do Meio Ambiente, propostas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), com relação os ruídos gerados em parques eólicos.
- Estabelecer normas para o licenciamento dos parques eólicos. Deliberar resoluções que venha atualizar as existentes, estabelecendo principalmente, as recomendações ligadas a emissão dos ruídos, com objetivo do cumprimento da Política Nacional do Meio Ambiente.
- O Instituto Nacional do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA): Aumentar a fiscalização dos órgãos e empresas responsáveis pelo licenciamento ambiental dos parques eólicos de forma a confirmar a veracidade dos fatos e os dimensionamentos dos impactos inferidos nos EIA/ RIMAs e nos RAS emitidos.
- As Organizações Estatuais do Meio Ambiente (OEMAs), precisam desenvolver novos mecanismos de controles ambientais próprios, de forma a normatizar a exigência de relatórios detalhados com relação as emissões de ruído ao receberem e aprovarem os EIA/ RIMAS e RAS. Fiscalizando o teor dos relatórios.
- Atualizar a NR-15, que versa sobre insalubridade e segurança do trabalho ao Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), haja visto que a norma não sofreu alteração significativa desde 1978.
- Gerar incentivos de pesquisa nas áreas de engenharia, biologia, planejamento ambiental e medicina para estudo dos casos que envolvem a fauna a flora e os seres humanos.

5.2 Propostas de medidas mitigadoras

A geração de ruído em qualquer empreendimento requer além de causar danos auditivos ao funcionários e população vizinha, pode ser um alerta de que alguma máquina, equipamento ou sistema não está operando corretamente. No Complexo Eólico Serra Azul as preocupações com os ruídos devem estar voltadas principalmente aos aerogeradores, veículos, equipamentos e a subestação de energia.

É necessário que no plano de gestão do Complexo Eólico Serra Azul contenha, como propostas de medidas mitigadoras e compensatórias os seguintes programas:

- Programa de monitoramento trimestral de ruído para os aerogeradores, subestação, veículos e equipamentos, do ruído ambiente nas guaritas e locais em que o funcionário do parque desenvolve suas atividades.
- Realizar exames médicos auditivos e psiquiátricos periódicos semestrais, principalmente preventivos, devendo envolver todo o quadro de funcionários.
- Programa de monitoramento anual no entorno do complexo e das comunidades vizinhas, com a realização de consultas médicas e exames que possam medir a capacidade audiometria e psiquiátrica da população.
- Programa de inspeção mensal ativa de ruído nos aerogeradores, através de protocolo de check-list dos técnicos responsáveis pela operação dos aerogeradores.
- Implementação de medidas para redução dos níveis de pressão sonora, como manutenção e reposição de peças com desgaste nos aerogeradores
- Esclarecimento para a população no entorno do parque acerca dos quantitativos, itinerários, periodicidade e horários de pico das atividades geradoras de ruídos e vibrações.
- Subprograma de Proteção ao Trabalhador e Segurança do Ambiente de Trabalho, para com os ruídos.

6 CONCLUSÃO

Dentro do contexto abordado neste trabalho, está claro que o Brasil não está preparado para receber empreendimentos de geração de energia eólica, no que tange as legislações e normas brasileiras. As resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e os procedimentos para licenciamento ambiental apresentam grandes falhas, como por exemplo os procedimentos para licenciamentos de grande, médio e pequeno porte, gerando conflitos de resoluções entre órgãos estaduais e municipais ligados ao meio ambiente.

Para a avaliação e regulamentação dos níveis de emissão ruídos são utilizadas duas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) as quais são generalistas e encontram-se desatualizadas dentro do contexto das necessidades da sociedade, não apenas quando se relaciona com os empreendimentos do setor eólico, mas na totalidade da sua aplicação, são elas a ABNT NBR 10.151 e 10.152.

As normas da ABNT não versam sobre os cuidados, precauções e limites de distância e exposição dos Parques eólicos. A última atualização das normas utilizadas para ruído, aconteceram em 2003, na NBR 15.151. De 2003 até 2017 são 14 anos parados literalmente no tempo, ou seja, será que nesta quase década e meia, os empreendimentos eólicos e as exposições aos ruídos dos mais diversos tipos de atividades industriais e laborais não evoluíram, não cresceram, não surgiram?

Assim como as normas ABNT citadas neste trabalho, outra norma ligada ao Ministério do Trabalho e Emprego, a NR-15, conhecida como uma norma de segurança do trabalho no que define regras a exposição insalubre dos trabalhadores, desde 1978 não é atualizada. Novos processos, máquinas, equipamentos e diferentes ruídos surgiram, porém na Tabela 18, os ruídos, limites e tempos de exposição continuam sendo os mesmos de 39 atrás.

Quando os assuntos se relacionam a legislações e normas sobre energia eólica, o tema no Brasil ainda é novidade, pois o crescimento acelerado na implantação dos empreendimentos eólicos é recente e não houve tempo hábil para que todos os problemas ambientais gerados pelos empreendimentos venham à tona. Diferentemente das usinas hidroelétrica, onde o impacto ambiental é notado a curto prazo, os impactos gerados pelos parques eólicos ao meio ambiente só poderão ser vistos a médio e longo prazo.

Os primeiros países europeus que implantaram a energia eólica em suas matrizes energéticas sofreram outrora vários problemas ligados ao meio ambiente e a saúde dos seres vivos, incluindo os humanos. Esses países precisam conviver com a energia eólica e se

especializaram durante o tempo, através do aprendizado difícil, incluindo as lições advindas de seus próprios erros.

Com relação a avaliação de ruídos em parques eólicos, vários países do planeta possuem legislações ou normas exclusivas ligadas a energia eólica. Desta forma, o Brasil deve aumentar os esforços para a atualização e criação normas exclusivas acerca das implantações, licenciamento, monitoramento em parques eólicos, de modo a controlar os impactos ambientais atuais e prever soluções para impactos futuros.

O presente trabalho apresenta efeitos causados pelos impactos ambientais gerados pelos ruídos e reforça a necessidade da atualização das políticas públicas, normas e regulação para a avaliação acústica na concepção e monitoramento dos empreendimentos de energia eólica, dado que o ciclo de vida de uma turbina eólica alcança os 30 anos.

REFERENCIAS

ABNT, NBR. 10151. **Acústica-Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade–Procedimento**, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003.

ABNT, NBR. 10152. **Níveis de ruído para conforto acústico**, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987.

ACKERMANN, T; SÖDER, L. An overview of wind energy-status 2002. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 6, n. 1, p. 67-127, 2002.

AGUAS, A. P; ESAGUY, N; GRANDE, N. R; CASTRO, A. P; CASTELO, B. N. Acceleration of lupus erythematosus-like processes by low frequency noise in the hybrid NZB/W mouse model. **Aviation, space, and environmental medicine**, v. 70, n. 3 Pt 2, p. A132-6, 1999.

AMARANTE, O. A; BROWER, M; ZACK, J. Atlas do potencial eólico brasileiro. In: **Atlas do potencial eólico brasileiro**. 2001. p. 45-45.

ANDRADE, D. R. D; FINKLER, C; CLOSS, M; MARINI, A. L. S. A; CAPP, E. Efeitos do ruído industrial no organismo. **Pró-fono: revista de atualização científica. São Paulo. Vol. 10, n. 1 (1998), p. 17-20**, 1998.

ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Fatores de Conversão. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_fatoresdeconversao_indice.pdf>. Acesso em 18 março de 2017.

ANELL. BIG – Banco de Informações de Geração. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em 01 de dezembro de 2016.

AÖR, Fernanda. **Gestão do Ambiente Sonoro de Parques Eólicos: Alternativas para Avaliação e Mitigação do Impacto Acústico**, Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2014.

BARBOSA FILHO, W P; DE AZEVEDO, A C S. Discussão sobre a minuta de resolução CONAMA sobre o licenciamento ambiental de usinas eólicas em superfície terrestre. **Nota técnica Governo do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte** [http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/B1E176E5/Nota Tecnica licenciamento Usinas Eólicas FEAM.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/B1E176E5/Nota_Tecnica_licenciamento_Usinas_Eolicas_FEAM.pdf), 2013.

BASF. **Structure of a rotor blade of a wind energy plant**. Disponível em: <<https://www.basf.com/en/company/news-and-media/science-around-us/how-rotor-blades-defy-the-forces-of-nature.html>>. Acesso em 01 de fevereiro de 2017.

BAUER, P; DE HAAN, S. W. H; MEYL, C. R; PIERIK, J. T. G. Evaluation of electrical systems for offshore windfarms. In: **Industry Applications Conference, 2000. Conference Record of the 2000 IEEE**. IEEE, 2000. p. 1416-1423.

BOEING. Turbina MOD-5B – 3,2MW. Disponível em: <<http://www.boeing.com/history/products/mod-2-mod-5b-wind-turbine.page>>. Acesso em 01 de dezembro de 2016.

BRANCO, N. A. C.; ALVES-PEREIRA, M. A. Doença Vibroacústica. **Revista Segurança n. °161, Suplemento Especial**, 2006.

BRASIL, CONAMA. **Resolução 002/90, de 08 de março de 1990**. Dispõe sobre o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora – SILÊNCIO. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>. Acesso em: 08 out. 2010.

BRASIL, Lei Nº. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima-PNMC e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF**, v. 29, 2009.

BRASIL, Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 279 de 27 de junho de 2001**. Brasília (DF), 2001.

BRASIL, Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 462 de 24 de julho de 2014**. Brasília (DF), 2014.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 001, de 08 de março de 1990**. Brasília (DF), 1990.a.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 002, de 08 de março de 1990**. Brasília (DF), 1990.b.

BRASIL, Ministério do Estado do Trabalho. **NR-15 ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES (115.000-6)**, Portaria de n. 3.214, de 08 de junho de 1978. Brasília (DF), 1978.

BRASIL, Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico**, 1988. 292 p

BRASIL, Decreto no 5.025, de 30 de março de 2004. Regulamenta o inciso I e os §§ 1o, 2o, 3o, 4o e 5o do art. 3o da Lei no 10.438, de 26 de abril de 2002, no que dispõem sobre o **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA**, primeira etapa, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5025.htm Acesso em: 9 abr. 2017.

BRASIL, Lei nº 11.943, de 28 de maio de 2009. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/11943.htm. Acesso em 19 de abril de 2017.

CASTRO, A. P; AGUAS, A. P; GRANDE, N. R; MONTEIRO, E; CASTELO, B. N. Increase in CD8+ and CD4+ T lymphocytes in patients with vibroacoustic disease. **Aviation, space, and environmental medicine**, v. 70, n. 3 Pt 2, p. A141 -4, 1999.

CASTRO, R. M. Introdução à energia eólica. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada**, 2007.

CAVALEIRO, M. N. G. C.; BELEZA, M. D. FQ8 Sustentabilidade na Terra. **Ciências Físico-Químicas 8º ano, 3º ciclo do Ensino Básico (3ª ed.)**. Portugal: Edições Asa, 2011.

CEEE, **Geração eólica cresce 38% no primeiro trimestre de 2016**. Disponível em: https://www.ccee.org.br/ccee/documentos/CCEE_377302. Acesso em 07 jun.2016.

CHESF-BRASCEP, 1987. **Fontes Energéticas Brasileiras, Inventário/ Tecnologia. Energia Eólica**. V.1 De cata-ventos a aerogeradores: o uso do vento, Rio de Janeiro.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio Brito. Eletrobrás CEPEL. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=231>. Acesso em 16 de novembro de 2016.

DE VRIES, E. Where to Next? Developments and trends in wind turbines. *Renewable Energy World*. July-August 2002, p. 63-71.

DUTRA, R. M. Viabilidade técnico-econômica da energia eólica face ao novo marco regulatório do setor elétrico brasileiro. **Rio de Janeiro**, p. 29.7, 2001.

DWIA. Danish Wind Industry Association. **Power control of turbines**. Disponível em: <<http://drømstørre.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/en/tour/wtrb/powerreg.htm>>. Acesso em 15 de março de 2017.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2030–PNE 2030. **Rio de Janeiro: EPE/MME, Brasil. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/Forms/Empreendimento.aspx>, acessado**, v. 15, n. 05, p. 2010, 2007.

EXPLICATORIUM. Escala em decibéis. Disponível em: <<http://www.explicatorium.com/cfq-8/nivel-sonoro.html>>. Acesso em 29 de novembro de 2016.

FERREIRA, J. R; MENDES, C. P; ANTUNES, M; PIMENTA, J. M; MONTEIRO, E; ALVES-PEREIRA, M; BRANCO, N. C. Diagnosis of vibroacoustic disease-preliminary report “. In: **Proceedings 8th Intern. Conf. Noise as Public Health Problem (ICBEN), Rotterdam, Holland**. 2003. p. 112-14

FRONZ, W; KINDEL, R. **Windenergieanlagen und Immissionsschutz**. Materialien n° 63. Landesumweltamt NRW. Essen. 2002

GAMESA CORP. Programa de Extensión de Vida – Gamesa Serviços. Disponível em: <<http://www.gamesacorp.com/recursos/doc/productos-servicios/operacion-y-mantenimiento/extension-de-vida.pdf>>. Acesso em 01 de dezembro de 2016.

GAMESACORP. G97 - 2.0 MW. Disponível em: <<http://www.gamesacorp.com/recursos/doc/productos-servicios/aerogeneradores/nuevas-fichas/g97-20-mw-eng.pdf>>. Acesso em 18 de outubro de 2016.

GAMESACORP. Life Extension Program. Gamesa Services. Disponível em: <<http://www.gamesacorp.com/recursos/doc/productos-servicios/operacion-y-mantenimiento/life-extension-eng.pdf>>. Acesso 15 de dezembro de 2015.

GOELZER, B; HANSEN, C H; SEHRNDT, G. **Occupational exposure to noise: evaluation, prevention and control**. World Health Organisation, 2001.

GOOGLE, Maps. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-11.8592084,-41.4710362,788m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em 15 de janeiro 2017.

GWEC - Global Wind Energy Council. Global Wind Report. Annual Market Update – 2015. Disponível em: <http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-Global-Wind-Report_2016.pdf>. Acesso em 26 de novembro de 2016.

HANSEN, L. H; HELLE, L; BLAABJERG, F; RITCHIE, E; MUNK-NIELSEN, S; BINDNER, H. W; BAK-JENSEN, B. **Conceptual survey of generators and power electronics for wind turbines**. 2002.

HAUGEN, K. M. B. **International Review of Policies and Recommendations for Wind Turbine Setbacks from Residences: Setbacks, Noise, Shadow Flicker and Other Concerns**. Minnesota Department of Commerce: Energy Facility Permitting. 2011.

HERRERA, J. A.; LA, J. A. La energía eólica en Sierra Magina. **Sumuntan**, v. 23, p. 127-151, 2006.

HESSLER, G., The Noise Perception Index (NPI) for assessing noise impact from major industrial facilities and power plants in the U.S., **Noise Control Engineering Journal, Volume 56**, Setembro / Outubro, 2008

HSW - howstuffworks. Disponível em: <. <http://ambiente.hsw.uol.com.br/energia-eolica1.htm>>. Acesso em 10 de janeiro de 2016.

HUBBARD, H. H.; SHEPHERD, K P. Wind turbine acoustics. 2009.

HUSKEY, A.; MEADORS, M. **Acoustic noise test report for bergey excel wind turbine**. Technical Report EL-500-33833, National Renewable Energy Laboratory and National Wind Technology Center, 2003.

IEA - International Energy Agency. Technology Roadmap – Wind Energy 2013. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Wind_2013_Roadmap.pdf>. Acesso em 25 novembro de 2016.

IEA, International Energy Agency: Expert Group Study on Recommended Practices for Wind Turbine Testing and Evaluation, 4. Acoustics Measurements of Noise Emission from Wind Turbines, 3. Edition 1994.

IEC, INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION et al. IEC 61400-11 Wind Turbine Generator Systems—Part 11 - Acoustic Noise Measurement Techniques. **Geneva, Switzerland: International Electrotechnical Commission**, 2012.

IMPAC. Instrumentos de Medição Automação e Controle. Manual de instruções. Multi-Function Environment Meter. IP-410. São Paulo, 2015

ISLAM, M. R.; MEKHILEF, S.; SAIDUR, R. Progress and recent trends of wind energy technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 21, p. 456-468, 2013.

JACOBSON, M Z.; MASTERS, G. M. Exploiting wind versus coal. **Science**, v. 293, n. 5534, p. 1438-1438, 2001.

JENKINS, N; ALLAN, R; CROSSLEY, P; KIRSCHEN, D; STRBAC, G. Embedded Generation, London, UK: Inst. Elect. Eng, v. 31, 2000.

KALDELLIS, J K.; ZAFIRAKIS, D. The wind energy (r) evolution: A short review of a long history. **Renewable Energy**, v. 36, n. 7, p. 1887-1901, 2011.

KHAMIS, S. An image worth bottling: the branding of King Island Cloud Juice. **International Journal of Entrepreneurship and Small Business**, v. 9, n. 4, p. 434-446, 2010. Kingdom: Copyright, p. 260.

KOPPEN, E; FOWLER, K. **International Legislation for Wind Turbine Noise**. Euronoise, Maastricht, 2015.

LÄRM, T. **Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm**, Vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503). Disponível em: < http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_26081998_IG19980826.htm>. Acesso em: 10 de abril de 2017.

LOCATION, Location. Location, An investigation into wind farms and noise by the Noise Association, by John Stewart. **UK Noise Association, London**, 2006.

MAIA, D. S. N. Ruído de parques eólicos: análise e caracterização. 2012.

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, 2008.

MATEUS, D. Acústica de Edifícios e controlo de ruído. **Textos de apoio à disciplina “Acústica Aplicada”, DEC-FCTUC, Coimbra**, 2008.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Energia Eólica no Brasil e no Mundo. Ano de referência – 2015. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/3894319/Energia+E%C3%B3lica+-+ano+ref++2015+\(3\).pdf/f5ca897d-bc63-400c-9389-582cd4f00ea2](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3894319/Energia+E%C3%B3lica+-+ano+ref++2015+(3).pdf/f5ca897d-bc63-400c-9389-582cd4f00ea2)>. Acesso em 30 de novembro de 2016. 2016a

MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA. Proinfra. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/programas/proinfra/>>. Acesso em 30 de novembro de 2016. 2016b

MULJADI, E; BUTTERFIELD, C. P. Pitch- Controlled Variable-Speed Wind Turbine Generation. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 37, n 1 (Jan.), p. 240-246. 2001

NIEUWENHUIZEN, E; KÖHL, M. **Differences in noise regulations for wind turbines in four European countries**. In: Proceedings: Euronoise. p. 333-338. 2015.

NUNES, M. V. A. Avaliação do comportamento de aerogeradores de velocidade fixa e variável integrados em redes elétricas fracas. 2003.

PAULA, M. A. R. D; Alencar, H. S; Moura, E. D. A. Desenvolvimento de uma metodologia para a adequação ambiental de Centrais Hidrelétricas quanto ao nível de ruído sonoro. **Procedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural**, 2002.

PAWAR, V. V; SHILWANT, S. C. Windmill: The New Era of Energy. **Indian Streams Research Journal**, 01 October 2012, Vol.II(IX), pp.1433.

PEREIRA, M. A; BRANCO, N. A. C. Sobre o impacto de infrasons e ruído de baixa frequência na saúde pública: dois casos de exposição residencial. 2007.

PIERPONT, N. Health, hazard, and quality of life near wind power installations—How close is too close?. **Malone Telegram, New York, USA**, p. 12-7, 2005.

PIERPONT, N. Wind turbine syndrome. **Testimony before the New York Legislature Energy Committee**, 2006.

QUIJANO, A. Dom Quixote e os moinhos de vento na América Latina. **estudos avançados**, v. 19, n. 55, p. 9-31, 2005.

ROGERS, A. L; MANWELL, J. F; WRIGHT, S. Wind turbine acoustic noise. **Renewable Energy Research Laboratory, Amherst: University of Massachusetts**, 2006.

SEIA, Sistema Estadual de Informações Ambientais Da Bahia. Relatório Consolidado Execução PBA PE Serra Azul Ago-Mar_Rev-1. Disponível em: <<http://sistema.seia.ba.gov.br/>>. Acesso em 19 de novembro de 2016.

SHEPHERD, D.G, “Historical Development of the Windmill”. In *Wind Turbine Technology – Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering*, SPERA, S.A, (ed), 1 ed. New York, ASME Press, pp 1 -46. 1994.

SILVA, M. J; DIAS, A; BARRETA, A; NOGUEIRA, P. J; CASTELO-BRANCO, N. A. A; BOAVIDA, M. G. Low frequency noise and whole-body vibration cause increased levels of sister chromatid exchange in splenocytes of exposed mice. **Teratogenesis, carcinogenesis, and mutagenesis**, v. 22, n. 3, p. 195-203, 2002.

SIMÕES, S. C. D. **Caracterização do ruído produzido por um parque eólico: efeito sobre a população**. 2015. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico de Setúbal. Escola Superior de Tecnologia de Setúbal.

TELOSNET. D. M. **Illustrated history of wind power development**. Disponível em: <<http://www.telosnet.com/wind>>. Acesso 17 de novembro de 2016.

TERCIOTE, R. A energia eólica e o meio ambiente. **Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural**, 2002.

TOLMASQUIM, M T.; GUERREIRO, A; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos estudos-CEBRAP**, n. 79, p. 47-69, 2007.

TORRES, R; TIRADO, G; ROMAN, A; RAMIREZ, R; COLON, H; ARAUJO, A; TUNA, J. L. Vibroacoustic disease induced by long-term exposure to sonic booms. **Internoise 2001**, p. 1095-98, 2001.

VESTAS. First order for the V136-3.45 MW™. Disponível em: <https://www.vestas.com/en/products/turbines/v136%20_3_45_mw#!firstorder>. Acesso em 29 de novembro de 2016.

VESTAS. Wind Turbine Offshore Model V164-8.0MW. Disponível em: <https://www.vestas.com/~/_media/vestas/media/image%20download/highress%20images%20for%20download/v164.png>. Acesso em 15 de março de 2017.

WAGNER, S.; BAREIS, R.; GUIDATI, G. **Wind turbine noise**, p. 172-177. 1996.

WEC COMMISSION. Energy for Tomorrow's World. 1993.

WIKIPEDIA. Turbina de vento, invenção de Charles Francis Brush. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Charles_Francis_Brush>. Acesso em 01 de dezembro de 2016.

WIND ENERGY. The head/ Box of the wind turbine. Disponível em: <<http://windenergysummative.weebly.com/glossary.html>>. Acesso em 16 de novembro de 2016.

WPE. Wind Power Engineering. **GE Wind Turbine**. Disponível em: <http://www.windpowerengineering.com/wp-content/uploads/2015/10/GE_3point2-130.png>. Acesso em 15 de março de 2017.