

4.1.13 Níveis de Ruído

4.1.13.1 Contextualização

A análise de ruído é complexa e depende de múltiplos fatores como espectro de frequência, níveis de intensidade, tonalidade, tipo e distância da fonte ao receptor. Portanto, a avaliação dos níveis de ruídos é necessária e de fundamental importância nesta fase de estudo, visando a identificação das atuais fontes de emissão e os principais receptores localizados na área de influência do Parque Eólico Offshore Caucaia, antes de sua implantação e operação, bem como os possíveis ruídos nas fases de construção e operação do Parque.

Com o objetivo de retratar as condições das emissões de ruídos vigente, atualmente, na área de abrangência do empreendimento, foi realizado o monitoramento dos níveis de pressão sonora, tendo como referência os valores estabelecidos pela NBR 10.151, considerados como padrão de condicionamento ambiental para empreendimentos dessa natureza, no que se refere a esse tipo de avaliação. Para isso, foram realizadas medições dos valores acústicos, em períodos diurno e noturno, em 12 (doze) pontos distribuídos em diferentes locais, abrangendo toda a área diretamente afetada e a área de influência do empreendimento, levando-se em conta os vértices de maior interesse. No levantamento realizado, foi georreferenciado o local de cada ponto monitorado (latitude, longitude).

Para a análise do tipo e da intensidade dos ruídos durante as fases de construção e operação do empreendimento, bem como os impactos no meio marinho, foram realizados com base em estudos (teses, dissertações, legislação internacional vigente e outros documentos) desenvolvidos em diversos Parques Eólicos Offshore na Europa e Parques Onshore no Brasil que avaliaram os níveis de ruídos nas diversas fases do empreendimento e seus impactos no ambiente marinho, portanto, teve como referência os dados de tais pesquisas, visto que no Brasil ainda não se dispõe de parque eólico do tipo offshore.

4.1.13.2 Ruído ambiente: Conceitos Básicos

Para que se possa analisar os níveis de ruídos no meio ambiente, faz-se necessário definir alguns conceitos básicos que serão descritos a seguir.

Ruído - É um som sem interesse ou “qualquer som indesejado ou desagradável” (Goelzer; Hansen; Sehrndt, 2001) e tem origem em uma variação de pressão do ar que, ao ser estimulado (por exemplo, por cordas vocais ou equipamentos) pode transmitir esse estímulo às partículas de ar adjacentes até tornar-se audível. Pode também, ser considerado um fenômeno físico que indica uma mistura de som constituída por grande número de vibrações acústicas com relação de amplitude e frequência distribuídas ao acaso. Do ponto de vista da acústica, som e ruído são formados pelo mesmo fenômeno físico, sendo a diferença entre eles essencialmente subjetiva.

Ruído Ambiente - São ruídos globais observados numa dada circunstância num determinado instante, devido ao conjunto das fontes sonoras que fazem parte da vizinhança próxima ou longínqua do local considerado.

Ruídos Gerais - São ruídos ambiente caracterizados por um ou mais ruídos particulares de acordo com cada situação (Maia, 2010) e que não se classifiquem entre os tipos supracitados.

Nível de Pressão Sonora - Corresponde à alteração da pressão do ar relativamente a um valor médio da pressão atmosférica denominado por valor de referência. É a medida utilizada para determinar o grau de potência de uma onda sonora, sendo determinada pela sua amplitude. A unidade internacional do nível de pressão sonora é o decibel (dB), para avaliação junto à NBR 10.151, será utilizado o Nível de Pressão Sonora Equivalente.

Nível de Pressão Sonora Equivalente (LAeq) - É nível sonoro médio integrado durante uma faixa de tempo determinado, sendo obtido a partir do valor médio quadrático da pressão sonora (com a ponderação A) referente a todo o intervalo de medição. A

unidade internacional do nível de pressão sonora é o decibel ponderado em A (dB (A)), ABNT/ NBR 10151(2000).

Ruído de Componente Impulsivo - Ruído com um ou mais impulsos de energia acústica cuja duração é inferior a 1(um) segundo que se repetem a intervalos maiores do que 1 s (por exemplo martelagens, bate-estacas, tiros e explosões) ABNT/ NBR 10151(2000).

Ruído com Componentes Tonais - É um som com frequências discretas que interferem no sinal transmitido. De acordo com ABNT/ NBR 10151(2000) são ruídos que contém tons puros, como o som de apitos ou zumbidos.

Ruído com Banda Larga – É o som caracterizado por uma distribuição contínua de pressão acústica com frequência superior a 100Hz.

Ruído de baixa frequência – Corresponde a um espectro de frequências compreendido entre 10Hz e os 100Hz. Essa frequência varia de país para país e autor para autor. McCunney et al. (2014) consideram os valores de 20Hz a 200Hz. Incluir dois conjuntos de frequências diferentes, nomeadamente, infrassom (som inaudível), que ocorre entre os 0 e os 20Hz e ultrassom (som audível) para frequência superior a 20Hz.

Ruído de Fundo: Ruído ambiental gerado por outras fontes que não seja proveniente da fonte objeto de estudo. De acordo com Maia (2010), se os ruídos de fundo forem maior que os ruídos do emissor, a presença deste não será percebida. Porém se os ruídos do emissor forem superiores, isso significa que os efeitos sonoros destes ruídos serão significantes.

Nível de Critério de Avaliação (NCA) – Refere-se aos limites traçados em legislação específica baseada, de forma resumida, no tipo de área a qual o empreendimento está localizado, no tipo de ambiente de análise (interno ou externo), no período de aferição (diurno ou noturno). No entanto, o NCA final é definido após a comparação com o nível de pressão sonora equivalente no local, horário e condições ideais de operação do empreendimento na ausência do ruído gerado por sua fonte sonora. Assim, se o nível de ruído ambiente for maior do que o NCA, o NCA passa a ser igual ao (**LAeq**).

Pontos de Amostragem –Foram selecionados na área de abrangência do empreendimento (entorno da área avaliada) e se utiliza para representar as emissões sonoras do local em diversas direções.

4.1.13.3 Marco legal

Para se ter uma base de comparação, foi utilizado como parâmetros a Organização Mundial de Saúde – OMS que recomenda os limites para ruído externo de 50 a 55 dBA durante o dia e 45 dBA à noite, de um modo geral. Em regiões residenciais, entretanto, a OMS recomenda limites de 35 dBA durante o dia e de 30 dBA no período da noite.

No Brasil, a caracterização legal de ruído se encontra respaldo, inicialmente, na Resolução nº 1/1990 do CONAMA, onde existe a disposição legal sobre a emissão de ruídos e ocorrer em consonância com a Norma NBR-10.151 - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, visando o conforto da comunidade, e NBR-10.152 – Níveis de Ruído para conforto acústico, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

Não obstante, deve-se considerar também a Resolução nº 2/1990 do mesmo órgão, que delimita a competência dos Estados e Municípios sobre o estabelecimento e implementação dos programas estaduais de educação e Controle da poluição sonora, em conformidade com o Programa Silêncio.

Posto de outra forma, as questões relacionadas à regulamentação legal acerca do limite máximo de emissão de ruídos, depende da atuação de cada estado e município no tocante à definição de regras por meio da legislação local. Em Caucaia, o Código Ambiental do município utiliza como parâmetro de medição a norma da ABNT NBR-10.151, indicada na Tabela 4.1.13.3.1. Como o desenvolvimento de parques eólicos é relativamente recente no Brasil, em particular do tipo *offshore* não existe lei específica, portanto, adota-se como referência essa Norma. A fundamentação desses níveis está de acordo com o Anexo I da Norma Regulamentadora n.º 15, Portaria 3214 de Junho de 1978.

Tabela 4.1.13.3.1- Níveis sonoros globais máximos admissíveis no Brasil por tipo de área ocupada.

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

Fonte: Norma NBR-10.151, ABNT (2000).

Neste sentido, os parâmetros legais indicam que, em ambientes terrestres, direcionando a análise para ambientes externos, em áreas predominantemente industriais, os níveis máximos de ruído admitidos nos períodos diurno e noturno, são respectivamente, 70dB e 60dB. Já em locais de residência níveis máximo permitido é 50dB (diurno) e 55dB (noturno).

4.1.13.4 Identificação dos Receptores e Medidas de Ruído Ambiente

Considerando-se o contexto de localização do empreendimento e a ocupação de seu entorno, foram selecionados 12 (doze) pontos amostrais, conforme já citado, para a realização das medições dos níveis de ruídos, abrangendo setores da Área Diretamente Afetada – ADA (Tabela 4.1.13.4.1). As leituras do nível de som foram realizadas em cada ponto, até completar uma série de 30 leituras, num intervalo mínimo de 10 minutos entre as medições. As medições foram, posteriormente, tabuladas e calculadas de acordo com as normas estabelecidas para este tipo de análise.

As coordenadas geográficas dos pontos de amostragem selecionados, são

mostradas do Quadro 4.1.13.4.1, enquanto que a distribuição destes pela área do empreendimento e seu entorno pode ser visualizada na Figura 4.1.13.4.1.

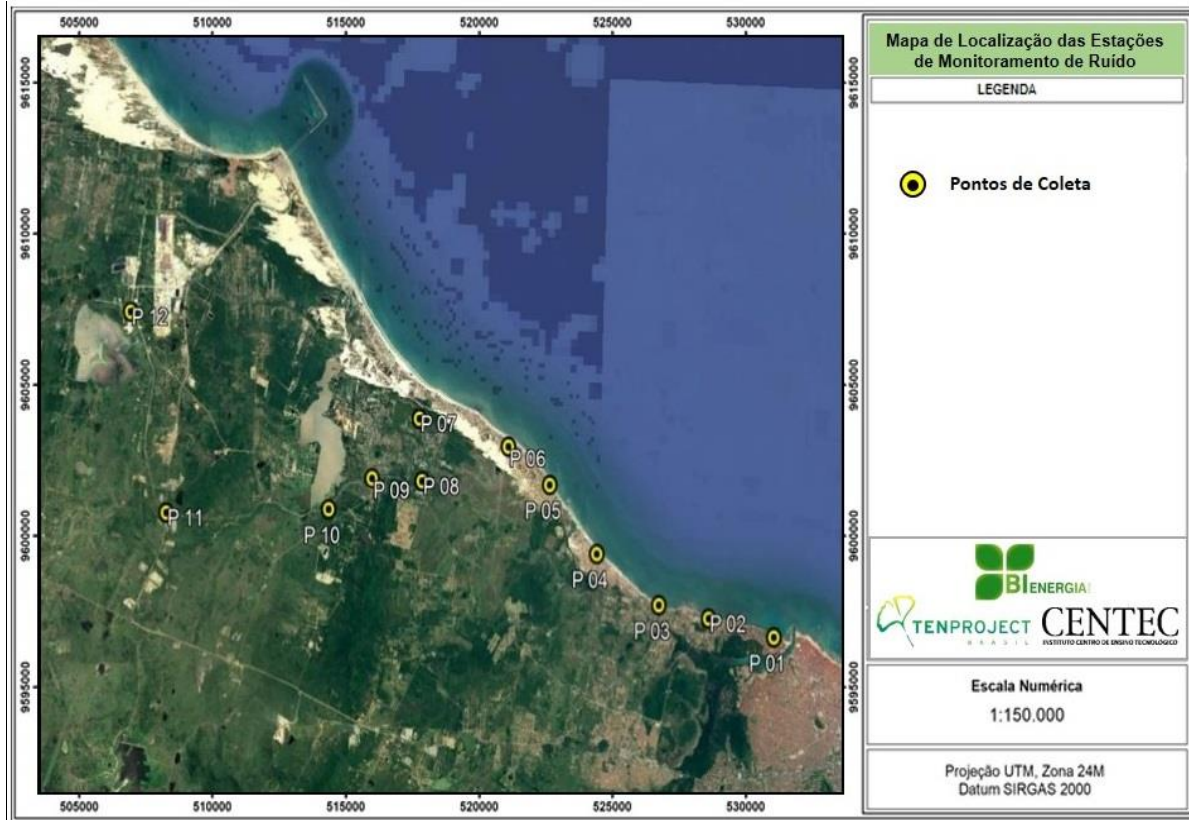
Tabela 4.1.13.4.1 - Localização georreferenciada dos pontos de amostragem

Pontos	Coordenadas	
	Longitude	Latitude
P 01	544930.41 m E	9591646.28 m S
P 02	541820.48 m E	9592215.95 m S
P 03	539446.39 m E	9592616.71 m S
P 04	536441.83 m E	9594358.11 m S
P 05	534128.41 m E	9596762.03 m S
P 06	532126.26 m E	9598073.56 m S
P 07	527877.00 m E	9598935.00 m S
P 08	528080.86 m E	9596692.82 m S
P 09	525709.76 m E	9596711.86 m S
P 10	523692.74 m E	9595530.68 m S
P 11	516012.49 m E	9595146.74 m S
P 12	514074.61 m E	9602311.66 m S

Fonte: Dados da pesquisa de campo

Raoni Ceci

Figura 4.1.13.4.1. - Localização georreferenciada dos pontos de amostragem



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Para a realização de uma medição precisa foi necessária a utilização dos seguintes equipamentos: Medidor de nível de pressão sonora (NPS) digital (calibrado) e um GPS. Para ruídos gerais, como é o caso da área de estudo, o equipamento foi posicionado de forma que o captador de som fosse direcionado para possível fonte, contando com um redutor de interferência de ventos acoplado para a captura dos valores. Dos dados coletados foi calculado uma média para a obtenção de um valor das medições (níveis de pressão sonora dB (A)). No Quadro 4.1.13.4.1 é também apresentada a descrição das condições ambientais dos pontos amostrais do nível de ruídos.

Raoni Ceci

Quadro 4.1.13.4.1 – Descrição dos pontos amostrais do nível de ruído e a situação do ambiente durante as medições

Ponto de Medição	Uso e Ocupação do Local	Descrição do Local de Medição
P 01	Barra do Rio Ceará	Vento constante, passagem veículos grandes e pequenos, sons de conversas de residentes
P 02	Iparana	Vento constante, eventualmente ruídos emitidos pela passagem de veículos e sons de conversas de residentes
P 03	Praia de Icaraí	Vento constante, eventualmente ruídos emitidos pela passagem de veículos e sons de conversas de residentes
P 04	Praia de Icaraí	Vento constante, eventualmente ruídos emitidos pela passagem de veículos e sons de conversas de residentes
P 05	Praia de Icaraí	Vento constante, eventualmente ruídos emitidos pela passagem de veículos e sons de conversas de residentes
P 06	Praia de Icaraí	Vento constante, eventualmente ruídos emitidos pela passagem de veículos e sons de conversas de residentes
P 07	Início Estrada Garrote-Cumbuco	Vento excepcional de categoria calmo, audição de canto de pássaros. Vegetação arbórea.
P 08	Fazenda Garrote	Vento excepcional de categoria calmo, audição de canto de pássaros. Vegetação arbórea.
P 09	CE 085, porção sudeste do Largamar do Cauipe	Vento inconstante, passagem excepcional de veículos grandes e pequenos, ao longe, sons de animais domésticos com constância, sons de animais domésticos com excepcionalidade, conversas de residentes com inconstância.
P 10	CE 085, porção sul do Largamar do Cauipe	Vento constante, passagem veículos grandes e pequenos
P 11	CE 085, em frente à Empresa Poty	Vento constante, passagem veículos grandes e pequenos, eventualmente ruídos emitidos pela Empresa Poty, distante cerca de 100 metros.
P 12	Subestação Pecém II	Vento constante, passagem veículos grandes e pequenos, eventualmente ruídos emitidos pela Termoelétrica Energia Pecém, distante cerca de 400 metros.

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

4.1.13.5 Resultados de Campo.

Os resultados das medições diurnas e noturnas dos níveis médios de ruídos realizados nos pontos selecionados, abrangendo setores da Área Diretamente Afetada – ADA são mostrados na Tabela 4.1.13.5.1, onde se observa que as principais fontes geradoras de ruídos são os ventos e a passagem de veículos, destacando-se ainda os ruídos originais de canto de pássaros e da vegetação, bem como, pela presença de empresas (Termoelétrica Energia Pecém e Empresa Poty). Apresentando, portanto, relação estreita com as características de uso e ocupação da área, descritas anteriormente.

Tabela 4.1.13.5.1– Valores médios da pressão sonora de cada ponto de coleta, durante o período diurno e noturno

Medidas	Pontos / Valor das Medidas											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Valor Médio (dBa) Diurno	48,9	36,9	33,3	32,5	33,0	36,7	31,7	24,4	53,2	51,2	54,3	51,4
Valor Médio (dBa) Noturno	38,6	30,7	31,2	30,7	31,3	28,9	27,5	23,5	37,8	36,4	36,2	36,4

Fonte: Elaborada pelo Autor, 2019.

Em todos os pontos avaliados os valores médios de ruídos, principalmente, no período noturno se apresentaram inferiores ao limite da norma vigente, conforme a Norma NBR-10.151(Tabela 4.1.13.3.1).

Raoni Ceci

4.13.6 Caracterização e Intensidade dos Ruídos em Aerogeradores nas Fases de Implantação e Operação

Quanto ao empreendimento do tipo offshore/onshore, existem duas fases diferentes para sua implantação e, cada uma destas fases pode emitir ruídos dos tipos citados acima. São elas: a) a fase de construção/implantação, b) a fase operacional que serão descritas a seguir.

1. Ruídos na fase de implantação do empreendimento

Um dos impactos ambientais na implantação de parques eólicos, diz respeito a perturbação sonora, devido à previsão de aumento de emissão de ruídos, por consequência das atividades de construção civil dos empreendimentos, bem como, durante a mobilização de equipamentos pesados, veículos e pessoas. Nesta fase, o ruído subaquático pode ser gerado durante a construção e a operação turbinas eólicas offshore. A construção de turbinas eólicas envolve uma variedade de atividades, tais como exploração sísmica (com armas de ar), escavação com explosivos, dragagem, operações de navios e barcaças e condução de estacas (Pile). Todas essas atividades produzem sons subaquáticos de intensidade e duração variadas.

A implantação do parque eólico offshore envolverá a construção de diferentes tipos de canteiros de obras tanto para fase *offshore*, na qual serão instaladas as turbinas eólicas e o conduto necessário para a conexão em terra, como para a fase da plataforma semi-offshore / onshore, onde serão construídos os molhes, instalação das turbinas e as obras de conexão (estações e linhas de ligação) até o ponto de entrega para inserção na rede elétrica nacional.

Uma característica bastante notável na implantação do empreendimento eólico é a variação do nível dos sons emitidos, como rugir de engrenagens, assobios (*swishing*) ou uivado (*whooshing*), batidas acentuadas (*thumping*), entre outras. Os tipos de ruídos variam de banda larga (com frequência superior a 100hz) a ruídos impulsivos.

A fonte de emissões de ruído, principalmente no ambiente aquático, está associada à atividade de sondagens e instalação, podendo ser causado pelo aumento do tráfego marítimo, atividades de dragagem, passagem de cabos, instalação da proteção contra a erosão e condução de molhes, e instalação de piles/turbinas. Não obstante, serão utilizados navio de carga / rebocador; embarcação guindaste do tipo “jack up” (para transporte e instalação); barco para disposição dos cabos; embarcação de suporte para ROV (disposição dos cabos); embarcação de socorro (resgate); navio para o transporte de pessoal. Os parques eólicos offshore geram som de baixa frequência com níveis de ruído na fonte elevados durante a sua construção, mas com níveis moderados na exploração do parque (*Convention on Biological Diversity*, 2012). Deve-se considerar, ainda, que os trabalhos de manutenção e reparação do parque irão contribuir para os níveis de ruído ambiente, incluindo a movimentação de navios.

É razoável considerar uma movimentação de pico igual a cerca de 15/20 viagens, de ida e volta, durante a fase de montagem das turbinas. As embarcações listadas acima são todas caracterizadas por emissões de ruído reduzidas, semelhantes ao ruído de fundo típico do oceano. As atividades de instalação do parque eólico offshore, tanto para as turbinas quanto para as estações de transformação, ocorrerão a uma distância de cerca de 4 km dos receptores mais próximos da linha de costa. A essa distância, mesmo considerando uma atividade de construção simultânea, com todos os meios navais operando durante o dia, as emissões sonoras esperadas devem ser consideradas insignificantes; portanto, não são esperados impactos significativos durante a fase de construção das estruturas offshore .

Para a instalação dos condutos offshore próximos à costa, a proximidade dos meios de trabalho na costa poderia gerar um impacto acústico nos receptores próximos à área; toda a área de atracação de cabos é aquela com menor densidade abiótica e a intervenção terá uma temporariedade muito curta. Não há efeitos acústicos significativos para esses componentes.



Figura 4.13.6.1 - Distancia cabo-moradias



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

2. Fase de operação do empreendimento

A fase implantação do parque eólico onshore (Parque eólico Asa Branca II) no município de Parazinho Rio Grande no Norte, foi monitorada por Oliveira et al (2018) com o nível de ruído a uma distância de 1km da comunidade. Os valores médios encontrados foram respectivamente de 67,1dB; 45,7; 49,1dB e 48,5dB, estando um pouco acima da legislação permitida.

No caso da instalação de turbinas eólicas offshore, a maioria são construídas como “monopiles” com até 6 m de diâmetro com estaca de 1,5 a 2 m que são instaladas no fundo do mar por meio de um “bate-estaca” (*Pile driver*), podendo produzir um ruído impulsivo extremamente elevado, chegando a até 145dB (A) acima da água e, são ruídos relativamente de banda larga (20 Hz -> 20 kHz). Porém, a emissão de ruído cai quando a maior parte da estaca está abaixo da superfície da água.

Atividades de empilhamento podem ser detectadas, em condições de baixo ruído de fundo, a uma distância de até 10km da fonte e a essa distância não dá para ouvir da

costa. O som produzido durante a condução de estacas se propaga por meio do ar para a água, através da coluna de água e - em menor grau - através do sedimento. Já o ruído subaquático desta atividade pode chegar perto dos níveis de ruídos para o ambiente para gravidade baseada em fundações em torno de 115dB 1 μ Pa, enquanto o empilhamento de pinos, especialmente, de “monopile” produz excessivos níveis de ruído subaquático de até 194 dB re 1 μ Pa (nível zero a um pico a 750m); esse nível pode ser atenuado, chegando ao nível de ruído do ambiente a uma distância de até 70 km. (NORRO et al., 2016).

Estes limites de nível de ruído subaquático não são diretamente relacionados ao bem-estar humano, mas sim, à perturbação da vida marinha, com especial atenção para os mamíferos.

Neste caso, tem que se implantar a mitigação de danos à fauna marinha durante a condução da fase de instalação dos monopiles e turbinas. Quanto a legislação, se tais níveis de ruído devem ou não ser considerados aceitáveis dependerá da futura implementação das propostas de regulamentação para parque eólico *offshore* no Brasil. Porém, na Europa, o ruído gerado debaixo d'água, deve ter um Lz-p máximo de 185 dB re 1 μ Pa a 750m da fonte de ruído, recomendado no âmbito da *Marine Strategy Framework Directive (MSFD)* (ANONYMOUS, 2012 *apud* NORRO, et al, 2013). É importante ressaltar que a implantação de um aerogerador não é permanente, podendo ser alterada de acordo com as necessidades e o meio, aos poucos, pode voltar a sua forma natural. Durante essa fase será realizada um monitoramento de ruídos.

Os locais de construção da seção on-shore do projeto são aqueles planejados:

1. Para a instalação do conduto subterrâneo e dos trabalhos conectados a ele;
2. Implementação dos molhes e turbinas na costa;

Para o conduto, a linha aérea, as subestações em terra e a realização das turbinas no mar, são tratadas para todos os efeitos de canteiros de obras, bem localizados e circunscritos ou que se mova ao longo da linha de disposição dos condutos / eletrodutos. No entanto, cada um deles de duração limitada. O canteiro de obras será desenvolvido

em áreas pouco povoadas, com exceção das áreas costeiras.

A seguir é a estimativa do ruído produzido pelo canteiro de obras, para a realização da escavação do conduto (construção de trincheira, que representa o nível de ruído mais alto durante a fase de construção on-shore).

O ruído máximo seria alcançado pelo uso contemporâneo de:

- Escavadeira;
- Pá carregadeira (se emborrachada emite menos);
- Caminhão basculante;
- Gerador de corrente;

Considerando que as fontes estão todas concentradas no centro de gravidade do canteiro de obras e a propagação do ruído é semi-esférica (conforme a lei: $L_p = L_w - 20 \log(r) - 8$).

Utilizando as potências sonoras limite para os dispositivos acima mencionados e assumindo uma difusão semi-esférica, é possível estimar os níveis de pressão sonora a diferentes distâncias da área de emissão. A tabela a seguir mostra os valores preliminares estimados:

Tabela 4.13.6.1 - Estimativa preliminar pressão sonora canteiro de obras

Distância	Potencia [dB(A)]	Pressão sonora [dB(A)]				
		100m	250m	500m	750m	1000m
Escavação valas	112.4	<65	<56.5	<50	<47	<45

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Como pode ser visto na tabela anterior, durante esta fase o nível de som máximo assumido é inferior a 65 dB (A) a 100 m do local de construção. Deve-se considerar também que o canteiro de obras estará ativo somente durante o dia e que a estimativa

realizada é de precaução, pois considera-se o funcionamento simultâneo e em um único ponto de todas as máquinas analisadas.

Os dutos de cabos serão executados, durante quase toda a sua rota, paralela à rede de estradas, onde o ruído ambiental de fundo deve ser de valor comparável com o anteriormente estimado já a uma distância entre 100 e 250 metros.

Os impactos serão, portanto, limitados ao longo do tempo e podem ser semelhantes aos locais de construção civil, normalmente ativos em áreas urbanas: em qualquer caso, todas as medidas de mitigação necessárias para evitar riscos e conter impactos para o componente antrópico serão adotadas.

Na proximidade costa, a uma distância de aproximadamente 200 m, estão localizadas as turbinas, inseridas na ponta dos molhes / quebra-mar, que geram impacto acústico em habitações próximas da faixa costeira. Para limitar o impacto e atender os padrões de emissão acústica estabelecidos pelas regulamentações, turbinas de tamanho menor são usadas em comparação com aquelas das turbinas Off-Shore, com baixíssimo valor de emissão. As turbinas utilizadas para a análise possuem as seguintes características dimensionais e de emissão sonora:

- **Emissão:103.8 dB(A)**

A partir da análise dos resultados do modelo acima, destaca-se como o ruído gerado pelo parque eólico em ação está restrito ao local onde as turbinas estão localizadas. Já a uma distância de 300 metros da área do projeto, de fato, a isofônica representada no mapa de ruído registra níveis sonoros inferiores a 45 dB (A), bem abaixo do limite de ruído exigido pela regulamentação vigente para a área, potencialmente sujeita a impacto noturno de (50 dB (A)). Além disso, as áreas costeiras perto do mar têm um nível de ruído de fundo que é completamente semelhante ao das turbinas instaladas na própria costa.

Deve-se notar que o parâmetro mais importante para a estimativa acústica é a emissão gerada pelas turbinas, portanto, na próxima fase, para a escolha definitiva das turbinas, diferentes modelos dimensionais podem ser escolhidos, cujo valor de emissão

é de aproximadamente 104 dB (A).

Portanto as turbinas, também dependendo do que o mercado atual oferece, poderão ter a seguinte faixa de dimensão e potência:

- Diâmetro: 110 – 130 m;
- Altura do Hub: 89 - 105 m:
- Potência: 2 MW;
- Valor de emissão: 104 dB(A).

As emissões acústicas geradas pelas turbinas eólicas, como mencionado anteriormente, aumentam com o aumento do seu movimento (à medida que o vento aumenta). O presente estudo analisou o potencial impacto acústico do projeto em condições de ventos maiores que o normal (na costa são reduzidos em comparação com o mar aberto):

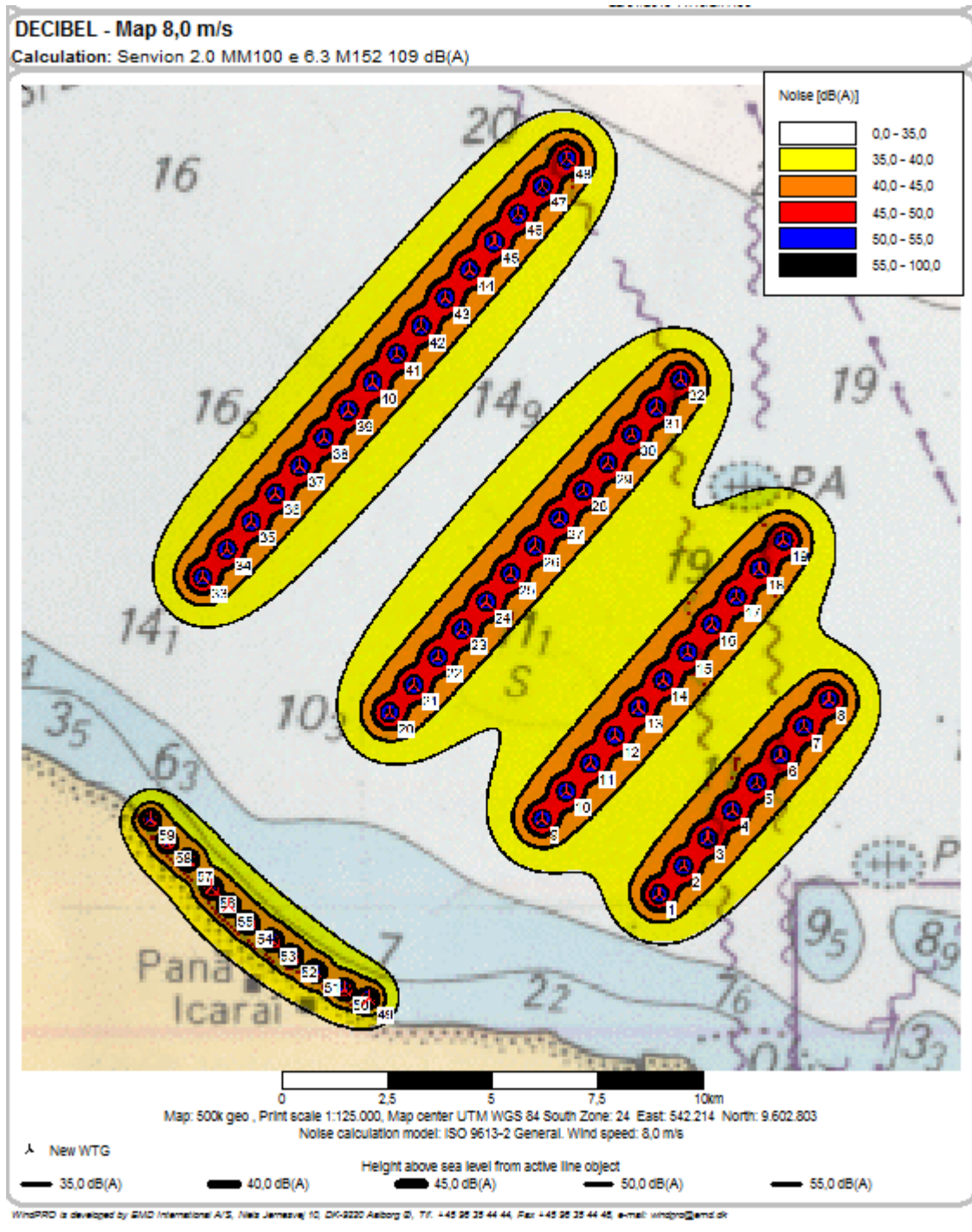
Portanto, é possível supor que os níveis sonoros que realmente afetam os receptores são ainda mais baixos do que os estimados.

Em conclusão, as emissões sonoras esperadas devem ser consideradas aceitáveis e de acordo com os valores de emissão exigidos pela legislação em vigor.

Reporta-se a seguir as curvas de nível do som para a área do projeto, completas em todo o parque e, em seguida, detalhadas para a costa.



Figura 4.13.6.2 - Curvas de nível estimadas devido à emissão das turbinas para o parque eólico proposto



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Raoni Ceci

Figura 4.13.6.3 - Detalhe das curvas estimada para à emissão das turbinas para o parque eólico, relacionadas ao componente On-Shore.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

As curvas verdes são mostradas acima das quais as emissões são maiores que 50 dB (A), entre a curva vermelha e laranja existem entre 45 e 50 db (A), e entre a curva amarela e laranja existem entre 35 e 40 db (A).

Como você pode ver, a curva do nível que limita a emissão, excedendo mais de 50 dB (A) (em vermelho), não afeta nenhum edifício habitado ou receptor de potencial. Possíveis receptores são menores que 50db (A).

Como pode ser visto, os limites na costa são inferiores a 50dB (A), portanto são congruentes com a legislação de referência para a qual o limite noturno deve ser inferior

a 50dB (A), portanto pode-se dizer que o impacto acústico é aceitável e respeita a legislação atual.

Esta condição também está de acordo com os limites diurnos a serem observados no caso da presença de hospitais ou escolas, que por uma análise preliminar não estão presentes na faixa incluída no nível superior acima de 45dB (A), em laranja na imagem indicada.

Durante a fase de operação, as emissões produzidas pelo componente off-shore, que está a mais de 4 km da costa, estão contidas e é notado que o ruído gerado pelo parque eólico em ação esteja confinado ao local onde as turbinas estão localizadas. Já a uma distância de 300 metros da área do projeto, de fato, a isofônica representada no mapa de ruído registra níveis sonoros inferiores a 40 dB (A), bem abaixo do limite de ruído esperado (ver figura acima).

As turbinas utilizadas para estimativa acústica no mar têm um valor de emissão de aproximadamente 109 dB (A). Para a simulação foi feita referência a turbinas com as seguintes dimensões:

- Diâmetro: 152 m
- Altura do Hub: 110 m:
- Valor de emissão: 109 dB(A);

Deve-se notar que o parâmetro mais importante para a estimativa acústica é a emissão gerada pela turbina, portanto na fase seguinte de escolha definitiva das turbinas também podem ser escolhidos modelos que também são diferentes em tamanho, cujo valor de emissão é ainda maior que cerca de 109 dB), uma vez que não há receptores sensíveis no mar.

A estimativa foi feita considerando uma emissão plausível comparada às turbinas no mercado, e para demonstrar que mesmo com estas emissões a isofônica permanecem próximas às turbinas e não causam nenhum impacto.

Portanto, as turbinas, também dependendo do que o mercado atual oferece, podem ser escolhidas para os seguintes tamanhos:



- Potência unitária : 12 MW
- Diâmetro : 220 m
- Altura do Hub: com valores entre 150 m

Per turbine di nuova generazione le emissioni possono essere anche di molto inferiori a l valore indicato di 109 dB(A).

Em relação à estação marítima, as emissões de ruído com base em dados técnicos disponíveis para transformadores semelhantes aos que serão utilizados no projeto e assumindo uma difusão semi-esférica, é possível estimar os níveis de pressão sonora a diferentes distâncias da área de emissão (hipotizada para coincidir com o centro de gravidade da estação de transformação).

A tabela 4.13.6.2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**a seguir mostra os valores preliminares estimados até uma distância de 1.000 m do baricentro da estação de transformação.

Tabela 4.13.6.2 - Valores preliminares

Distância	Potência [dB(A)]	Pressão sonora [dB(A)]				
		100m	250m	500m	750m	1000m
Transformador	112.4	<56	<47	<42	<38.5	<36Gia

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Já a 250 m não é afetado pelos efeitos acústicos do transformador, em particular, não há receptores nas proximidades da estação.

Em conclusão, as emissões sonoras esperadas para a parte offshore da área são consideradas insignificantes; portanto, não são esperados impactos significativos para os receptores durante a fase de operação da usina eólica.

As fontes de ruídos do aerogeradores na fase de operação podem ser categorizadas em dois tipos diferentes: ruído mecânico e ruído aerodinâmico. O primeiro resulta de componentes mecânicos do aerogerador e, o ruído aerodinâmico, é produzido

pelo fluxo de ar sobre as pás do aerogerador. A seguir serão descritos cada um desses tipos de ruídos.

a) Ruído Mecânico – Os ruídos de origem mecânica, em aerogeradores de grande porte, são gerados a partir do movimento relativo de componentes mecânicos e a resposta dinâmica entre eles. Tem-se como componentes mecânicos os relacionados a seguir:

1. Caixa Multiplicadora
2. Gerador
3. Mecanismo de orientação
4. Ventoinhas de arrefecimento
5. Equipamento auxiliar

Dado que o ruído está associado à rotação do equipamento mecânico e elétrico, este pode ser tonal, embora possa apresentar componentes de banda larga (por exemplo, tons puros podem ser emitidos nas frequências de rotação de eixos, geradores, engrenagens). Além disso, o hub, o rotor e a torre podem atuar como altifalantes, transmitindo o som mecânico e difundindo-o. A transmissão do ruído mecânico pode se dar de duas formas: pelo ar e pelas estruturas. A propagação pelo ar ocorre diretamente da superfície dos componentes que o originou. Já a propagação ao longo da estrutura do aerogerador se irradia pelo ar por meio das pás, nacelle ou torre. (SIMÕES, 2015; LUZ, 2018).

De acordo com Halles (2008), algumas alterações foram realizadas para uma redução significativa dos ruídos mecânicos de grandes aerogeradores. Tais como: utilização de dentes de engrenagens bem polidos, de forma a minimizar o atrito gerado; utilização de abafadores e isoladores de vibrações; utilização de equipamentos que produzam ruídos na gôndola, de forma a não o fazer no solo; e utilização de sistemas de resfriamento a óleo, ao invés de ar que reduziram significativamente o nível de ruído. Da

mesma forma Simões (2015) destaca que os fabricantes vêm procurando, cada vez mais reduzir, o ruído mecânico, por meio do amortecimento de vibrações e aperfeiçoamento dos diferentes componentes mecânicos de um aerogerador, abaixo do ruído aerodinâmico.

a) **Ruídos Aerodinâmicos** - têm relação direta com interações entre fluxos de ar turbulentos e as pás do rotor, sendo, então, irradiado (ROGERS, MANWELL e WRITHG, 2006) e resultam de forças aplicadas sobre as mesmas. O som aerodinâmico, geralmente, aumenta com a velocidade do rotor. Pode ainda, ocorrer um grande número de fenômenos aerodinâmicos complexos, gerando ruídos. De acordo com Maia (2010) os sons aerodinâmicos podem ser caracterizados em três grupos:

1. Ruído de baixa frequência (*Low Frequency Sound*) - Som de baixa frequência do espectro sonoro é gerado quando os encontros das pás rotatórias localizam deficiências de fluxo em volta de uma torre ou quando ocorrem mudanças da velocidade do vento ou interferência da esteira de outras pás.

2. Ruído da turbulência do fluxo (*Inflow Turbulence Sound*): Som que depende da quantidade de turbulência atmosférica. O ruído da turbulência do fluxo resulta da interação das pás com a turbulência atmosférica. O ruído emitido é de banda larga.

3. Ruído próprio da pá (*Airfoil Self Noise*) - Som gerado pelo fluxo de ar diretamente ao longo da superfície da pá. Este tipo de som é de uma natureza tipicamente de banda larga, mas componentes tonais podem ser observados devido a bordos de fuga rombudos ou irregulares, ou fluxos sobre fendas e buracos.

O ruído gerado pelos diversos componentes dos aerogeradores pode ser caracterizado como: tonal, banda larga, baixa frequência e impulsivo (ROGERS, MANWELL e WRITHG, 2006).

Raoni Ceci

1. Ruído Tonal - É um som com frequências discretas, podendo ser causado por componentes mecânicos, tais como engrenagens, e instabilidades não aerodinâmicas que interagem com a superfície das pás do rotor.

2. Ruído de Banda larga - É caracterizado por uma distribuição contínua de pressão sonora com frequências superiores a 100Hz e muitas vezes é causado pela interação das pás com a turbulência atmosférica.

3. Ruído de Baixa frequência - Está compreendido entre os 20 a 100Hz e é geralmente associado a rotores à retaguarda (“*downwind*”). É causado quando as pás encontram deficiência de fluxo à volta da torre.

4. Ruído Impulsivo - É caracterizado por impulsos acústicos curtos ou sons de batimento que variam em amplitude com o tempo. É causado pela interação das pás com a turbulência provocada pela passagem do vento em redor da torre.

Existem várias estratégias para atenuar o ruído emitido pelas pás do aerogerador, as principais estão relacionadas com a redução da velocidade da ponta da pá, diminuição da velocidade rotacional ou utilização de pás menores. Outras estratégias estão diretamente ligadas ao projeto aerodinâmico da pá por meio da alteração da forma da ponta ou do bordo de fuga, utilização de ângulos de ataque menores e velocidade de rotação variável (ROGERS, MANWELL e WRITHG, 2006). Além disso, as novas tecnologias utilizadas na construção das turbinas fazem com que estes ruídos sejam diminuídos consideravelmente.

Regen (2012) fez um estudo sobre níveis de ruídos, e, comparando níveis típicos de ruído para diferentes fontes percebeu que o nível de ruído dos aerogeradores é bem mais baixo do que outro, com se pode ver na tabela 4.13.6.1 a seguir.



Tabela 4.13.6.1– Valores típicos de ruído para diferentes fontes

Fontes de Ruídos	Ruído em Bb (A)
Limiar da dor	140
Avião a jato a 150 m	105
Furadeira pneumática	95
Caminhão a 50 km/h a 100 m	65
Escritório cheio	60
Carro a 65 km/h a 100 m	55
Parque eólico a 350 m	35-45
Ruído ambiente rural a noite	20-40
Quarto silencioso	20

Fonte: Regen, 2012.

Considerando os efeitos diretos no aparelho auditivo, os níveis sonoros medidos na vizinhança de parques eólicos em operação não possuem intensidade suficiente de forma a comprometer a saúde auditiva da população. Todavia, os seus efeitos “não auditivos” podem ter significativa importância (DAVY; BURGEMEISTERB; HILLMANC, 2018; ARCUS, 2014).

De acordo com Berg (2009), o nível de ruído provocado por um aerogerador tem variação entre 5 e 6 dB mediante a frequência de passagem das pás de um aerogerador isolado. No caso de parque eólico, este valor pode atingir os 9 dB. As variações ocorrem de acordo com a direção do vento no sentido dos aerogeradores para os receptores e podem ser registadas a 1 km de distância. Uma análise do espectro por bandas de frequência da variação sonora junto aos receptores revela que este fato pode ocorrer como maior incidência entre os 500 e os 1000 Hz. Cabe ressaltar que, a rotação das pás gera ondas de pressão em frequências baixas, entre 0,5 Hz e 2 Hz (frequência de passagem das pás), com sobretons de até 20 Hz. Mesmo que parte dessa energia de baixa frequência seja audível para algumas pessoas mais sensíveis, sua energia é na maioria vibratória para as pessoas que a percebem (PUNCH; JAMES; PABST, 2010).

Um dos fatores mais acentuados com relação a caracterização de ruídos na fase de operação dos aerogeradores são os ruídos de baixa frequência e infrassons porque

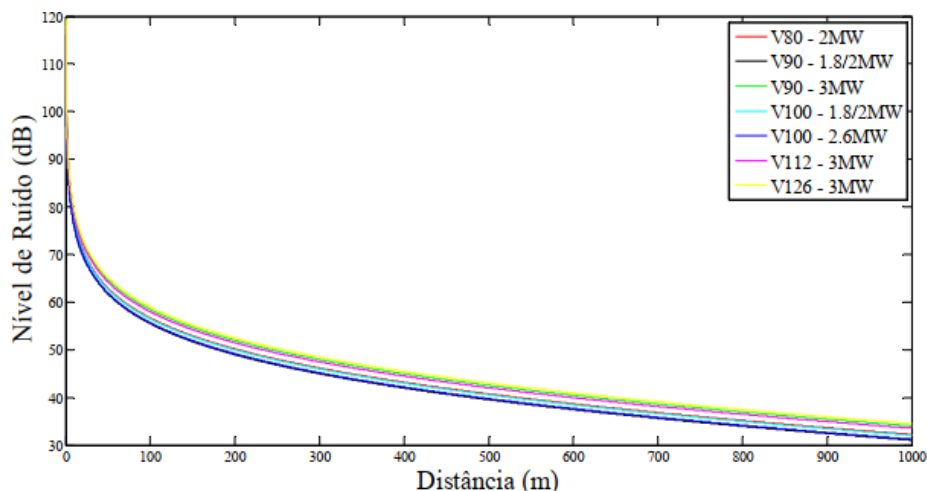
grande parte dos impactos aos seres humanos e animais vêm dessas frequências de ruídos (frequência de aproximadamente a 20kHz). Mesmo que, o infrassom gerado por aerogeradores seja inaudível, o ouvido humano certamente o detecta e responde seus estímulos. Porém, em aerogeradores mais antigos a emissão desses tipos de ruídos era de maior intensidade porque a caixa de velocidades localizava-se no solo, produzindo uma forte componente de baixas frequências.

Já os aerogeradores atuais trazem essa caixa acima do solo, e com a utilização de abafadores e isoladores de vibrações, a produção de componentes de baixas frequências se dá de forma mais amenizada, reduzindo seus efeitos negativos sobre o meio ambiente (MAIA, 2010). Por outro lado, a quantidade de infrassons depende de muitos fatores, incluindo o fabricante do aerogerador (modelo e tipo de turbina), velocidade e direção do vento, potência de saída, a topografia local, e a presença de outros aerogeradores nas proximidades (aumenta quando a pá de um aerogerador “encontra” a esteira de outro aerogerador (LIMA, 2015). Os aerogeradores que serão utilizados neste empreendimento terão potência nominal 12.00kW e 2.000kW.

Conforme já ressaltado, a intensidade de ruído vem sendo minimizada pela adoção de tecnologias mais eficientes na sua fabricação. Portanto, a turbina eólica escolhida para esse empreendimento é projetada para emitir baixos níveis de ruídos. Assim, o nível de incômodo à população depende da proximidade de habitações a área do parque. Para ressaltar este fato, Coutinho (2012) fez uma análise da relação da potência de aerador, velocidade do vento e distância do receptor, para determinar os impactos dos ruídos, observando-se que o modelo V100 (2,6MW) possui a melhor relação ruído-potência, e a medida que a distância aumenta o impacto de ruídos decresce, mesmo a uma velocidade de 8m/s (Figura 4.13.6.1).

Raoni Ceci

Figura 4.13.6.1 - Gráfico do nível de ruído em relação à distância de todos os aerogeradores à velocidade de 8m/s.

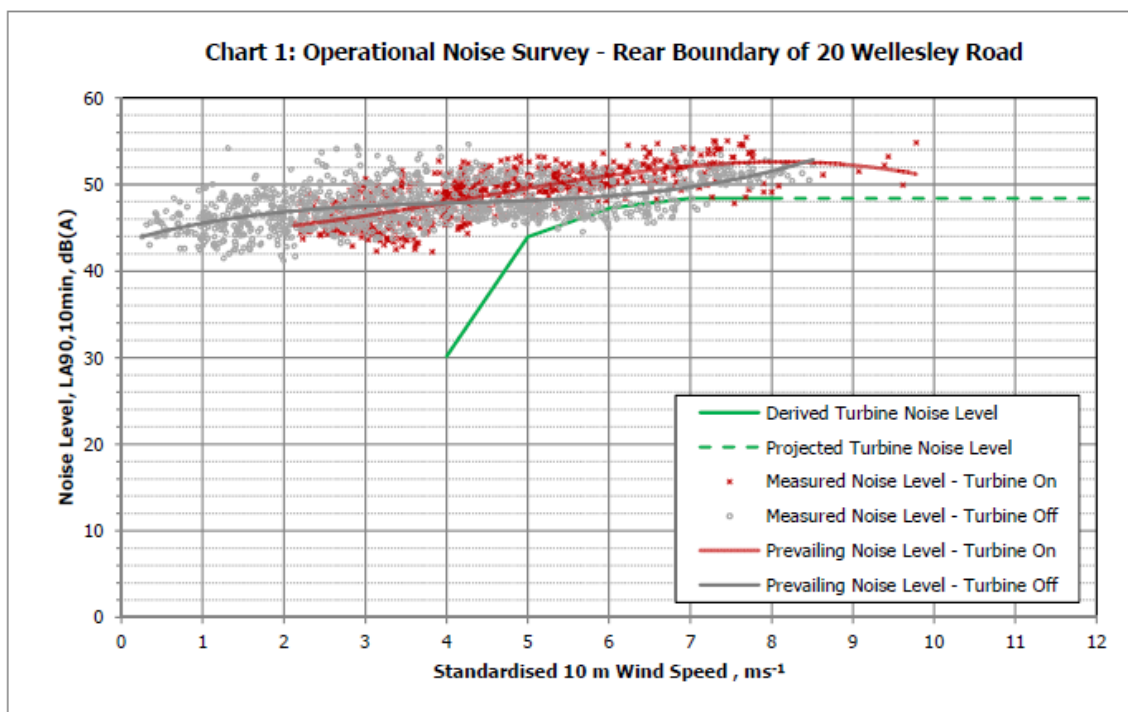


Fonte: Coutinho, 2012

Da mesma forma, um monitoramento realizado pela *Arcus Consultancy Services Ltd* (ARCUS, 2014) para detectar o nível de ruído de turbinas, no período diurno, em um parque eólico *offshore* localizado na cidade Methil na costa oriental da Escócia, considerando que as avaliações foram realizadas a uma distância padronizada de 10 metros de altura, a uma velocidade de vento entre 7 e 8m/s, a uma distância de 560m entre o emissor e receptor e, aeradores com potência de Mw 7, demonstrou, conforme figura 4.13.6.2, que os níveis de intensidade de ruído estão um pouco acima de 50dB, estando mais ou menos dentro dos parâmetros aceitáveis pela NBR-10.151, levando-se em conta que se trata de área mista, predominantemente residencial.

Raoni Ceci

Figura 4.13.6.2– Nível de ruído na fase operacional com base na velocidade do vento em parque eólico off-shore.



Fonte: Arcus Consultancy Services Ltd (ARCUS, 2014)

Um outro estudo realizado por Regraer, Brabont e Rumes (2013) sobre o parque *offshore* da Bélgica mostrou uma frequência de 16Hz no meio marinho, como ruídos subaquáticos de no máximo de 153 dB re 1 μ Pa, com uma amplitude do ruído subaquático do ambiente variando de 95 a 110 dB re 1 μ Pa e frequência de 20 Hz a 3kHz, estando próximo nível de ruído ambiente.

A poluição sonora gerada durante a fase de obras e operação do parque eólico será monitorada por meio da aplicação de um programa ambiental de monitoramento dos níveis de ruídos pós instalação dos aerogeradores, para verificação das estimativas da avaliação acústica para o efetivo cumprimento das normas técnicas. É amplamente reconhecido que uma avaliação eficaz envolverá alguma forma de monitoramento, avaliando os resultados ambientais reais destes tipo de empreendimento.

Raoni Ceci

4.1.13.7 Níveis de Ruídos no Ambiente Noturno de Referência no Meio Marinho.

Antes de quantificar a intensidade do ruído no ambiente marinho, faz-se mister discriminar os tipos de ruído que podem ser gerados nesse ambiente, quais sejam, os ruídos geográficos, provenientes de ondas, ventos e correntes, os ruídos bióticos (o barulho dos peixes e mamíferos), ruídos abióticos (como de terremotos e explosões, precipitação etc.) e os ruídos provenientes de atividade antrópica (gerados pelo homem com sons de navios, atividade industrial, como por exemplo um parque *offshore* de geração de energia eólica) (HILDEBRAND, 2009). Outra classificação pertinente indica dois tipos de ruído: o local ou predominante (fontes biótica, abiótica e antropogênica) e os ruídos intermitentes (fonte geográfica).

No que concerne aos ruídos geográficos, as variações de pressão sonora são de 15 a 40 dB; no caso dos ruídos biológicos, os níveis de pressão variam entre 20 e 30 dB (VALÉRIO, 2017). Sobre as atividades de natureza antrópica, os relatórios prévios de impacto ambiental sobre outros empreendimentos indicam que os efeitos sonoros desagradáveis produzidos em ambiente marinho podem gerar pressões sonoras de 190 a 200dB próximo à fonte (CGPEG/IBAMA, 2009; GUIMARÃES, 2019; HILDEBRAND, 2009). Normalmente, os autores associam essa medição ao tráfego de embarcações. O ruído no oceano vai de menos de 1 Hz a mais de 100.000 Hz. A velocidade acústica no oceano varia localmente com a posição (latitude, longitude e profundidade) e tempo, e ainda depende da temperatura, a salinidade, sedimentos em suspensão e a profundidade da superfície em determinado ponto.

Em referência à *Convention on Biological Diversity* (2012), a menção de Valério (2017, p. 27) acerca das atividades decorrentes do funcionamento de parques eólicos offshore afirma que há a criação de sons de baixa frequência “com níveis de ruído na fonte elevados durante a sua construção, mas com níveis moderados na exploração do parque”.

Seguindo esta tônica, Guimarães (2019) apresenta considerações sobre a desenvoltura do empreendimento, principalmente sobre o processo de implementação

dos parques, e neste sentido, o autor assevera a necessidade de considerar os parâmetros de ruído em ambiente marinho estabelecidos em legislações internacionais, dada a ausência de amparo normativo no ordenamento jurídico pátrio. Neste diapasão, discrimina-se a seguir as legislações dinamarquesa e alemã, as quais já fazem menção aos níveis máximos de ruído permitidos em ambiente marinho, bem como a informação técnica CGPEG/IBAMA nº 05/09 que reitera mais informações acerca da questão.

Na Dinamarca a permissão legal do país em relação à construção de parques eólicos encontra respaldo no *Promotion of Renewable Energy Act (Act nº 1.392)*, de 27 de dezembro de 2008. Referido texto legal parte da premissa que o empreendimento gera impactos no meio ambiente, o que demandou de todos os projetos da região estudos de impacto ambiental. Um dos pontos importantes da avaliação de impacto ambiental foi a poluição sonora decorrente da atividade. Objetivando a avaliação deste setor, a legislação dinamarquesa indica como limite máximo 190dB de exposição sonora de um mamífero durante as obras de fundação.

Já na Alemanha, a legislação que contempla a construção de parques eólicos *offshore* entrou em vigor em 1º de janeiro de 2017. A regulação alemã sobre as questões ambientais traz como ponto forte as questões inerentes ao planejamento espacial marítimo para implementação do parque. E, no tocante “ao ruído sonoro na coluna d’água, desde 2008 consta das autorizações dadas pela Agência Federal para Navegação Marítima e Hidrografia a obrigação de **limitar o nível de exposição sonora em 160dB** em até 750 metros de distância do local das obras” (GUIMARÃES, 2019, p. 169).

Outras informações técnicas relacionadas ao CGPEG/IBAMA Nº 05/09 quanto ao nível de ruído, a partir da revisão sistemática dos estudos sobre o tópico, infere-se que os níveis de ruído aceitáveis no ambiente marinho podem ser observados na tabela 4.1.13.7.1.



Tabela 4.1.13.7.1– Nível de ruídos máximo e mínimo aceitáveis no ambiente marinho

Níveis De Ruído	Indicadores
Mínimo	114 dB
Médio	131-160 DB
Máximo	190 dB

Fonte: CGPEG/IBAMA, (2009); Guimarães (2019).

No que concerne ao funcionamento periódico dos parques eólicos offshore, foram realizados estudos por Lindell (2003) e Betke e Matuschek (2005). Neste segundo, a análise dos índices de som em ambiente marinho variava entre 70 e 114dB. Lindell (2003), por sua vez, ressalta as distinções entre a propagação de som nos ambientes terrestre e marítimo, indicando nos seus estudos, valores que se aproximavam de 130dB, corroborando os índices indicados na Tabela 4.1.13.7.1.

Retomando a ideia de Valério (2017) sobre a lógica da propagação de ruído nos parques eólicos offshore, ressalta-se que os índices de 160dB e 190 dB no meio marinho são aceitáveis durante a fase de construção e implementação, no entanto, para delimitar de forma mais precisa os níveis de ruído noturno em ambiente marítimo, é importante referenciar mais uma vez a *Convention on Biological Diversity* (2012) e o trabalho de Hildebrand (2009), nos quais retrata-se o caráter de continuidade das atividades cotidianas dos parques eólicos offshore, indicando-os como atividades industriais que geram ruído noturno/diurno de baixa a média frequência, e cujo funcionamento segue os padrões de pressão sonora indicados na Tabela 4.1.13.7.2.

Tabela 4.1.13.7.2– Nível de ruídos marinho, máximo e mínimo, para parques eólicos offshore

Níveis de Ruído	Indicadores
Mínimo	90 dB
Máximo	130 dB

Fonte: Hildebrand (2009); *Convention on Biological Diversity* (2012).

Quando se trata de ruído noturno, o parâmetro estabelecido pela as normas da ABNT em função da distância mínima entre o parque eólico e comunidades correspondem a ruídos de no máximo 50dB em ambientes abertos, para não haver riscos à saúde humana. No entanto, durante à noite o som pode ser percebido mais facilmente porque o ruído de fundo pode ser menor do que os ruídos associados aos aeradores, inclusive contendo componentes tonais significativos que podem provocar uma percepção do ruído mais intensa e, conseqüentemente, pode gerar incômodo na população residente próximo ao parque eólico (SILVA; ABRANTES, 2019). É importante salientar que o incômodo gerado é necessariamente subjetivo, e varia de residente para residente.

A incomodidade para os serem humanos, com relação ao ruído noturno de parque eólico, está associada a perturbação do sono, sendo uma das queixas mais comuns relatadas pelas populações expostas ao ruído noturno e poderá causar impacto sobre a saúde e qualidade de vida. Estudos realizados por Maia (2010), Luz (2018) e Oliveira et al (2018) têm demonstrado que o ruído afeta o sono em termos de efeitos imediatos como por exemplo, mudanças de estágios do sono, despertares, movimentos corporais, respostas autônomas), pós-efeitos destacam-se sonolência, desempenho do dia, deterioração da função cognitiva e efeitos a longo prazo como distúrbios do sono crônicos. Contudo, Davy, Burgemeisterb e Hillmanc, (2018), em seus estudos demonstraram que na Austrália e em outros países, as turbinas eólicas foram ajustas para atender os limites de ruídos de acordo com a legislação de cada pais para não causar impactos negativos, especialmente durante à noite tanto meio marinho com no ambiente terrestre.

Luz (2018) realizou medições do nível de pressão sonora do ruído dos aerogeradores em um dos parques eólicos instalados, no Rio Grande do Sul, utilizando-se uma estação de monitoramento de ruído, bem como uma estação meteorológica. Os resultados receberam tratamento estatístico, onde foi utilizado o tempo de integração de 10 minutos, os níveis de pressão sonora do ruído dos aerogeradores no parque foram medidos por um período de aproximadamente 22 horas, com objetivo de caracterizar a influência do vento no ruído total. Estas medidas são mostradas na Tabela 4.1.13.7.3

onde se percebe que não há diferenças significativas entre medidas do nível de pressão sonora diurna e noturna e o vento tem uma grande influência nestes valores, uma vez que a direção do vento também tem influência na propagação do som.

Tabela 4.1.13.7.3 - Medições de ruído para o período noturno, entre 19:00 a 7:00 para o parque eólico do Rio Grande do Sul.

Noite (19:00 – 7:00)						
Período	$L_{An,10min}^1$ dB (A)	$L_{90,10min}$ dB(A)	$L_{50,10min}$ dB(A)	$L_{10,10min}$ B(A)	V_{vest} m/s	Desvio padrão m/s
15/maio	41,3	37,6	39,1	44,3	5,1	0,9
16/maio	37,8	37,3	37,4	38,1	3,3	0,6
17/maio	43,0	38,0	40,7	46,6	5,8	0,9
18/maio	38,5	37,4	38,8	39,2	3,4	1,0
19/maio	38,3	37,5	38,8	39,0	3,8	0,4
20/maio	37,7	37,5	38,5	37,6	1,7	0,3
21/maio	37,7	37,5	37,6	37,7	1,7	0,3

¹ $L_{An,10min}$ é o nível de pressão sonora contínuo equivalente em A, obtido por integração no tempo de 10min., no espectro global, para o período noturno.

Fonte: Luz, 2018.

Entretanto, os valores observados de ruído no ambiente noturno estão dentro dos limites máximos permitido pela a norma (NBR 10151) que, para a localidade onde o parque será instalado é de 55dB diário e de 50 dB (A) no período noturno. Esses dados sevem de balizamento para o nível de ruídos na fase de operação para o meio marinho.

O ruído de baixa frequência propaga-se a maiores distâncias que o ruído de altas frequências, especialmente à noite, existindo muitos fatores que contribuem para a forma como o som se propaga e é atenuado, tais como o ar, a temperatura, a umidade, barreiras, reflexões e materiais de superfície do solo. Tendo em conta que o ruído é

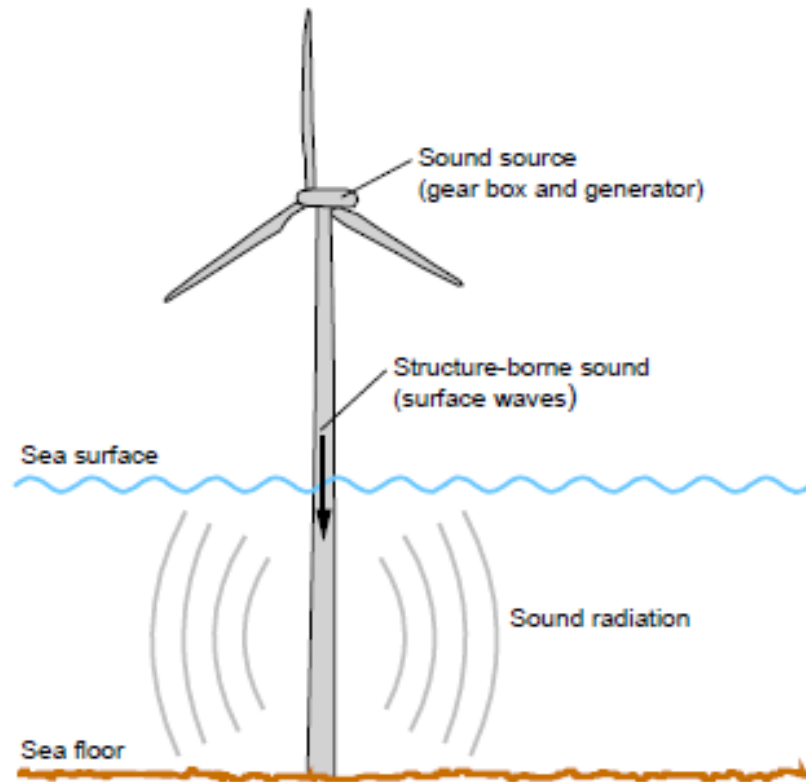
medido em decibel, caso haja duplicação de energia sonora na fonte haverá um aumento de 3dB (A) no nível de pressão sonora. Por outro lado, se duplicar a distância da fonte emissora ao receptor haverá uma redução do som de 6dB (A) junto ao receptor. (LUZ, 2018).

Da mesma forma que os níveis de ruídos noturno podem causar incômodos para as pessoas poderá também causar para os animais, gerando impactos negativos para estes em regiões próximas a parques eólicos tanto *onshore* com *offshore*, embora existam muito poucos estudos científicos que comprovem definitivamente esses impactos.

A instalação de cabos submarinos e de equipamentos de energia renovável *offshore*, embora em menor grau, também podem emitir ruídos subaquáticos e potencialmente danosos, principalmente pelo fato de que ruído de fundo pode ser superado pelos ruídos das turbinas. Esse ruído se propaga pelo eixo principal da turbina eólica e para sua fundação. Essas vibrações se propagam para a coluna de água e para o fundo do mar. O ruído mecânico gerado pelas turbinas *offshore* é concentrado em baixas frequências abaixo de 1kHz, geralmente nas faixas próximas a 700 Hz. (Figura 4.1.13.7.1). A variação da velocidade do vento no meio marinho onde são instaladas as turbinas *offshore* poderá levar a um som modulado em amplitude causado pelas pás do rotor, tornando-se uma possível fonte de perturbação para diferentes espécies marinhas, porque dependendo dos fatores metodológicos, profundidade e distâncias, poderá ser facilmente percebido neste meio, especialmente no período noturno, por não ser mascarado pelo ruído ambiente.



Figura 4.1.13.7.1 - Mecanismo de geração de ruído subaquático por uma turbina eólica offshore



Fonte: Betke e Matuscher, 2005

Reforçando que, o ruído de turbina eólica varia com a velocidade do vento e condições meteorológicas. Além disso, esse ruído não é necessariamente atenuado durante a noite; de fato, os níveis de ruído podem aumentar durante condições atmosféricas estáveis que ocorrem durante a noite em maior extensão do que durante o dia.

A escala de decibéis é logarítmica, o que significa que o som de uma turbina eólica diminuirá em 6 dB por duplicação da distância no ar e em 3 dB por duplicação da distância subaquática. Assim, o ruído subaquático de uma turbina eólica pode se propagar a uma distância muito maior do que o ruído no ar.

O ruído da turbina eólica não deve exceder um média de 45 dB LAeq no período noturno ou conter componentes tonais significativos. No entanto, a velocidade de entrada na altura do cubo da turbina é normalmente entre 3 e 5m /s e se ultrapassar níveis muito altos (em torno de 25 m /s) a turbina é desligada automaticamente para evitar qualquer mau funcionamento (só pode ser necessário restringir a turbina eólica para velocidades específicas do vento em instruções) (OEE, 2011). Essa medida será normalmente implementada por meio de software de controle que governa a operação da turbina e pode ser pré-programada automaticamente. Assim, o ruído deverá ser um fator que pode ser mitigado por meio de regulamentação, para garantir a aceitação desse empreendimento na comunidade e também para reduzir os impactos no meio marinho.

4.1.13.8 Comportamento das Diferentes Espécies aos Ruídos Aquáticos no Meio Ambiente Marinho.

Com a crescente utilização e exploração do oceano, os ruídos antropogênicos têm aumentado de forma significativa, dando origem a um novo tipo de poluição: a poluição sonora. A fonte e as características do ruído no mar, tem importância porque pode causar impactos de maior ou menor grau aos organismos marinhos. De um modo geral, estudos têm demonstrado que os impactos do ruído nos organismos marinhos são principalmente em peixes adultos e mamíferos, que representam mais de 50% e 20% de todos os casos relatados (PENG; ZHAO; LIU, 2015). A distância que os peixes e mamíferos podem detectar o ruído de turbina eólica vai depender de uma série de fatores, incluindo o número e tamanho das turbinas, capacidade auditiva das espécies de peixes e mamíferos, velocidade do vento, profundidade da água e tipo de exploração mar e outras formas de ruído da exploração.

Conforme já ressaltado, os ruídos subaquáticos podem ocorrer na fase de sondagem, implantação e operação do parque *offshore*, embora ainda não se tenha conhecimento mais aprofundados quanto à escala dos impactos ambientais causados pela instalação e operação dos aerogeradores.

a) Fase de sondagem e implantação do empreendimento

Na instalação dos aerogeradores, merece destaque os ruídos e vibrações causados nas obras de fundação (*pile-driving noise*), podendo causar alteração na geomorfologia do local e impactos no fundo do mar pela colocação de cabos de transmissão de eletricidade e das fundações. Dentre estas alterações cita-se deslocamento, perturbação da sedimentação, mudança de habitat e efeitos de afastamento e também atração devido a campos eletromagnéticos (WWF,2014).

Devido ao ruído durante a construção do parque eólico *offshore*, por exemplo, ocorre a suspensão e a dispersão de partículas de sedimentos, sua concentração e o raio dos efeitos dependerão do tamanho das partículas, da hidrodinâmica e do tipo de fundação, podendo haver a diminuição da diversidade biológica dessa área, embora temporária, especialmente, espécies menores e larvas. Diversos estudos não mostraram impacto nos peixes adultos, observando impacto limitado em larvas, ou seja, sem grandes consequências (WWF,2014; WHITEHOUSE et al, 2011; SCHRÖDER et al; 2006; BALATA et al., 2007). Por outro lado, alguns estudos têm demonstrado que várias espécies prosperam em águas turvas, presumivelmente devido a predação (VASELLI et al., 2008; VANDENDRIESSCHE; REUBENS; DERWEDUWEN, 2013; DONG ENERGY et al, 2006).

Além disso, fontes sonoras intensas como os canhões de ar (fonte sísmica) e obras de fundação pode causar mudanças comportamentais, incluindo o deslocamento de áreas de alimentação, reprodução, comportamento, perda auditiva temporária, dano tecidual entre outros. Embora, somente um número limitado de espécies de peixes tenha faixa de audição conhecida existe uma relevante variação de tolerância entre as espécies. Frequências abaixo de 50 Hz até 500-1500 Hz são detectáveis pela maioria deles. Algumas espécies, incluindo o Arenque Atlântico (*Clupea harengus*) podem perceber ruídos acima de 1500 Hz (WYSOCKI et al., 2009). O alcance da audição do boto se estende de 250 Hz a 160 kHz, porém é mais sensível entre 100 e 140 kHz de uma área (MARMO et al, 2013).

Nesta fase de construção, são adotadas estratégias de monitoramento e mitigação

4.375

Raoni Ceci

de danos à fauna marinha, principalmente na condução do “pile”. Ambos os efeitos físicos e comportamentais da fauna marinha são observados e anotados (NEDWELL; HOWEL, 2004; PENG; ZHAO; LIU, 2015). Estas avaliações permitem às autoridades impor mitigação ou mesmo suspender as atividades em caso de extremo dano ao ecossistema marinho. Assim, o programa de monitoramento permite igualmente compreender e avaliar as características ecológicas subjacentes (DEGRAER et al, 2013).

b) Fase Operação.

Na fase de operação, Thompson, et al (2012) destacam que os principais impactos potenciais do ruído causado pelas turbinas eólicas em espécies marinhas são:

1. Perturbação como resultado do ruído subaquático proveniente de operação offshore Turbinas eólicas.
2. Prevenção de longo prazo em potencial da área de desenvolvimento de mamíferos marinhos.
3. Redução potencial de recursos de alimentares devido aos efeitos do ruído.

Conforme já ressaltado, o ruído mecânico gerado pelas turbinas offshore é concentrado em baixas frequências. Outras vibrações mecânicas produzidas por turbinas eólicas durante a operação normal tendem a ser de natureza temporal com durações de segundos a dezenas de segundos e os ruídos são menos intensivos que o ruído de construção. Esses ruídos não são suficientes para causar danos maiores com a morte de peixes, mas podem causar perda de audição e aumento do estresse a níveis que levam a uma redução das funções imunológicas. A distância que os peixes podem detectar o ruído da turbina eólica depende de uma série de fatores, incluindo o número e tamanho das turbinas, capacidade auditiva das espécies de peixes, e velocidade do vento (PENG; ZHAO; LIU, 2015; WWF,2014). Vários estudos sugerem que diferentes espécies de peixes podem detectar o ruído das turbinas variando entre centenas de metros a 25 quilômetros (DEGRAER et al, 2013).

Por outro lado, outros estudos também apontaram para os potenciais benefícios

dos parques eólicos *offshore* para os peixes. Vários fatores têm sido apontados como importantes para o sucesso de estruturas parques eólicos *offshore* na formação de habitats artificiais (recifes artificiais). Estes incluem a melhoria da proteção e disponibilidade de alimentos para peixes, além de servir como pontos de orientação espacial porque esses recifes, geralmente, suportam maiores densidades de peixes e biomassa do que alguns habitats do fundo do mar. O monitoramento do parque eólico *offshore* Robin Rigg, na Escócia, por exemplo, cientistas observaram que algumas das fundações de turbinas submersas se transformaram gradualmente em recifes artificiais, atraindo moluscos e pequenos peixes que se alimentam de plâncton. Este efeito ímã vai até a cadeia alimentar para peixes maiores, focas e golfinhos. Essas zonas são descritas como verdadeiros santuários marinhos porque a pesca é muitas vezes limitada diretamente em torno das turbinas (PENG; ZHAO; LIU, 2015; WWF, 2014).

Além disso, espécies de tubarões e arraias, por exemplo, usam campos eletromagnéticos para navegar e caçar alimentos; e esses animais reagem ao vazamento de energia elétrica de instalações eólicas *offshore*, incluindo cabos de transmissão no fundo do mar, onde as arraias se arrastam pelos sedimentos em busca de presas (DEGRAER et al, 2013).

Todos os parques eólicos *offshore* desenvolvem um programa de monitoramento e o estudo direcionados dos ecossistemas para ajudar a minimizar os impactos indesejáveis em peixes e mamíferos marinhos. O estudo do ecossistema pode ajudar a determinar, por exemplo, rotas migratórias e envolver um melhor planejamento da atividade.