

## 7. ANÁLISE E GERENCIAMENTO DE RISCOS AMBIENTAIS

O Estudo de Análise e Gerenciamento de Riscos Ambientais, tem por finalidade identificar, analisar e avaliar os eventuais riscos impostos a objetos vulneráveis (meio ambiente, comunidades circunvizinhas e instalações) originadas na implantação e operação do Parque Eólico Offshore Caucaia a ser implantado no município de Caucaia, estado do Ceará. O Estudo de Análise e Gerenciamento de Riscos Ambientais foi desenvolvido através de metodologias reconhecidas e adotadas nacional e internacionalmente, Recomendações Normativas e Instruções Técnicas e Legais quando pertinentes, tendo como base o Termo de Referência emitido pela IBAMA.

### 7.1 METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado a partir do estabelecido pelo Termo de referência processo nº 02001.003915/2016-68 emitido pelo IBAMA, no Manual de Orientação para Elaboração de Análise de Riscos da CETESB/SP e, através de diretrizes como internacionais, como a de Seveso II e a OSAHS – *Occupational Safety and Health Services – Guidelines*.

As etapas de trabalho contempladas para a elaboração deste estudo foram:

- ✓ Caracterização do empreendimento e da região circunvizinha ao empreendimento;
- ✓ Identificação dos agentes causadores de perigo e definição dos produtos e processos;
- ✓ Enumeração dos perigos e definição das hipóteses acidentais que eventualmente possam vir a ocorrer nas diversas fases de operação;
- ✓ Análise das consequências e seus respectivos efeitos físicos, decorrentes de eventos anormais que possam resultar em incêndios ou explosões, ou choques mecânicos com objetos vulneráveis;



- ✓ Determinação das áreas vulneráveis, passíveis de serem afetadas pelos diferentes impactos decorrentes dos efeitos físicos de cada um dos cenários de acidentes previstos;
- ✓ Cálculo das frequências de ocorrência das hipóteses e cenários acidentais previstos;
- ✓ Estimativa dos riscos impostos às pessoas localizadas na circunvizinhança, definidos através da Matriz de Ocupação Humana, expressos em termos de Risco Individual (perfil de risco) e Risco Social (curvas f-N);
- ✓ Avaliação dos riscos e proposição de medidas mitigadoras e de gerenciamento, na forma e concepção de um PGR – Plano de Gerenciamento de Riscos;
- ✓ Elaboração de um plano de emergência individual (PEI).

## 7.2 IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O projeto preliminar da usina eólica offshore, será composto por um total de 59 aerogeradores organizados da seguinte forma:

### Área Offshore:

- 48 aerogeradores, construídos em mar aberto, com potência de até 12 MW, para uma potência total entre 288 e 576 MW.

Especificamente, para a Análise e Gerenciamento de Riscos Ambientais descritos abaixo foram considerados os tipos de turbinas cujas características dimensionais são as máximas possíveis e que poderiam gerar os maiores impactos ambientais. Assim, o modelo de turbina escolhido para a planta proposta tem as seguintes características:

- ✓ Potência unitária: entre 6 - 12 MW;
- ✓ Diâmetro: entre 150 - 220 M;
- ✓ Altura do Hub: entre 100 - 150 M.



### **Molhes:**

- 11 aerogeradores construídos na costa, sobre os quebra-mares, com uma potência nominal entre 2 - 3.3 MW, agrupadas em 2 sub-campos compostos respectivamente por 5 e 6 turbinas eólicas para uma potência total de pelo menos 22 MW, cujas características estão incluídas na seguinte gama de valores característicos para turbinas:

Diâmetro: entre 90 – 110 M;

Altura do Hub: entre 95 - 105 M.

A usina deverá ser conectada à rede elétrica nacional (administrada pela Aneel). A construção de uma rede elétrica é, portanto, necessária para conectar os aerogeradores entre si, pertencentes a cada subcampo, e à estação elétrica. Para a conexão, uma estação elétrica de 35/230 kV está prevista para ser construída em uma plataforma marítima, destinada a coletar a energia produzida pela usina eólica.

A partir da estação localizada em mar é prevista uma conexão, em parte marinha e em parte terrestre, até a estação de coleta a partir de uma conexão de 230 kV, necessária para transportar a energia produzida pela estação elétrica para uma estação 230 kV existente em Pecém, que permite a injeção da energia produzida na rede de transmissão, cujo ponto de conexão será a estação de Pecém II.

## **7.3 IDENTIFICAÇÃO DOS PERIGOS**

A identificação de perigos tem por objetivo identificar os possíveis eventos indesejáveis que podem levar à materialização de um perigo, para que possam ser definidas as hipóteses acidentais que poderão acarretar consequências significativas.

### **7.3.1 Metodologia**

A identificação dos perigos do empreendimento foi realizada a partir da aplicação da técnica Ciclo de Análise de Perigos (CAP), proposto por Azevedo (2012).



O método utiliza as técnicas da Análise Preliminar de Perigos (APP), do inglês *Preliminary Hazard Analysis (PHA)* técnica desenvolvida pelo programa de segurança militar do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (MIL-STD-882B), bem como a *What if?* (o que aconteceria se?) que propõe cenários e tenta identificar as vulnerabilidades de sistemas ou rotinas nestas situações e leva em consideração que acidentes não acontecem isoladamente e que a consequência de um cenário pode ser a causa de um cenário seguinte, como uma cascata de acidentes.

O intuito da aplicação dos métodos de forma combinada é elaborar cenários primários utilizando a técnica da APP e, após a apreciação destes cenários, observar “o que aconteceria se” aquele cenário se concretizasse. Estes acontecimentos poderiam repercutir em novos cenários de acidentes, incidentes ou em nada relevante.

#### **a) Análise Preliminar de Perigo**

A APP é uma técnica estruturada que tem por objetivo identificar os perigos presentes numa instalação, ocasionados por eventos indesejáveis. Normalmente, a APP é utilizada na fase inicial de projeto, embora bastante aplicada em unidades em operação, permitindo uma análise crítica dos sistemas de segurança existentes e a identificação das possíveis hipóteses de acidentes.

Este método focaliza os eventos perigosos cujas falhas têm origem na instalação em análise, contemplando tanto as falhas intrínsecas de equipamentos, de instrumentos e de materiais, como erros humanos. Após a identificação do perigo, é feita uma avaliação qualitativa da frequência de ocorrência do perigo identificado e da severidade associada às respectivas consequências, através do estabelecimento de categorias de frequência e de severidade. Em seguida, tendo em vista que o risco é uma combinação de frequência e das consequências, obteve-se uma avaliação qualitativa dos riscos.

O resultado desta análise foi obtido através do preenchimento de uma planilha específica, o que possibilitou a identificação das hipóteses e cenários acidentais, bem



como os possíveis impactos decorrentes de danos associados às características ambientais, estruturais e de projeto.

A mesma planilha será utilizada ao final dos ciclos de análise. Os campos da planilha estão explicados na sequência:

**Nº:** número sequencial do perigo identificado.

**Acidente:** evento que define a hipótese acidental e está normalmente associado a uma ou mais condições com potencial de causar danos às pessoas, ao patrimônio ou ao meio ambiente;

**Etapa:** fase da vida útil do empreendimento em que se reconhece a possibilidade de ocorrência do evento acidental;

**Deteção:** principal meio pelo qual é possível e deve-se inspecionar o ambiente ou elemento que o compõe para evitar o evento acidental;

**Frequência (Freq):** graduação qualitativa da frequência de ocorrência do perigo, de acordo com a classificação apresentada no Quadro 7.3.1.1.

**Severidade (Sev):** graduação qualitativa do efeito associado ao cenário acidental, de acordo com a classificação apresentada no Quadro 7.3.1.2.

**Quadro 7.3.1.1 – Categorização da Frequência de Risco**

<b>Categoria</b>	<b>Denominação</b>	<b>Faixa de frequência (anual)</b>	<b>Descrição</b>
<b>A</b>	Extremamente Remota	$f < 10^{-4}$	Conceitualmente possível, mas extremamente improvável de ocorrer durante a vida útil do processo/instalação
<b>B</b>	Remota	$10^{-4} < f < 10^{-3}$	Não esperado ocorrer durante a vida útil do processo/instalação
<b>C</b>	Improvável	$10^{-3} < f < 10^{-2}$	Pouco provável de ocorrer durante a vida útil do processo/instalação
<b>D</b>	Provável	$10^{-2} < f < 10^{-1}$	Esperado ocorrer até uma vez durante a vida útil do processo/instalação
<b>E</b>	Frequente	$f > 10^{-1}$	Esperado de ocorrer várias vezes durante a vida útil do processo/instalação

*Raoni Ceci*

### Quadro 7.3.1.2 – Categorização da Severidade de Risco

Categoria	Denominação	Descrição/características
I	DESPREZÍVEL	Sem danos ou danos insignificantes aos equipamentos, à propriedade e/ ou ao meio ambiente; Não ocorrem lesões/ mortes de funcionários, de terceiros (não funcionários) e/ ou pessoas (industrias e comunidade); o máximo que pode ocorrer são casos de primeiros socorros ou tratamento médico menor;
II	MARGINAL	Danos leves aos equipamentos, à propriedade e/ ou meio ambiente (os danos materiais são controláveis e/ ou de baixo custo de reparo); Lesões leves em empregados, prestadores de serviços e/ou membros da comunidade;
III	CRÍTICA	Danos severos aos equipamentos, à propriedade e/ou ao meio ambiente; Lesões de gravidade moderada em empregados, prestadores de serviços ou em membros da comunidade (probabilidade remota de morte) Exige ações corretivas imediatas para evitar seu desdobramento em catástrofe;
IV	CATASTRÓFICA	Danos irreparáveis aos equipamentos, à propriedade e/ ou ao meio ambiente (reparação lenta ou impossível); Provoca mortes ou lesões graves em várias pessoas (empregados, prestadores de serviços ou membros da comunidade);

**Categoria de Risco (CR):** grau de risco associado ao cenário acidental, resultante da combinação de frequência x severidade, de acordo com o critério estabelecido na Matriz de Riscos apresentada no Quadro 7.3.1.3 e 7.3.1.4.

*Raoni Ceci*

Quadro 7.3.1.3 – Matriz de Risco

Severidade	Frequência				
	A	B	C	D	E
IV	2	3	4	5	5
III	1	2	3	4	5
II	1	1	2	3	4
I	1	1	1	2	3

Quadro 7.3.1.4 – Resumo da Classificação de Risco

Severidade		Frequência		Risco	
I	Desprezível	A	Extremamente Remota	1	Desprezível
II	Marginal	B	Remota	2	Menor
III	Crítica	C	Improvável	3	Moderado
IV	Catastrófica	D	Provável	4	Sério
		E	Frequente	5	Crítico

**Prevenção:** ações mitigadoras a serem desenvolvidas relacionadas aos perigos e cenários acidentais, levando em consideração sistemas de segurança existentes ou recomendações para o gerenciamento dos riscos associados.

*Raoni Ceci*

A partir da severidade do risco juntamente com a sua probabilidade de ocorrência pode-se então classificar o mesmo por meio de uma matriz de caracterização onde são representados os pares ordenados “Probabilidade” e “Severidade” obtida na análise de cada hipótese de risco.

### **b) *What if...?***

O procedimento *What-If* é uma técnica de análise geral, qualitativa, cuja aplicação é bastante simples e útil para uma abordagem em primeira instância na detecção exaustiva de riscos, tanto na fase de processo, projeto ou pré-operacional, não sendo sua utilização unicamente limitada às empresas de processo.

A finalidade do *What-If* é testar possíveis omissões em projetos, procedimentos e normas e ainda aferir comportamento, capacitação pessoal etc., nos ambientes de trabalho, com o objetivo de proceder à identificação e tratamento de riscos.

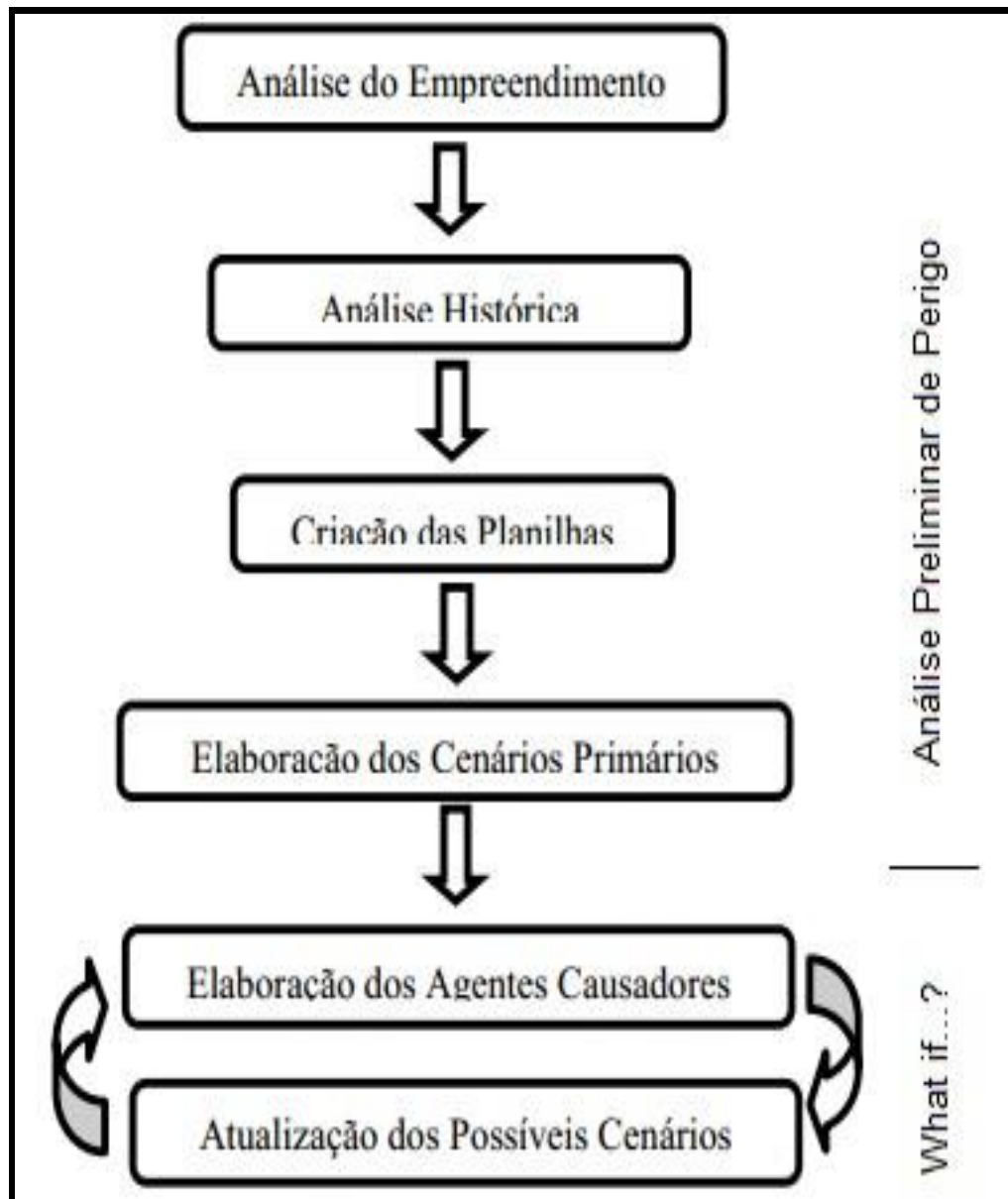
A combinação dos métodos pode ser entendida de acordo com a Figura 7.3.1.5

No que tange o desenvolvimento/preenchimento das planilhas, cada unidade ou procedimento foi analisado em separado, onde cada Subsistema refere-se a uma unidade específica.





**Figura 7.3.1.5 – Elaboração de Cenários pelo Método CAP**



Fonte: Azevedo, 2012.

### 7.3.2 Perigos Identificados

Os Quadros 7.3.2.1 a 7.3.2.2 referem-se aos cenários mais relevantes identificados pelas APP e suas matrizes de risco individuais.

*Raoni Ceci*

**Quadro 7.3.2.1 – Cenários de acidentes relevantes do segmento**

N°	Acidente	Etapa	Deteção	Freq.	Sev.	CR	Mitigação
<b>Queda de Componentes (Danos materiais e à vida humana)</b>							
E.1	Má fixação	Instalação, Operação e Manutenção	Visual	C	II	2	Treinamento, inspeção e uso de equipamento apropriado. Uso de EPC e EPI.
E.2	Falhas na instalação			C	III	3	
E.3	Manutenção defeituosa			C	III	3	
E.4	Defeito de fabricação			C	II	2	
E.5	Manuseio inadequado durante o transporte, construção e montagem			C	III	3	
E.6	Falha nos alicerces			C	II	2	
E.7	Colisão			C	II	2	
E.8	Condições climáticas adversas			C	II	3	
<b>Rompimento das pás (Danos materiais, à vida humana, arremesso de fragmentos e incêndio)</b>							
E.9	Ventos extremos	Instalação, Operação e Manutenção	Visual	C	II	2	Treinamento, inspeção e uso de equipamento apropriado. Uso de EPC e EPI.
E.10	Colisão			C	II	2	
E.11	Falhas estruturais			C	II	2	
E.12	Fadiga mecânica			C	II	2	
E.13	Colisão ( <i>birdstrike</i> , etc...)			C	II	2	
E.14	Desequilíbrio da torre			C	II	2	
E.15	Rompimento de juntas adesivas			C	II	2	
E.16	Término da vida útil			C	II	2	
<b>Incêndio (Danos materiais, ambientais e à vida humana)</b>							
E.17	Curto circuito em geradores	Instalação, Operação e Manutenção	Visual	C	II	2	Treinamento, inspeção e uso de equipamento apropriado. Uso de EPC e EPI.
E.18	Curto circuito em transformadores			C	II	2	
E.19	Curto circuito em linhas			C	III	3	
E.20	Vazamento de óleo e graxas			C	II	2	
E.21	Incidência de raios			C	III	3	
E.22	Aquecimento dos mancais			C	II	2	
E.23	Falha no arrefecimento			C	II	2	
E.24	Aquecimento de freios			C	II	2	
E.25	Vazamento de óleo isolante			C	II	2	
E.26	Falhas no rolamento			C	II	2	
E.27	Dimensionamento errôneo de componentes na eletrônica de potência			C	II	2	
E.28	Alto Índice Cerâmico			D	II	2	
E.29	Falha de interruptores			C	II	2	
E.30	Falha de controle eletrônico			C	II	2	

Raoni Ceci

Nº	Acidente	Etapa	Deteção	Freq.	Sev.	CR	Mitigação
E.31	Ausência de proteção contra surtos no lado de media tensão do transformador	Instalação, Operação e Manutenção	Visual	C	II	2	Treinamento, inspeção e uso de equipamento apropriado. Uso de EPC e EPI.
E.32	Ressonância em circuitos			C	II	2	
E.33	Erros de reparação, montagem e desmantelamento (soldagem, corte abrasivo e corte com chamas)			C	II	2	
<b>Queda da Torre (Danos materiais, à vida humana, arremesso de fragmentos)</b>							
E.34	Manobras equivocadas	Manutenção	Visual, Auditiva, Sensores	C	II	2	Treinamento e manutenção de áreas de segurança.
E.35	Erros de içamento			C	II	2	
E.36	Defeito estrutural			C	II	2	
E.37	Choque mecânico			D	II	3	
E.38	Deformação na base			C	II	2	
E.39	Intenso processo erosivo			C	II	2	
E.40	Erros de soldagem			C	III	3	
E.41	Erosão marinha			D	II	3	
E.42	Falhas de manutenção			C	II	2	
<b>Colapso da Torre (Danos materiais, à vida humana, arremesso de fragmentos)</b>							
E.43	Ventos extremos	Instalação, Operação e Manutenção	Visual, Auditiva, Sensores	C	II	2	Treinamento e manutenção de áreas de segurança.
E.44	Colisão com as pás			C	II	2	
E.45	Fadiga mecânica			D	II	3	
E.46	Colisão (birdstrike, etc...)			C	II	2	
E.47	Movimentações de terra			C	II	2	
E.48	Falhas estruturais			C	II	2	
E.49	Intenso processo erosivo			C	II	2	
E.50	Erros de soldagem			C	II	2	
E.51	Alto Índice Cerâmico			C	II	2	
E.52	Eventos marinhos			C	II	2	
E.53	Incêndio			C	II	2	
E.54	Erosão marinha			C	III	3	
E.55	Falhas na manutenção			C	III	3	
<b>Rompimento de cabos de transmissão e comandos (Danos materiais, à vida humana e ambientais)</b>							
E.56	Escavações	Instalação, Operação e Manutenção	Visual, Auditiva, Sensores	C	II	2	Treinamento, inspeção e uso de equipamento apropriado. Uso de EPC e EPI.
E.57	Oxidação			B	II	1	
E.58	Sobretensão			C	I	1	
E.59	Descargas atmosféricas			C	II	2	
E.60	Queda das estruturas			C	III	3	
E.61	Erosão marinha			B	II	1	
E.62	Intervenções humanas			B	II	1	
E.63	Eventos extremos			C	II	2	

Raoni Ceci

Nº	Acidente	Etapa	Deteção	Freq.	Sev.	CR	Mitigação
<b>Vazamento de solução eletrolítica (Danos materiais, ambientais e à vida humana)</b>							
E.64	Erro de procedimento	Instalação, Operação e Manutenção	Visual, Auditiva, Sensores	C	II	2	Treinamento e atenção ao procedimento.
E.65	Choque mecânico			C	II	2	
E.66	Fadiga mecânica			C	II	2	
E.67	Falha do controlador			C	III	3	
E.68	Defeito de fabricação			C	III	3	
E.69	Erros na instalação e manutenção			C	III	3	
E.70	Ausência na manutenção			C	III	3	
E.71	Corrosão			C	III	3	
<b>Queda de Altura (Danos materiais e à vida humana)</b>							
E.72	Erro de procedimento	Manutenção	Visual	B	III	2	Treinamento. Uso de EPC e EPI.
E.73	Condições climáticas			C	IV	4	
<b>Emissão de gases tóxicos (Danos materiais, ambientais e à vida humana)</b>							
E.74	Incêndio	Instalação, Operação e Manutenção	Visual, Auditiva, Sensores	C	II	2	Treinamento, inspeção e uso de equipamento apropriado. Uso de EPC e EPI.
E.75	Erro de procedimento			C	II	2	
E.76	Choque mecânico			B	III	2	
E.77	Fadiga mecânica			C	II	1	
E.78	Descarte inadequado de substâncias tóxicas			B	III	2	
<b>Vazamento de inflamáveis e incêndio (Danos materiais, ambientais e à vida humana)</b>							
E.79	Erro de procedimento	Instalação, Operação e Manutenção	Visual, Auditiva, Sensores	C	II	2	Treinamento, inspeção e uso de equipamento apropriado.
E.80	Choque mecânico			C	III	3	
E.81	Descargas atmosféricas			C	III	3	
E.82	Fadiga mecânica			C	III	3	
E.83	Falha no sist. Supervisório			C	III	3	
E.84	Infiltração de água			C	III	3	
E.85	Baixa resistência dielétrica			C	III	3	
E.86	Oxidação			C	III	3	
<b>Acidente de navegação</b>							
E.87	Vazamento de hidrocarbonetos causadas por acidente de navegação envolvendo embarcações no Empreendimento	Instalação, Operação e Manutenção	Visual, Auditiva, Sensores	C	III	3	Treinamento, inspeção e uso de equipamento apropriado.
E.88	Vazamento de hidrocarbonetos causadas por acidente de navegação envolvendo rebocadores que operarão no Empreendimento			C	III	3	

Raoni Ceci

Nº	Acidente	Etapa	Deteção	Freq.	Sev.	CR	Mitigação
E.89	Vazamento de hidrocarbonetos causadas por acidente de navegação envolvendo balsa que operará no Empreendimento	Instalação, Operação e Manutenção	Visual, Auditiva, Sensores	C	III	3	Treinamento, inspeção e uso de equipamento apropriado.
E.90	Vazamento de hidrocarbonetos causadas por acidente de navegação envolvendo barcas que operarão no Empreendimento			C	III	3	
E.91	Vazamento de hidrocarbonetos causadas por acidente de navegação envolvendo embarcações da praticagem que operarão no Empreendimento			C	III	3	
<b>Riscos (F, Q, B, Ac, Amb)</b>							
E.92	Mal por vetores de doenças	Instalação, Operação e Manutenção	Visual, Auditiva, Sensores	D	I	2	Treinamento, inspeção e uso de equipamento apropriado. Uso de EPC e EPI.
E.93	Picada de cobra			A	III	2	
E.94	Afogamento			A	III	1	
E.95	Doenças do clima			D	I	2	
E.96	Vibrações			C	II	2	
E.97	Ruído			C	II	2	
E.98	Condições metrológica extremas			C	II	2	
E.99	Trabalho em altura			C	III	4	
E.100	Movimentação e içamento de cargas			D	IV	5	
E.101	Trabalho em espaço confinado			C	IV	5	
E.102	Exposição a agentes químicos			C	III	3	
E.103	Riscos ergonômicos			C	IV	5	
E.104	Intoxicação			C	III	3	

Raoni Ceci

### Quadro 7.3.2.2 - Matriz de Risco do Empreendimento

Severidade	Frequência					
		A	B	C	D	E
	IV			3	1	
	III	2	3	29		
	II		3	56	4	
	I			1	2	

Com a combinação da matriz de risco foram identificados 104 cenários acidentais sendo 1 risco crítico, 3 riscos sérios, 33 riscos moderados, 61 riscos menores e 6 riscos desprezíveis, conforme o Quadro 7.6.

O Quadro 7.3.2.3 refere-se aos cenários mais relevantes identificados pelas APP e suas matrizes de risco individuais.

### Quadro 7.3.2.3 – Cenários de Acidentes Relevantes do Segmento

Nº	Acidente	Etapa	Deteção	Freq.	Sev.	CR
<b>Queda de Componentes (Danos materiais e à vida humana)</b>						
E.2	Falhas na instalação			C	III	3
E.3	Manutenção defeituosa			C	III	3
E.5	Manuseio inadequado durante o transporte, construção e montagem			C	III	3
<b>Incêndio (Danos materiais, ambientais e à vida humana)</b>						
E.19	Curto circuito em linhas			C	III	3
E.21	Incidência de raios			C	III	3
<b>Queda da Torre (Danos materiais, à vida humana, arremesso de fragmentos)</b>						
E.40	Erros de soldagem			C	III	3
<b>Colapso da Torre (Danos materiais, à vida humana, arremesso de fragmentos)</b>						
E.54	Erosão marinha			C	III	3
E.55	Falhas na manutenção			C	III	3

*Raoni Ceci*

Continuação do Quadro 7.3.2.3

N°	Acidente	Etapa	Deteção	Freq.	Sev.	CR
<b>Rompimento de cabos de transmissão e comandos (Danos materiais, à vida humana e ambientais)</b>						
E.60	Queda das estruturas			C	III	3
<b>Vazamento de solução eletrolítica (Danos materiais, ambientais e à vida humana)</b>						
E.66	Falha do controlador			C	III	3
E.67	Defeito de fabricação			C	III	3
E.68	Erros na instalação e manutenção			C	III	3
E.69	Ausência na manutenção			C	III	3
E.70	Corrosão			C	III	3
<b>Queda de Altura (Danos materiais e à vida humana)</b>						
E.71	Erro de procedimento	Manutenção	Visual	B	III	2
E.72	Condições climáticas			C	IV	4
<b>Emissão de gases tóxicos (Danos materiais, ambientais e à vida humana)</b>						
E.76	Choque mecânico			B	III	2
E.78	Descarte inadequado de substâncias tóxicas			B	III	2
<b>Vazamento de inflamáveis e incêndio (Danos materiais, ambientais e à vida humana)</b>						
E.80	Choque mecânico			C	III	3
E.81	Descargas atmosféricas			C	III	3
E.82	Fadiga mecânica			C	III	3
E.83	Falha no sist. Supervisório			C	III	3
E.84	Infiltração de água			C	III	3
E.85	Baixa resistência dielétrica			C	III	3
E.86	Oxidação			C	III	3
<b>Acidente de navegação</b>						
E.87	Vazamento de hidrocarbonetos causadas por acidente de navegação envolvendo embarcações no Empreendimento	Instalação, Operação e Manutenção	Visual, Auditiva, Sensores	C	III	3
E.88	Vazamento de hidrocarbonetos causadas por acidente de navegação envolvendo rebocadores que operaram no Empreendimento			C	III	3
E.89	Vazamento de hidrocarbonetos causadas por acidente de navegação envolvendo balsa que operará no Empreendimento			C	III	3
E.90	Vazamento de hidrocarbonetos causadas por acidente de navegação envolvendo barcas que operarão no Empreendimento			C	III	3

Raoni Ceci

Continuação do Quadro 7.3.2.3

N°	Acidente	Etapa	Deteção	Freq.	Sev.	CR
E.91	Vazamento de hidrocarbonetos causadas por acidente de navegação envolvendo embarcações da praticagem que operarão no Empreendimento			C	III	3
<b>Riscos (F, Q, B, Ac, Amb)</b>						
E.93	Picada de cobra			A	III	2
E.94	Afogamento			A	III	1
E.99	Trabalho em altura			C	III	4
E.100	Movimentação e içamento de cargas			D	IV	5
E.101	Trabalho em espaço confinado			C	IV	5
E.102	Exposição a agentes químicos			C	III	3
E.103	Riscos ergonômicos			C	IV	5
E.104	Intoxicação			C	III	3

É relevante dizer que as medidas mitigadoras previstas também constam nas APP, mas as matrizes de risco apresentadas consideram o grau de risco antes da aplicação de tais medidas. Esta conduta foi adotada por ser mais conservadora, bem como por não haver garantias da presença de conduta, equipamentos ou sistemas sugeridos.

### 7.3.3. Hipóteses Acidentais

Os 38 principais cenários são aqueles em que existe uma necessidade de ação imediata para evitar o desdobramento em catástrofe. Nestes há uma possibilidade de morte ou danos mais sérios aos equipamentos, funcionários e meio ambiente. Estes cenários são aqueles em que o grau de risco é igual ou superior a 3 e faz-se importante uma análise mais específica.

*Raoni Ceci*



### Quadro 7.3.3.1 - Matriz de Risco dos principais cenários do Empreendimento

Severidade	Frequência					
		A	B	C	D	E
	IV			3	1	
	III	2	3	29		
	II					
	I					

#### 7.3.4. Medidas Mitigadoras Recomendadas

- ✓ Manter operadores e terceirizados treinados e atualizados;
- ✓ Verificar sistematicamente os procedimentos para movimentação de pessoal e equipamentos pesados durante a etapa de transporte e montagem;
- ✓ Realizar inspeção e manutenção preventiva dos equipamentos e sistemas de segurança;
- ✓ Fornecer equipamentos de segurança e EPI adequados para a realização de manobras de manutenção e reparo; a velocidade dos ventos da região e a capacidade suportável de projeto;
- ✓ Em caso de fogo nos sistemas elétricos, para extinção usar pó químico e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Remover os recipientes da área de fogo, se isto puder ser feito sem risco;
- ✓ Assegurar que há sempre um caminho para escape do fogo, rota de fuga no interior da subestação;
- ✓ Checagem física dos componentes de serviço e manutenção;
- ✓ Implementação de sistemas de monitoramento remoto para a detecção de riscos de incêndios;
- ✓ Manutenção de atmosfera inerte e atender aos procedimentos listados nas FISPQ dos produtos utilizados.

*Raoni Ceci*

## 7.4 PROGRAMA DE GERENCIAMENTO DE RISCO – PGR

### 7.4.1 Introdução

O objetivo do Gerenciamento de Riscos Ambientais (PGR) é implantar procedimentos de caráter essencialmente preventivos, mas também fornecer parâmetros para situações de emergência, tendo como objetivo identificar os riscos apresentados na Análise e Gerenciamento de Riscos Ambientais. Para isto, três fatores são explorados: o material humano (funcionários da empresa, contratados e terceirizados), os equipamentos e as técnicas e procedimentos utilizados na implantação e operação do empreendimento.

A eficiência do Plano de Gerenciamento de Riscos Ambientais (PGR), assim como do Estudo da Análise de Risco (EAR), depende não só dos fatores já citados, mas também da adequação dos estudos às especificidades do empreendimento.

Todos os empreendimentos, independente do setor e dos objetivos, geram riscos. Sejam eles físicos, químicos, biológicos, ergonômicos ou de acidentes. Assim, a identificação dos cenários passíveis de acidentes é essencial para a manutenção da qualidade ambiental e integridade física dos agentes envolvidos na atividade e área do entorno.

Após as análises das APP's (Análise Preliminar de Perigo) e do levantamento histórico de 47 anos, realizados no EAR, observou-se que os riscos químicos e biológicos são desprezíveis quando comparados aos físicos e de acidentes na geração através de aerogeradores. Fato justificado pelas grandes operações mecânicas envolvidas, tal como içamentos de grandes massas, para alturas de trabalho da ordem de 125 m, quando em instalação, agravados pelo fato de serem içadas em ambiente marinho. Quando em operação, existem grandes massas (pás) com elevadas energias cinéticas e potencial gravitacional. O caso particular dos cenários relacionados a incêndio demonstra de forma clara os riscos característicos como sendo os físicos e de acidente. Uma vez que independente do que o desencadeia – produto químico, faísca elétrica, descarga atmosférica, superaquecimento de sistema em geral e etc. – as consequências serão o

Raoni Ceci

tombamento do conjunto, a queda de partes e/ou arremesso de fragmento de alturas elevadas.

#### 7.4.2 Fundamentação

A instalação de uma Usina Eólica deve atender exigências particulares na quais advêm de imposições aerodinâmicas. Tais imposições vão desde a propensão natural da região, devido aos ventos, até a disposição dos aerogeradores, a qual depende das características do próprio aerogerador e do seu entorno físico. Neste último, um dos critérios é a rugosidade do terreno no qual é definido como as dimensões dos desníveis ao longo da área, que podem ser formações naturais, áreas com construções diversas ou densamente arborizadas.

O alongamento dos aerogeradores objetiva fazer com que o tamanho da área varrida pelas pás seja cada vez maior, já que o Fluxo de Energia Cinética (FEC) é diretamente proporcional à velocidade de corrente livre elevado ao cubo. No entanto, ao se aumentar o diâmetro do aerogerador, a região de influência a montante e a jusante também aumentam, obrigando um afastamento maior entre os aerogeradores na direção do escoamento, além do cone de expansão obrigar um afastamento lateral.

Ou seja, é de característica inerente deste tipo de empreendimento a necessidade de grandes áreas planas e abertas. O que torna áreas densamente povoadas e/ou com grandes desníveis não atrativas a instalação, sendo as áreas offshore propícias para tal atividade. Essas necessidades inerentes à instalação de uma Usina Eólica contribuem para a segurança, uma vez que isola os riscos dos indivíduos externos ao empreendimento. Apesar de se encontrar em regiões distantes, a infraestrutura requerida facilita o acesso em caso de acidentes.

Este Programa de Gerenciamento de Risco terá como base elementos advindos da OHSAS 17.4.001 (*Occupational Health & Safety Advisory Services*), a qual se trata de orientações para implementação de sistemas de Gestão de SSO (Segurança e Saúde Ocupacional), tendo como objetivo fornecer um guia de segurança que se adéque especificamente ao empreendimento para evitar acidentes. No entanto, no caso extremo do acontecimento de um acidente, este programa

Raoni Ceci

direciona esforços para minimizar suas consequências físicas, sociais e econômicas tanto para o empreendedor quanto para a sociedade.

A OHSAS 17.4.001 se aplica a qualquer organização que tenha como objetivos:

- Estabelecer um sistema de gestão visando a eliminação ou redução dos riscos aos quais empregados e outras partes possam estar expostas;
- Implementar, manter e melhorar continuamente o sistema de gestão de SSO;
- Assegurar que o programa de SSO esteja em conformidade com as diretrizes corporativas e a política;
- Demonstrar a conformidade do programa de SSO para as partes interessadas (clientes, Governo, sociedade (ONG), investidores, entre outros);
- Certificar o sistema de gestão através de uma OCC (Organismo Credenciado de Certificação) reconhecido;
- Declarar ao mercado que possui um sistema de gestão implementado de acordo com esta especificação.

O gerenciamento de risco deve atingir todos os setores de um empreendimento em prol da prevenção de acidentes. Neste contexto três fatores são de extrema importância:

- Colaboradores;
- Equipamentos;
- Processos e Técnicas.

Uma forma eficiente de integralizar todo o empreendimento evitando conflitos entre os diferentes objetivos dos setores é a implementação de um Programa de SSO. A implementação de um sistema de Gestão de SSO visa identificar e minimizar os desvios organizacionais que possam comprometer a segurança. Os seguintes elementos devem ser considerados:

- a. Atualização e controle da legislação, com atenção para o licenciamento;
- b. Implementação da CIPA e/ou comitês de segurança;

*Raoni Ceci*

- c. Implementação da política corporativa;
- d. Elaboração de procedimentos de segurança para operação e processos;
- e. Atualização, controle, elaboração e divulgação de documentos internos;
- f. Organização, limpeza e sinalização do ambiente de trabalho;
- g. Campanhas educativas de Segurança Meio Ambiente e Saúde (SMS);
- h. Utilização sistêmica do EPI;
- i. Identificação e controle de treinamentos;
- j. Implementação de sistemas de permissão para trabalho;
- k. Registros e análises de não conformidade, acidente e quase acidentes;
- l. Programa de Controle Médico e Saúde Ocupacional (PCMSO);
- m. Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA);
- n. Identificação de aspectos e impactos de SMS envolvendo os trabalhadores, contratados, clientes e meio ambiente;
- o. Sistema de comunicação interna, responsabilidade e autoridade;
- p. Plano de emergência e contingência;
- q. Inspeções rotineiras de segurança;
- r. Programa de auditorias internas e externas;
- s. Controle de emissões de poluentes;
- t. Programa de segurança para contratados;
- u. Relacionamento com a comunidade e outras entidades;
- v. Relacionamento com órgão de controle de emergência.

A implementação de um programa desse porte requer muito tempo e material humano próprios, e frequentemente terceirizados, e nem sempre é necessária em sua totalidade. Então, as determinações dos elementos que serão utilizados dependem das obrigações legais, das diretrizes e dos objetivos da empresa. Alguns desses itens serão contemplados apenas pela exigência do licenciamento, no entanto, outros não

*Raoni Ceci*

compulsórios poderão ser sugeridos como medidas de controle em diferentes níveis de exigência.

### 7.4.3 Identificação de Perigos

Após a identificação de perigos teve por objetivo identificar os possíveis eventos indesejáveis que podem levar à materialização de um perigo, para que possam ser definidas as hipóteses acidentais que poderão acarretar consequências significativas, seguiremos apresentando as medidas que deverão ser adotadas para o perfeito gerenciamento dos riscos ambientais.

### 7.4.4 Medidas de Prevenção de Risco Aplicadas ao Colaborador

O PARQUE EÓLICO OFFSHORE CAUCAIA será caracterizado por risco físico e de acidente devido a proporção dos equipamentos moveis – geração eólica. Apesar do nível de automação destinada a diagnóstico e detecção de falha o elemento humano ainda é o foco dos procedimentos. Por exemplo, os riscos em redes elétricas são, por essência, relacionados às atividades laborais de colaboradores envolvidos em manobras. Logo tais atividades requerem pessoas tecnicamente, fisicamente e psicologicamente bem preparadas, principalmente em intervenções realizadas com a rede energizada. Logo trabalhar o elemento humano em todos os níveis hierárquicos é fundamental para minimizar a possibilidade de incidentes que resultem em acidentes com fatalidades e lesões, reduzindo custos e aumentando a produtividade.

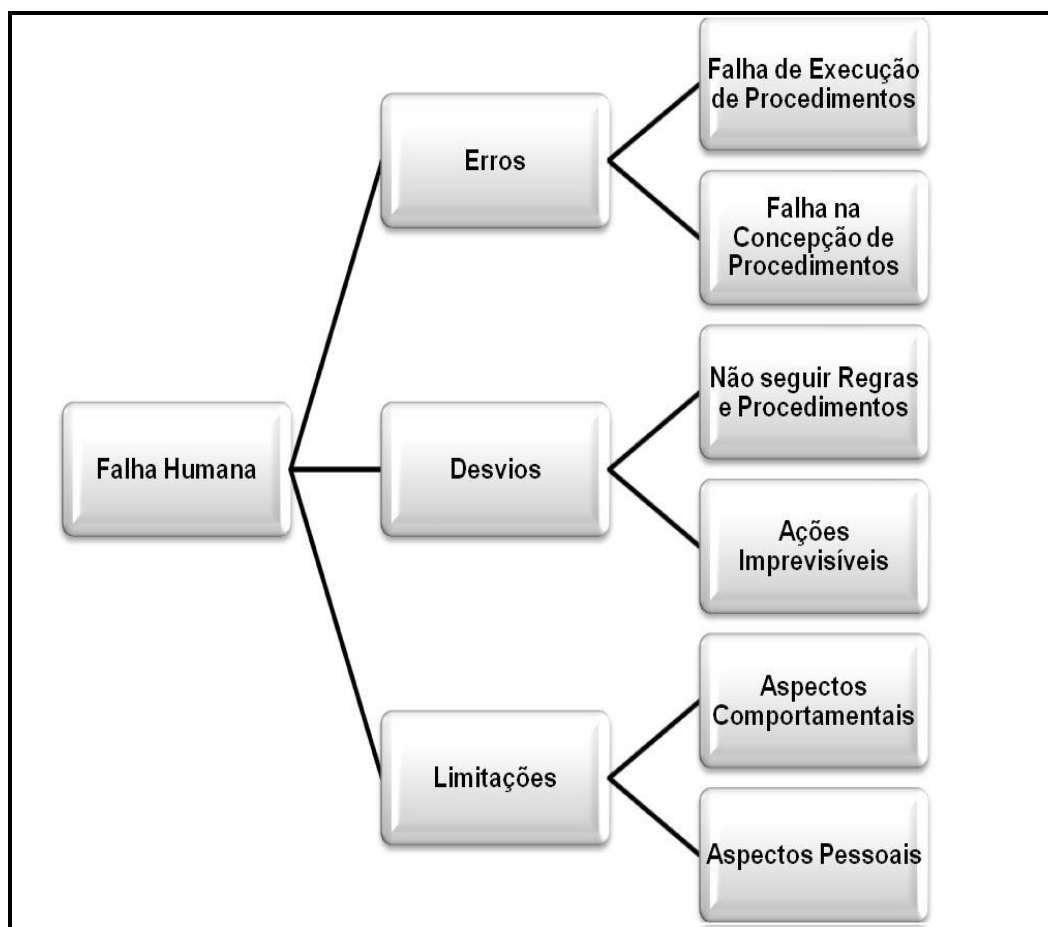
A falha humana é uma definição mais ampla, que envolve erros, desvios e limitações humanas, como observado na Figura 7.4.1. As principais limitações humanas estão relacionadas à memória, à percepção, à concentração e ao raciocínio lógico.

Investir em treinamentos e capacitação objetivando internalizar a cultura do SSO é uma importante arma contra incidentes por erro humano, mas este investimento deve ser cuidadosamente direcionado. Em termos práticos, não é eficaz



e lógico cobrar disciplina “operacional” e investir em qualidade de pessoas que não vão operar sistemas tecnológicos, máquinas e equipamentos obsoletos e inseguros. Da mesma forma, não seria prudente disponibilizar alta tecnologia para empregados não qualificados, dispostos ou pressionados a quebrar procedimentos. Portanto é necessário investir em treinamentos de conhecimentos comuns ou específicos que favoreçam a segurança geral para os colaboradores de acordo com sua função.

**Figura 7.4.4.1 – Falha Humana**



Desta forma, algumas medidas não compulsórias de gerenciamento de risco voltadas para o colaborador serão sugeridas:

- ✓ Campanhas educativas periódicas de SMS;
- ✓ Bonificação por conduta de segurança;

*Raoni Ceci*

- ✓ DDSMS – Diálogo Diário de Segurança, Meio Ambiente e Saúde;
- ✓ Reciclagem específica técnica e operacional em equipamentos e processos;
- ✓ Campanhas educativas para conscientização do uso de correto de Equipamentos de Proteção Individual, tal como protetores solares com Certificado de Aprovação, óculos de proteção, entre muitos necessários.

O último item está relacionado às atividades em regiões de alta incidência solar. Haja vista que o risco apesar de baixo os efeitos da irradiação não ionizante para pele e olhos são acumulativos.

#### 7.4.4.1 Treinamento

Os treinamentos devem abranger todas as áreas de atuação do empreendimento que vão desde os específicos para cada área de atuação, contemplando possíveis mudanças de função até os que enfatizam a segurança do trabalho e que englobem as obrigações legais envolvendo órgãos como o Ministério do Trabalho. A Figura 7.4.4.1.1, apresenta um diagrama que servirá de sugestão para implantação.

Nesta fase do desenvolvimento do projeto, os treinamentos são essencialmente voltados para formação de mão de obra específica da área de atuação do empreendimento. Ao passo que a operação dá prosseguimento, haverá necessidades específicas.

No entanto, alguns treinamentos se fazem necessários desde a implantação das Usinas Eólica e Fotovoltaicas:

- ✓ Treinamento contra incêndio;
- ✓ Treinamento de primeiros socorros;
- ✓ Treinamento para remoção de produtos químicos;
- ✓ Educação ambiental;
- ✓ Treinamento para trabalhos em espaço confinado de acordo com a NR-33;



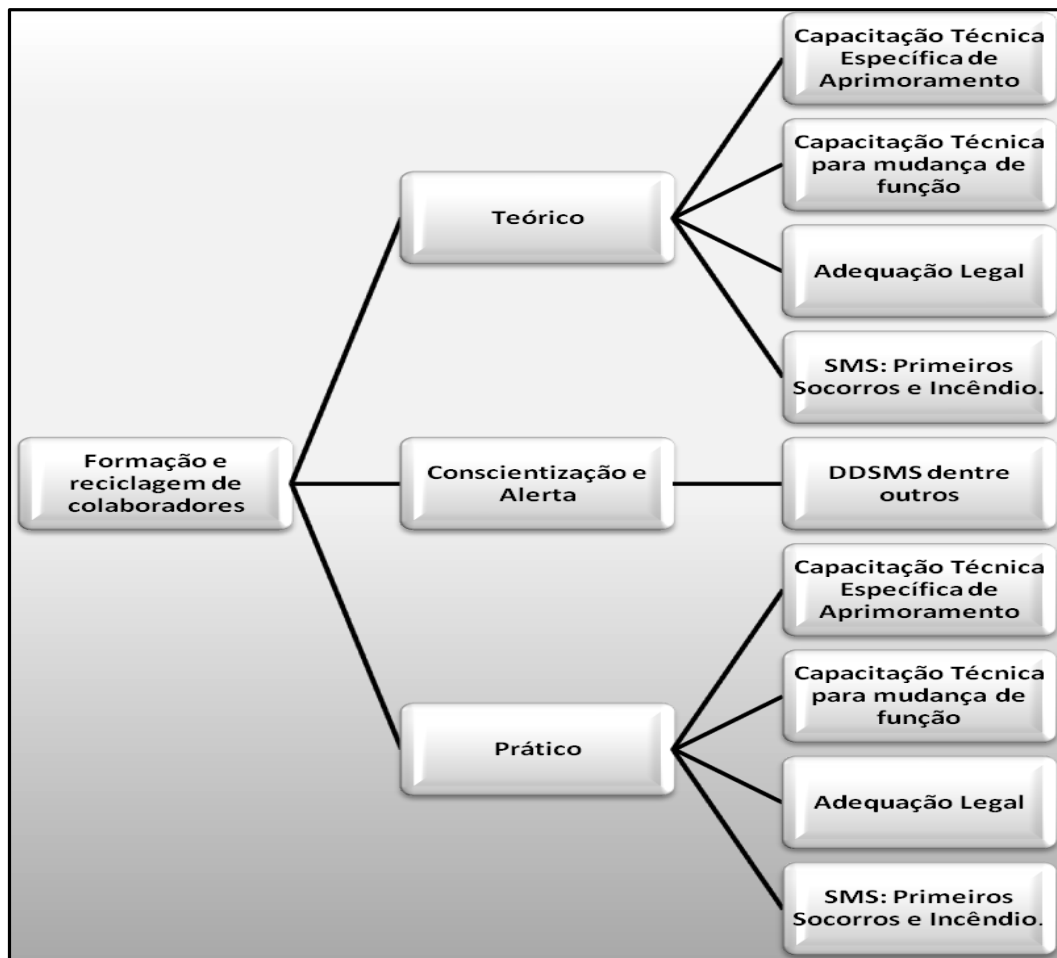


- ✓ Treinamento para trabalhos em altura de acordo com a NR-35;
- ✓ Treinamento para serviços com eletricidade de acordo com a NR-10.

O último item mencionado é exigido devido às características do empreendimento em questão. As manutenções periódicas, ou não, inevitavelmente estarão associadas a sistemas elétricos de alta tensão.

Encontra-se em anexo deste PGR a Norma Regulamentadora (NR) Nº 10, Anexo II, na qual está formalizado o conteúdo detalhado do curso exigido pelo Ministério do Trabalho. No entanto, a capacitação nesta área não deve se restringir apenas a obrigações legais, devendo ser pauta de todas as ferramentas de conscientização de segurança do trabalho tal como DDSMS, dentre outras que serão adotadas.

**Figura 7.4.4.1.1 – Fluxograma de Treinamento Sugerido**



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

*Raoni Ceci*

#### 7.4.4.2 Comunicação

O projeto preliminar da usina eólica OFF-SHORE, será composto por um total de 59 aerogeradores organizados da seguinte forma:

##### **Área Offshore:**

- 47 aerogeradores, construídos em mar aberto, com potência de até 12 MW, para uma potência total entre 277 e 576 MW.

Especificamente, para a Análise e Gerenciamento de Riscos Ambientais descritos abaixo foram considerados os tipos de turbinas cujas características dimensionais são as máximas possíveis e que poderiam gerar os maiores impactos ambientais. Assim, o modelo de turbina escolhido para a planta proposta tem as seguintes características:

- ✓ Potência unitária: entre 6 - 12 MW;
- ✓ Diâmetro: entre 150 - 220 M;
- ✓ Altura do Hub: entre 100 - 150 M.

##### **Molhes:**

- 11 aerogeradores construídos na costa, sobre os quebra-mares, com uma potência nominal entre 2 - 3.3 MW, agrupadas em 2 sub-campos compostos respectivamente por 5 e 6 turbinas eólicas para uma potência total de pelo menos 22 MW, cujas características estão incluídas na seguinte gama de valores característicos para turbinas:

Diâmetro: entre 90 – 110 M;

Altura do Hub: entre 95 - 105 M.

A usina deverá ser conectada à rede elétrica nacional (administrada pela Aneel). A construção de uma rede elétrica é, portanto, necessária para conectar os aerogeradores entre si, pertencentes a cada subcampo, e à estação elétrica. Para a conexão, uma estação elétrica de 35/230 kV está prevista para ser construída em uma plataforma marítima, destinada a coletar a energia produzida pela usina eólica.

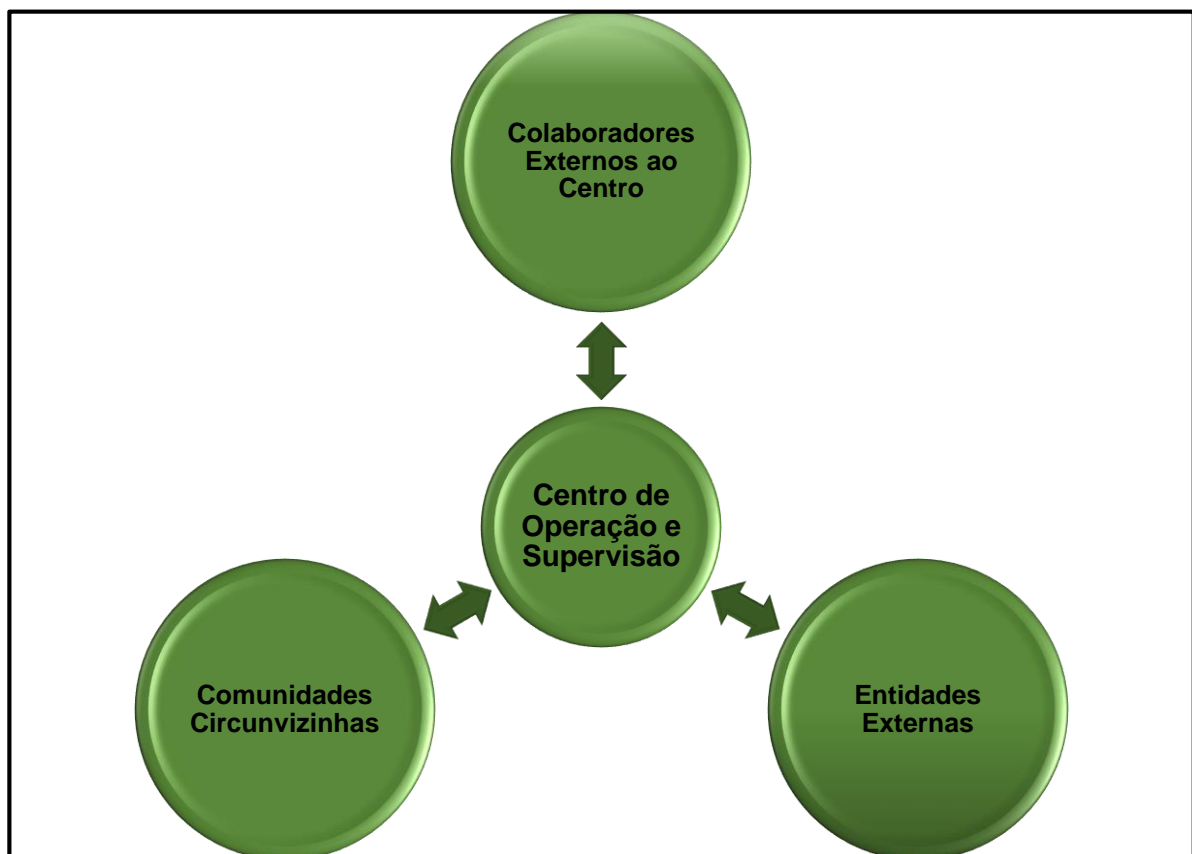
A partir da estação localizada em mar é prevista uma conexão, em parte marinha e em parte terrestre, até a estação de coleta a partir de uma conexão de 230

kV, necessária para transportar a energia produzida pela estação elétrica para uma estação 230 kV existente em Pecém, que permite a injeção da energia produzida na rede de transmissão, cujo ponto de conexão será a estação de Pecém II .

Assim, a comunicação nas ações de manutenção e reparo, momento que haverá menor efetivo no empreendimento, deve ser formalizada e treinada exaustivamente. As comunicações deverão existir entre indivíduos em atividades com possibilidade de comunicação com agentes externos (hospitais, corpo de bombeiros, policias rodoviárias estaduais e federais e etc.). Caso haja empreendimentos circunvizinhos sugerir-se a integralização da comunicação entres todos.

A Figura 7.4.4.2 apresenta uma sugestão de implementação da logística de comunicação.

**Figura 7.4.4.2 – Digrama Demonstrativo do Sistema de Comunicação.**



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

#### 7.4.4.3. Medidas de Prevenção de Risco

O PARQUE EÓLICO OFFSHORE CAUCAIA será gerenciado através de um Centro de Operação e Supervisão no qual os operadores terão acesso em tempo real a todos os aerogeradores, sendo capazes de realizar o controle e o diagnóstico preciso da cada aerogerador independentemente. A automação de controle tem duas consequências vantajosas para a segurança, uma é a antecipação de uma situação de risco em caso de falha e a segunda é o tempo de resposta em caso de acidente.

Uma ferramenta eficaz no combate aos acidentes envolvendo equipamento é a manutenção, que não deve atender unicamente ao propósito da produção, mas também a segurança do operário e das Usinas como um todo. Equipamentos nos quais estão envolvidos com o Sistema Elétrico de Potência (SEP) e os sistemas de içamento de cargas pesadas, e principalmente os sistemas de segurança, tal como o Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA), deve manter sua confiabilidade em níveis máximos.

O sistema de controle de orientação do ângulo das pás possibilita a variação da rotação do rotor, nos casos em que a velocidade do vento atinja valores acima do limite de operação, o sistema de orientação dos ângulos das pás atua como o sistema de frenagem principal “embandeirando” as pás. O bloqueio do rotor é realizado por um sistema hidráulico secundário. Os Módulos Fotovoltaicos são elementos estáticos e produção baixa carga logo, diferente do aerogerador, sua falha não representa risco grave ao conjunto em operação.

Em conjunto com os sistemas de frenagem, o sistema de orientação do rotor instalado entre a nacele e a torre, complementa os mecanismos de controle da velocidade do rotor. Este sistema é composto basicamente por um dispositivo de orientação comandado eletronicamente a partir da medição feita por um anemômetro instalado no aerogerador. O anemômetro identifica a direção média do vento e envia o sinal para um transdutor/controlador, que por sua vez aciona um mecanismo de rotação possibilitando o melhor aproveitamento da energia do vento, e prevenindo o equipamento contra picos de turbulência do vento.

Raoni Ceci

Desta forma algumas medidas não compulsórias de gerenciamento de risco voltadas para os equipamentos e infraestrutura serão sugeridas:

- ✓ Organização de acervo histórico de manutenção e falhas com critério de responsabilização de operador e mecânico, se possível com fotos;
- ✓ Vistorias periódicas, sendo os sistemas de segurança em períodos curtos;
- ✓ Arquivamento de documentação, tais como manuais, catálogos e fornecedores regionais, nacionais e internacionais;
- ✓ Formalização de *Check-List*, tanto para operação quanto para manutenção de equipamentos;
- ✓ Formalização de *Check-List* para os sistemas contra incêndio;
- ✓ Manter contanto com o fabricante de todos os componentes e equipamentos existentes no parque eólico;
- ✓ Realizar *upgrades* objetivando a implementação de sistemas de segurança e que aumentem a eficiência global;
- ✓ Revisão periódica dos cabos de força e dos aterramentos, principalmente do Sistema de Proteção contra Descargas Elétrica (SPDA);
- ✓ Nas vistorias de equipamentos elevados e em locais de difícil acesso sugere-se realização de estudo para aplicação de novas tecnologias com o uso de Drone para captação de imagens e vídeos. Salientando a necessidade de avaliar o uso do espaço aéreo, interferência na comunicação, zonas de aterrissagem e viabilidade econômica.

#### 7.4.5 Rotinas de Inspeção

Deverá ser realizado um cronograma de rotina de inspeção que envolva inspeções periódicas, efetuadas em intervalos regulares previamente programados, visando apontar riscos previstos como desgaste, fadiga, superesforços, exposição a determinada agressividade dos ambientes, tal como salinidade, ferramentas e instalações.



Além das rotinas de inspeções estabelecidas no cronograma, rotinas de inspeções especiais devem ser realizadas, ou seja, aquela inspeção que requer conhecimento específico, tais como: inspeções de pontos quentes nas linhas e instalações elétricas.

As inspeções seguem a seguinte tipologia:

**Inspeção Geral:** é a inspeção mais completa no sentido de amplitude; nesta inspeção, são verificadas todas as instalações na busca de condições iguais ou abaixo dos níveis determinados pelos órgãos públicos ou estipulados pela empresa se estes foram mais rigorosos.

**Inspeção Parcial ou por setor ou por equipamento:** esta limita-se a fim específico sendo ele um ambiente, um procedimento ou equipamento. Sua periodicidade varia de acordo com criticidade do objeto checado.

**Por grupo de risco:** restringe-se a um agente específico (físico, químico ou biológico) o qual um grupo de trabalhadores está exposto.

**Por risco específico:** restringe-se a avaliar um risco específico a qual os indivíduos estão expostos devido as características dos processos. Como por exemplo, o risco de eletrocução em manobras na rede e/ou o risco de queda nas atividades de manutenção nas estruturas elevadas da rede.

**Rotina:** realizada com alta periodicidade, diariamente de preferência ou por demanda de atividade, voltada a checagem um processo, sistema ou atividade a qual a menor falha se traduza em danos elevados e/ou a vida humana.

**Periódica:** realizadas para diversos fins, no entanto prevista em cronograma previamente definido a passivo de justificativa ou ação em caso de atrasos.

Raoni Ceci

**Eventual:** realizadas sem data específica tendo como objetivo verificar sistemas não críticos ou auditar áreas sem aviso prévio.

**Oficial:** inspeções realizadas por órgãos oficiais governamentais, a fim de apurar denúncias ou uma demanda em virtude de acidentes com repercussão ampla, por exemplo.

**Especial:** destinada a ponto específico sem data ou demanda podendo ser motivada em virtude de uma investigação de acidente, aquisição de equipamento, implantação de procedimento, dentre outros motivos relevantes e não rotineiros.

Os documentos gerados em virtude destas inspeções devem ser arquivados podendo ser utilizados como ponto de partida de melhorias, defesas jurídicas, embasamento para acionamento de garantias diversas, reclamações com fornecedores externos e investigação de acidentes, incidentes e desvios.

#### 7.4.6 Gerenciamento de Modificações

O gerenciamento e controle da manutenção de equipamentos é realizado prioritariamente nos sistemas de segurança. Porém, alterações realizadas na infraestrutura ao longo da vida útil da instalação, também são alvo de gerenciamento. Neste caso, devido ao distanciamento físico das instalações e da quantidade de unidades geradores, este gerenciamento deve ser ainda mais sistemático e rigoroso.

Modificação de arranjo de equipamentos, adequação a novas geometrias e tamanhos de pás, renovação de maquinário, troca de módulos, adaptação de sistemas e etc., esses são apenas alguns motivos de modificações na infraestrutura. Logo se faz necessário manter um arquivo em constante renovação das modificações realizadas, com fotos e em casos mais complexos vídeos, na qual podem ser anexadas a um setor de manutenção.



### 7.4.7 Auditoria

Implementar um processo de auditoria é fundamental para verificar a eficácia de qualquer sistema de gestão, tendo por princípio a avaliação sistêmica do programa de atividade e processos. Isto é, de forma a verificar suas conformidades com relação aos elementos de gestão estabelecidos pelos documentos de referência. Nas atividades industriais, tanto as auditorias técnicas com as de Segurança, Meio Ambiente e Saúde, são fundamentais para garantir a operação e o processo seguro.

Os resultados de auditorias colaboram para a eliminação gradativa das não conformidades e implementação de melhorias que poderão reduzir os riscos dos processos produtivos envolvidos. Assim será possível minimizar a probabilidade de ocorrências de falhas e desvios (frequência) e/ou reduzir o efeito (gravidade) dos acidentes, caso estes venham a acontecer. As grandes áreas a serem percorridas e o quadro funcional reduzido – característica da tecnologia – requerem que os procedimentos relacionados a acessos e comunicação sejam exaustivamente revistos tomando como base os resultados de auditorias em desvios e acidentes.

#### 7.4.7.1 Elementos Estruturais de Programa de Auditoria de Segurança Meio Ambiente e Saúde

A Auditoria é uma atividade independente e objetiva que avalia o empreendimento com o propósito de auxiliar a organização a alcançar seus objetivos através da aplicação de uma abordagem sistemática e disciplinada para avaliação e melhoria da eficácia dos processos de gerenciamento de riscos. No tocante ao gerenciamento de riscos, a atividade de auditoria interna deve avaliar e fazer recomendações apropriadas para a melhoria do processo e garantir o cumprimento das metas de segurança e bem estar estabelecidas no projeto. Abaixo é fornecida uma visão geral das atividades típicas de uma auditoria:

Raoni Ceci



**Início da Auditoria:**

- ✓ Selecionar a equipe auditora;
- ✓ Indicar o auditor líder;
- ✓ Definir objetivos, escopo e critérios da auditoria;

**Análise Crítica de Documentos:**

- ✓ Escolher os documentos aplicáveis ao escopo da auditoria;
- ✓ Solicitar os documentos ao cliente auditado;
- ✓ Avaliar os documentos do manual de gestão, procedimentos, licenças, notificações e autuações do Ministério Público, acordo ou convenção coletiva de trabalho, registros de treinamento, permissão para trabalho, atas de reunião de análise crítica, entre outros.

**Preparar as atividades de auditoria:**

- ✓ Organizar o plano de auditoria;
- ✓ Designar o trabalho para a equipe de auditoria;
- ✓ Preparar documentos de trabalho.

**Conduzir as atividades de auditoria:**

- ✓ Realizar a reunião de abertura;
- ✓ Manter a comunicação durante a auditoria;
- ✓ Definir funções e responsabilidades da equipe de auditores;
- ✓ Coletar e verificar as informações fornecidas;
- ✓ Gerar constatações da auditoria;
- ✓ Organizar as não conformidades identificadas;
- ✓ Organizar as evidências da auditoria;

Raoni Ceci

- ✓ Elaborar um pré fechamento com a equipe de auditores;

### **Preparar, aprovar e distribuir o relatório da auditoria:**

- ✓ Preparar o relatório da auditoria;
- ✓ Aprovar e distribuir o relatório da auditoria.

### **Concluir a auditoria:**

- ✓ Preparar as conclusões da auditoria;
- ✓ Preparar o relatório da auditoria;
- ✓ Realizar a reunião de encerramento;
- ✓ Destacar pontos fortes e fracos da avaliação;

### **Conduzir a auditoria de acompanhamento:**

- ✓ Setor auditado elabora plano de ação para a correção das não conformidades;
- ✓ Receber o plano de ação para correção das não conformidades;
- ✓ Definir prazo para acompanhar o plano de ação.

O processo de avaliação de acidentes, incidentes e não conformidades resultará na implementação das ações corretivas e/ou preventivas a qual se aplicará ao setor/processo. A consistência do programa de Segurança e Saúde Ocupacional, citado anteriormente, está relacionada com a capacidade de se identificar as melhorias no sistema de gestão resultantes do processo de investigação e análise de acidentes.

O procedimento para avaliação de acidentes deve conter elementos que permitam às pessoas envolvidas no processo da investigação a identificação de fatos e dados. A coleta de dados continuará até que a comissão de acidentes esteja convencida da dinâmica do acidente.

*Raoni Ceci*

Os seguintes aspectos devem ser considerados nos procedimentos:

**Aspectos gerais:**

- ✓ Definição de responsabilidades e autoridade dos envolvidos no registro, investigação, implementação e monitoramento das ações corretivas e preventivas;
- ✓ Exigir que todos os acidentes, os incidentes e as não conformidades sejam registrados e investigados;
- ✓ Envolver todos os trabalhadores (incluindo terceirizados);
- ✓ Considerar os danos materiais envolvidos;
- ✓ Assegurar que nenhum trabalhador sofra retaliações por notificar acidente, incidente ou não conformidades;

**Ação imediata:**

- ✓ Estabelecer plano de ação para resultado da investigação de acidentes, incidentes e não conformidades. Os procedimentos devem incluir:
  - ✓ Definição do processo de notificação em formulário padrão;
  - ✓ Definir a escala de trabalho de investigação com relação ao dano potencial ou real;

**Registro:** Serão utilizados meios adequados para registrar as informações e resultados da investigação. A organização deve assegurar:

- ✓ Modelo padrão para registro dos acidentes, incidentes e não conformidades;
- ✓ Definição de onde os registros serão arquivados e quem serão os responsáveis.

**Investigação:** Definição da condução do processo de investigação e análise de acidentes considerando os seguintes aspectos:

- ✓ Objetivo do processo de investigação e análise dos acidentes;

*Raoni Ceci*

- ✓ Devem ser quantificadas as perdas materiais (incluindo valores financeiros) consideradas significativas para a organização;
- ✓ Necessidade de verificar se os riscos e controles estavam previstos nos estudos de risco;
- ✓ Avaliar porque os controles previstos nos estudos de risco não foram eficazes em evitar o acidente ou minimizar a gravidade da lesão;
- ✓ Quem e qual o nível da autoridade e qualificação das pessoas que conduzirão o processo de investigação;
- ✓ Identificação dos desvios organizacionais e comportamentais, falhas latentes e fatores potenciais de risco;
- ✓ Necessidade de ouvir o acidentado e testemunhas;
- ✓ Existência de recursos para realizar o processo de investigação, tais como: máquinas fotográficas, filmadoras e outras formas de guardar evidências;
- ✓ Preparativos para elaborar relatórios.

**Identificação de Ação Corretiva:** Medidas tomadas para eliminar as causas que possam levar a uma recorrência de acidentes, incidentes e não conformidades. Considerar que a implementação das medidas corretivas podem ser de curto ou longo prazo. Alguns exemplos de ações corretivas devem ser considerados nos procedimentos:

- ✓ Divulgar o resultado da investigação para os trabalhadores envolvidos;
- ✓ Realizar os estudos de risco e a necessidade de atualizá-los;
- ✓ Realizar eventuais mudanças nos procedimentos, resultantes de ação corretiva ou processos de identificação, análise e controle de risco;

Raoni Ceci

✓ Implementar novos controles para situações de risco ou modificar as existentes para minimizar a possibilidade de recorrência.

**Identificação de Ações Preventivas:** Alguns exemplos para identificação de ação preventiva devem ser considerados nos procedimentos:

✓ Uso de ferramentas de informação (registro da ocorrência, auditorias, estudos de risco, FISPQ, inspeções de segurança, sugestões dos trabalhadores, entre outros);

✓ Uso de ferramentas para solução de problemas que requeiram ações preventivas; identificação e implementação de ações preventivas, bem como controles para assegurar sua eficácia;

✓ Registro das mudanças nos procedimentos resultantes da implementação do plano de ação.

Acompanhamento de implementação das ações preventivas: as ações corretivas e preventivas devem ser permanentes e sua eficácia acompanhada. Quaisquer ações pendentes, ou que não tenham sido providenciadas serão reportadas à alta administração.

#### 7.4.8 Equipe Técnica

O presente Programa de Gerenciamento de Risco – PGR referente ao projeto de Implantação do **PARQUE EÓLICO OFFSHORE CAUCAIA**, situado no município de Caucaia, estado do Ceará, foi coordenado por Engenheiro de Segurança e equipe auxiliar.

*Raoni Ceci*

## 7.5 ANÁLISE HISTÓRICA DE ACIDENTES AMBIENTAIS

De acordo com a Lei nº 8.213 de 24 de julho de 1991, conforme contempla seu Art. 19 acidente de trabalho é o que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço da empresa ou pelo exercício do trabalho dos segurados referidos no inciso VII do Art. 11 desta lei, o qual é capaz de provocar lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte ou a perda, bem como a redução, permanente ou temporária, da capacidade para o trabalho.

Acidente ambiental é conceituado como evento não previsível, capaz de direta ou indiretamente, causar danos ao meio ambiente ou a saúde humana, como vazamento ou lançamento inadequado de substâncias (gases, líquidos ou sólidos) para a atmosfera, solo ou corpos d'água, incêndios florestais ou em instalações industriais.

Em construções de grande porte, como a instalação de um parque eólico offshore, acidentes podem ocorrer a qualquer momento, os mesmos vão desde o transporte de materiais e equipamentos para sua construção, problemas na própria instalação, durante a sua operação e manutenção, bem como durante o seu desmonte.

Por meio da análise histórica de acidentes que envolvem um determinado empreendimento ou processo, é possível orientar os cuidados devidos para as análises subsequentes, as quais devem englobar todas as possibilidades de falhas, de modo que também forneça, de forma clara, as tendências dos níveis de segurança, as fragilidades e os riscos inerentes dos processos. O Parque Eólico Offshore Caucaia, que fornece a geração de energia através dos ventos, coletou dados, os mais atualizados possíveis, dos riscos inerentes a esse tipo de geração de energia.

### 7.5.1 Análise Histórica da Geração Eólica

Para as análises históricas de acidentes na indústria de energia eólica, devem contemplar além dos detalhes técnicos, o desenvolvimento tecnológico e econômico em relação aos níveis de segurança. Evidenciando o fato deste setor estar sofrendo



um desenvolvimento acelerado nos últimos 40 anos em relação à aplicabilidade e a criação de novos mecanismos.

O *Caithness Windfarm Information Forum* – CWIF, afirma que os primeiros relatos envolvendo a indústria de energia eólica no mundo, com poucas exceções, anterior ao ano de 1977, são referentes a acidentes fatais.

O CWIF afirma que seus dados, em termos de número e frequência, são apenas uma “ponta do iceberg”, visto que em julho de 2019 a EnergyVoice e a Press and Journal declararam um total de 81 casos em que os trabalhadores foram feridos em parques eólicos do Reino Unido desde 2014, e que os dados da CWIF possui apenas 15 deles.

Ademais, pode ser encontrada na publicação de agosto de 2018 da Power Technology, onde são relatados 737 incidentes nos parques eólicos offshore do Reino Unido apenas no ano de 2016, em sua maioria, ocorrendo durante as operações. Observando-se que 44% das emergências médicas, estavam relacionadas a turbinas. Comparando com os dados do CWIF, apenas 4 incidentes offshore no Reino Unido estão listados, o equivalente a apenas 0,5% do valor real.

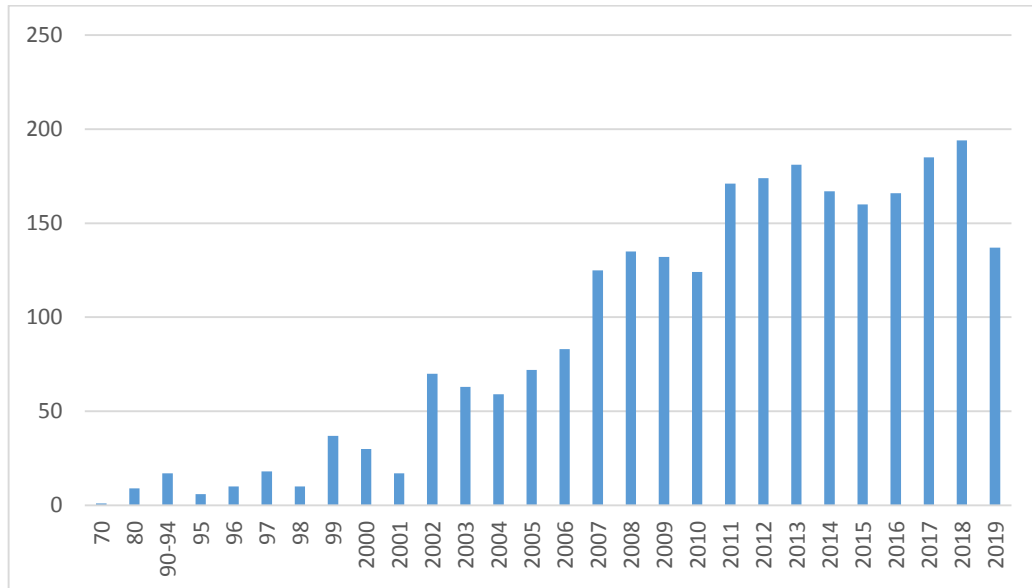
Entretanto, esses dados se comportam como uma excelente seção transversal em relação aos tipos de acidentes que podem ocorrer, bem como suas consequências.

Os gráficos 7.5.1.1 e 7.5.1.2 apresentam o número de acidentes mundiais por ano, bem como os acidentes mundiais fatais, respectivamente. Pode-se observar o aumento absoluto da quantidade de acidentes, sendo eles, acidentes e acidentes fatais, na indústria eólica da década de 70 até o ano de 2019. No entanto, isto não demonstra que o nível de segurança diminuiu, visto que houve o aumento da energia gerada por este tipo de indústria, apenas por parques eólicos em terra firme, entre os anos de 2008 a 2018 foi superior a 570%. Contudo, a quantidade de Homens Horas Trabalhadas e Horas Máquinas Trabalhadas aumentaram significativamente, conseqüentemente, houve o aumento da exposição aos riscos das atividades necessárias a fabricação, montagem, operação e manutenção. Logo, o que se deve levar em consideração é a relação entre o crescimento da indústria e a taxa de crescimento do número de acidentes.



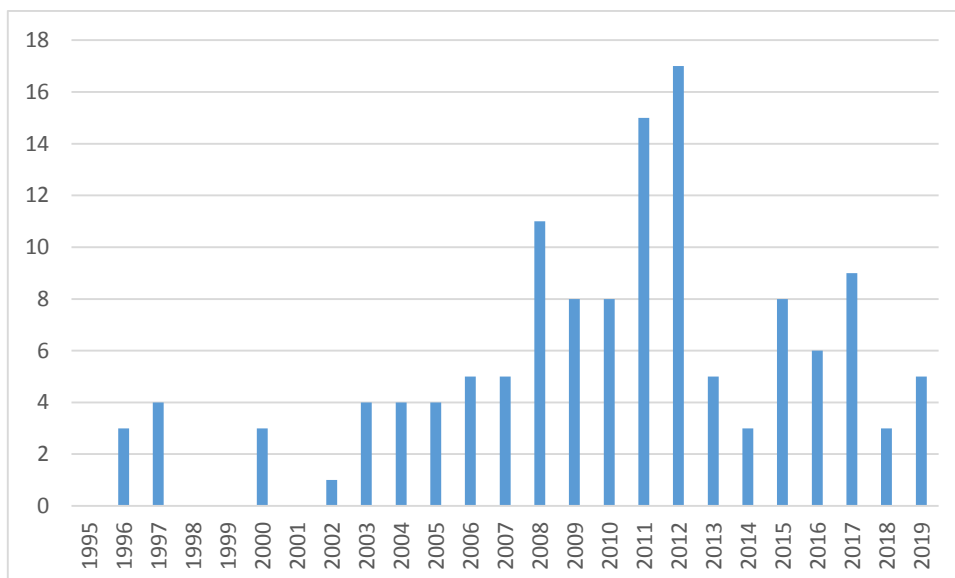
A tendência dos gráficos abaixo é que à medida que as turbinas são construídas mais acidentes irão ocorrer. Esse número de acidentes reflete uma média de 44 acidentes por ano, de 1999 a 2003, 94 acidentes por ano, de 2004 a 2008, 156 acidentes por ano, de 2009 a 2013 e 173 acidentes por anos de 2014 a 2018.

**Gráfico 7.5.1.1 – Acidentes na Indústria Eólica mundial por ano**



Fonte: Adaptado de CWIF, 2019.

**Gráfico 7.5.1.2 – Número de acidentes fatais por ano**



Fonte: Adaptado de CWIF, 2019.



Os quadros 7.5.1.1 e 7.5.1.2, contemplam os acidentes dos anos de 1975 a 2018, contendo as relações dos acidentes com os quais houve algum dano a seres humanos seja ele com ou sem perda de vidas. Bem como, permitiram a elaboração do gráfico 7.5.1.3, observando que os maiores índices se encontram referente aos acidentes sem perda de vida e aos trabalhadores que estão diretamente ligados a indústria de energia eólica.

**Quadro 7.5.1.1 – Acidentes envolvendo danos a vida humana com perdas de vida de 1975 a 2018**

<b>Acidentes com Perda de Vidas Humanas</b>	
Fatalidades em virtude de acidentes envolvendo trabalhadores diretamente ligados a indústria de Energia Eólica.	123
Fatalidades em virtude de acidentes envolvendo trabalhadores indiretamente ligados a indústria de Energia Eólica e público em geral	64

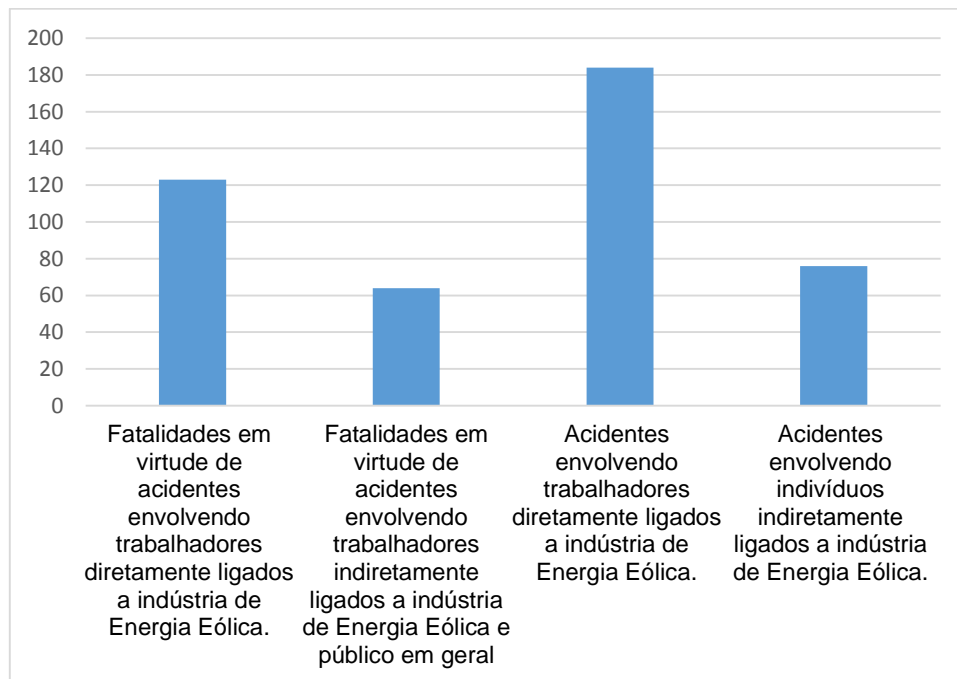
Fonte: CWIF, 2019.

**Quadro 7.5.1.2– Acidentes envolvendo danos a vida humana sem perdas de vida de 1975 a 2018**

<b>Acidentes com Ferimentos e sem Perda de Vidas Humanas</b>	
Acidentes envolvendo trabalhadores diretamente ligados a indústria de Energia Eólica.	184
Acidentes envolvendo indivíduos indiretamente ligados a indústria de Energia Eólica.	76

Fonte: CWIF, 2019.

**Gráfico 7.5.1.3 – Número de acidentes com e sem perda de vida de 1975 a 2018**



Fonte: CWIF, 2019.

Por meio da tabela do CWIF, pode-se analisar, de forma resumida, o número de acidentes ocorridos por ano, com a obtenção de um total de 2559 acidentes verificados até setembro de 2019, sendo 148 o número de acidentes fatais (Quadro 7.5.1.3 e 7.5.1.4)

### Quadro 7.5.1.3 – Número de acidentes por ano

ANO	Nº DE ACIDENTES
70	1
80	9
90-94	17
95	6
96	10
97	18
98	10
99	37
2000	30
2001	17
2002	70
2003	63
2004	59
2005	72
2006	83
2007	125
2008	135
2009	132
2010	124
2011	171
2012	174
2013	181
2014	167
2015	160
2016	166
2017	185
2018	194
2019	137

Fonte: Adaptado de CWIF, 2019.

Raoni Ceci

#### Quadro 7.5.1.4 – Número de acidentes fatais por ano

ANO	Nº DE ACIDENTES
1995	0
1996	3
1997	4
1998	0
1999	0
2000	3
2001	0
2002	1
2003	4
2004	4
2005	4
2006	5
2007	5
2008	11
2009	8
2010	8
2011	15
2012	17
2013	5
2014	3
2015	8
2016	6
2017	9
2018	3
2019	5

Fonte: Adaptado de CWIF, 2019.

Os dados obtidos no quadro 7.5.1.5, permitiram a confecção do gráfico 7.5.1.3, o qual expõe os motivos que ocasionaram os acidentes nos parques eólicos existentes no mundo, nos últimos 8 anos, de 2012 a setembro 2019, representando um total de 56 acidentes fatais, nesse período.

**Quadro 7.5.1.5 - Tipo e quantidade de acidentes envolvendo a indústria de geração de energia eólica**

Acidentes de 2012 a 2019	
Lesão Humana	76
Saúde Humana	163
Falha na Lâmina	200
Fogo	189
Falha Estrutural	89
Lance de Gelo	12
Transporte	126
Danos Ambientais	155
Outros	298

**Fonte:** Adaptado de CWIF, 2019.

Dentre os acidentes abordados no gráfico 7.5.1.4, o que se destaca é o tipo diversos (outros), representando 23%, que engloba falha mecânica ou de componente, bem como falta de manutenção, falha elétrica, acidentes de suporte de construção e construção, além de relâmpagos quando não resulta em danos ou incêndio na lâmina. Em segundo lugar, falha na lâmina, com 15%, podendo ser proveniente de várias fontes possíveis, que resulta em pás inteiras ou pedaços de lâmina sendo laçados da turbina. Outro número que chama atenção é em relação ao acidente relacionado ao fogo, representando 14%, evidenciando que alguns tipos de

*Raoni Ceci*

turbinas parecem mais propensas ao fogo do que outras. Os danos ambientais, compreende 12%, englobando danos ao próprio local ou danos e/ou morte de animais selvagens. Pesquisas apontam que somente no parque eólico Altamont Pass, 2400 Águias Douradas protegidas foram mortas em 20 anos e cerca de 10.000 aves de rapina protegidas foram encontradas mortas, por turbinas eólicas, enquanto que na Austrália, 22 Águias da Tasmânia ameaçadas de extinção foram mortas por um único parque eólico Woolnorth. Outro acidente, também com 12%, é em relação a saúde humana, devido a incidentes com turbinas eólicas. Acidentes de transporte, que corresponde a 10%, envolvem, em sua maioria, seções de turbinas que caem ao serem transportadas, seja em terra ou em mar. O acidente de transporte é o maior causador de mortes e feridos. Com um percentual de 7%, se enquadra o acidente por falha estrutural, é a terceira causa de acidente mais comum, esse tipo de falha é a principal do componente sob condições que os componentes devem ser projetados para suportar. Esse tipo de acidente diz respeito, principalmente, a danos causados por tempestades em turbinas e colapso de torres, entretanto, baixa qualidade de controle, falta de manutenção e falha de componentes também podem ser responsáveis. Lesão humana, apresenta-se com 6%. Por último o lance de gelo, com 1%.

De acordo com os estudos da CWIF, a falha da lâmina é o acidente mais comum em turbinas eólicas, seguida por acidentes relacionados ao fogo. Estudos da GCube, uma das maiores fornecedoras de seguros para o setor de energia renovável, relatou que o tipo mais comum de acidente de fato é a falha de lâmina, em que as duas causas mais comuns são incêndio e manutenção deficiente.

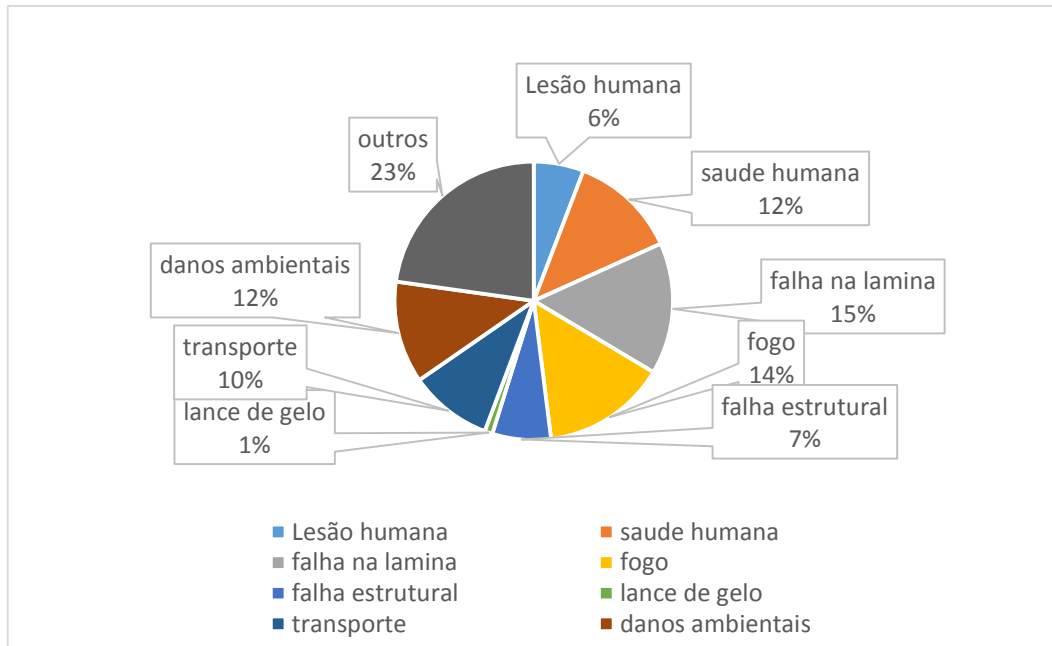
Os acidentes referentes ao fogo, em sua grande maioria, estão vinculados ao segmento elétrico, o qual pode acarretar consequências irreversíveis tanto financeiras quanto para a reputação da empresa. Dados do relatório de uma empresa especialista em seguros voltada para o setor de energia eólica em todo o mundo, afirmou que há uma média de 50 incêndios de turbinas eólicas por ano (CWIF apud GCUBE INSURANCE, 2019).

Em relação ao Brasil, os dados da CWIF apresentam uma compilação de 10 acidentes ocorridos no território nacional, do ano de 2008 a dezembro de 2017. Sendo



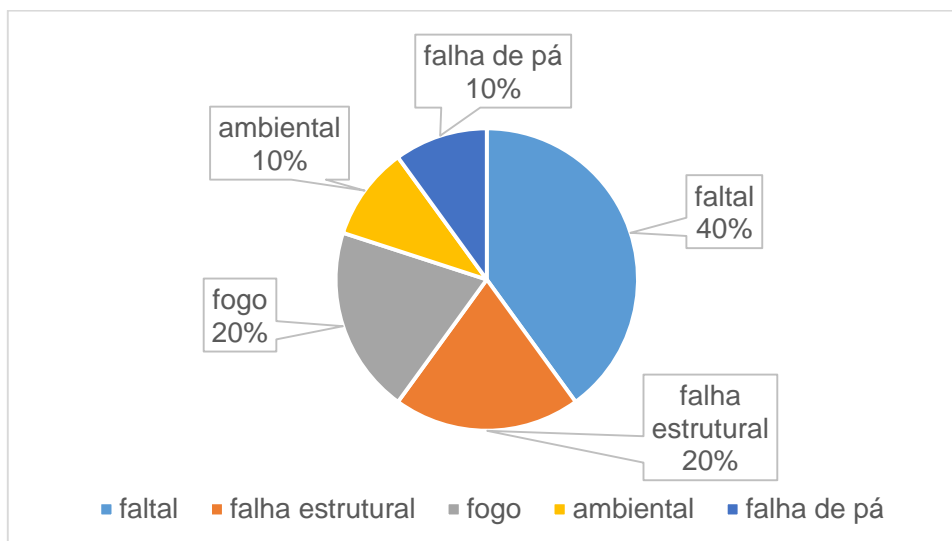
estes, 4 resultantes em fatalidades, 2 de falhas estruturais, 2 outros, 1 ambiental e 1 falha na pá (Gráfico 7.5.1.5).

**Gráfico 7.5.1.4 - Tipos de acidentes em parques eólicos ocorridos de 2012 a setembro de 2019**



Fonte: Adaptado de CWIF, 2019.

**Gráfico 7.5.1.5 - Tipos de acidentes em parques eólicos brasileiros de 2008 a 2017**



Fonte: Adaptado de CWIF, 2019.

*Raoni Ceci*

### 7.5.1.1 Parametrização Dos Dados

Os valores absolutos dos acidentes ocorridos apontam para um aumento no nível de insegurança da indústria de geração de energia eólica. Entretanto, é necessário comparar o desenvolvimento da segurança juntamente com o crescimento do setor. Motivado por duas razões: a busca pela similaridade entre empreendimentos ao redor do mundo e contemplar uma evolução atípica deste setor nos últimos 44 anos. Assim, os resultados levantados, foram parametrizados através dos valores da evolução do setor e das características técnicas das turbinas.

Uma vez que a probabilidade do acontecimento de um acidente aumenta com a exposição aos riscos inerentes de cada atividade, e este número aumenta com a quantidade de empreendimentos operacionais e/ou com o aumento das capacidades instaladas, a parametrização dos acidentes contemplou esses valores objetivando comparar a expansão do setor frente aos números de acidentes.

A consideração dos números absolutos de acidentes independente da aplicação da tecnologia não indica, por si só, a tendência dos níveis de segurança destes empreendimentos, ou seja, se a quantidade de acidentes cresce proporcionalmente mais do que o número de parques eólicos instalados algo deve ser feito em prol da segurança. Bem como, se a quantidade de acidentes diminuir proporcionalmente com o aumento do número de parques operando, tem-se uma indicação de que a aplicação da tecnologia se tornou mais segura com os avanços tecnológicos.

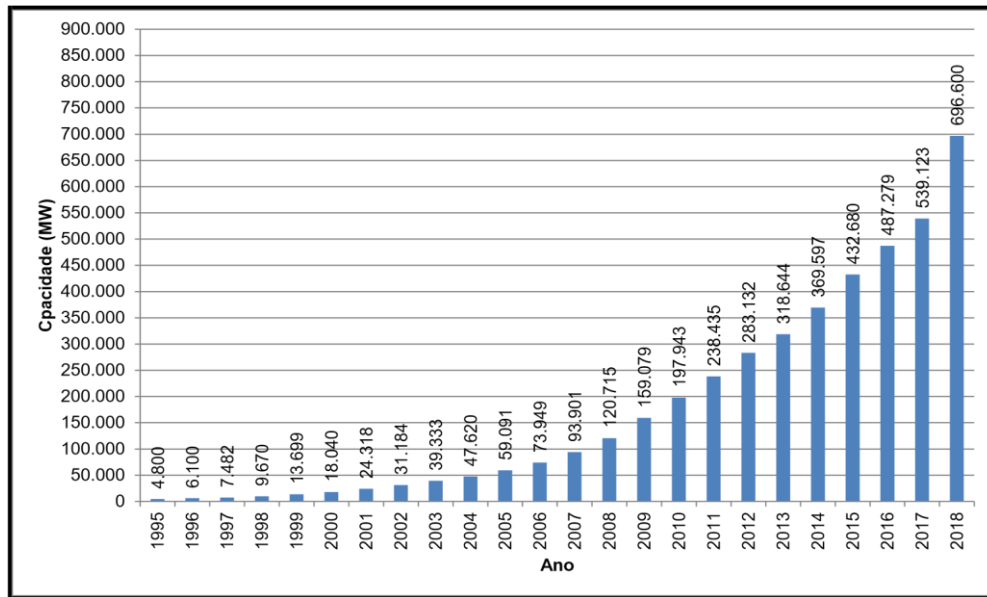
O número de parques eólicos no mundo fornece com clareza a dimensão desta indústria. De acordo com a *The Wind Power – Wind turbines and wind farms Database* até o ano de 2018, operavam 28.979 parques eólicos em terra firme em todo o mundo, fornecendo 696,2 GW de energia.

Abaixo, no Gráfico 7.5.1.1.1, é mostrado o desenvolvimento da capacidade instalada do ano de 1995 a 2018.





**Gráfico 7.5.1.1.1 – Evolução da Capacidade Instalada de 1995 a 2018**



Fonte: CWIF, 2019.

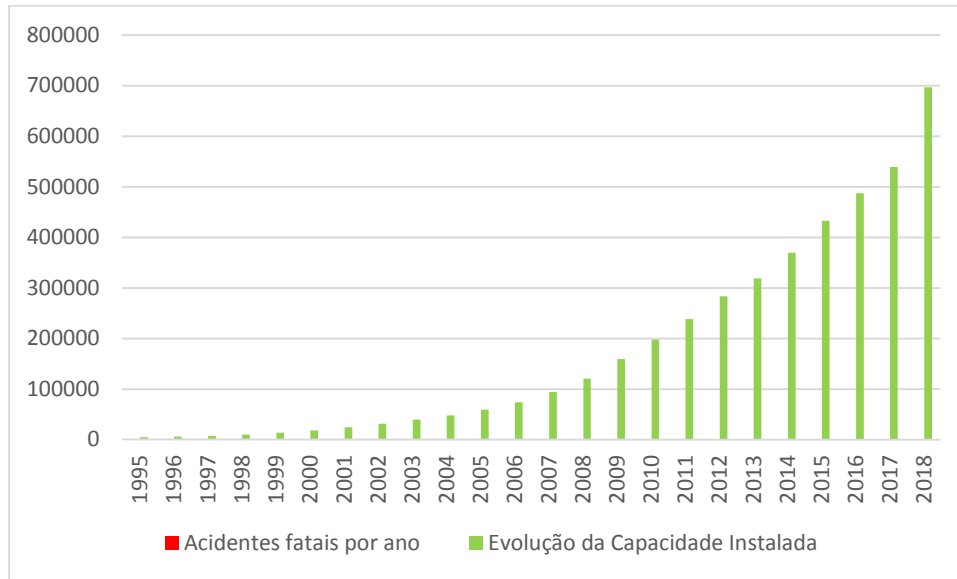
A parametrização correta dos dados deve ser realizada mediante as relações confiáveis existentes entre eles. Para este caso específico, temos:

- Número de acidentes por ano, Gráfico 7.5.1.1.
- Número de acidentes fatais por ano, Gráfico 7.5.1.2.
- Número de acidentes por tipo, Gráfico 7.5.1.4.
- Capacidade instalada acumulada por ano, Gráfico 7.5.1.1.1.
- Número total de parques eólicos operando.

A distribuição em relação ao tempo de alguns dados fornece indicativos claros e objetivos dos níveis de segurança do empreendimento, como é o caso do número de acidentes e da capacidade instalada acumulada. Ao relacionar o Gráfico 7.5.1.1 com o da evolução da capacidade instalada, Gráfico 7.5.1.1.1, temos o Gráfico 7.5.1.1.2

*Raoni Ceci*

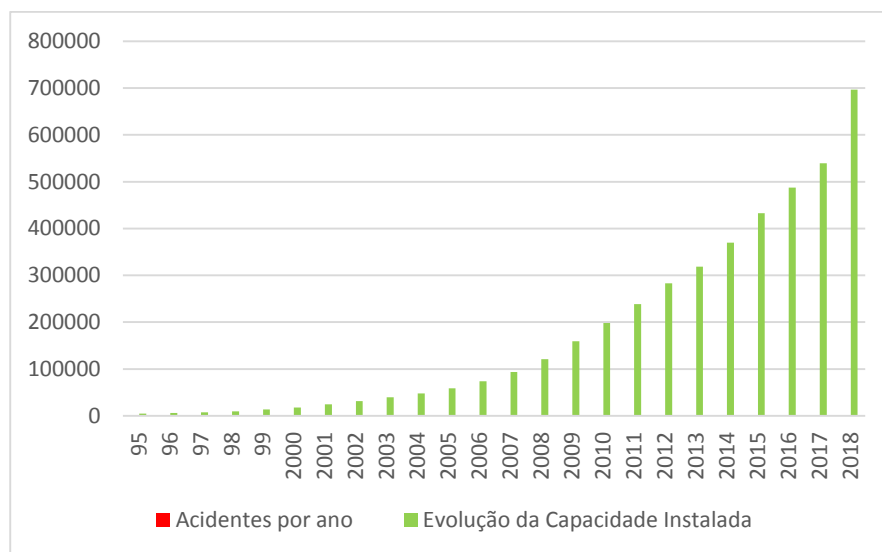
**Gráfico 7.5.1.1.2 - Frequência de acidentes pela capacidade instalada**



Fonte: Adaptado de CWIF, 2019.

A capacidade instalada em 2018 é 38 vezes maior que a capacidade do ano de 2000, no entanto é possível observar no Gráfico 7.5.1.1.2 que a frequência de acidentes diminui com o aumento da capacidade de geração mundial. O Gráfico 7.5.1.1.3 de frequência de acidentes fatais mostra a mesma tendência, sendo que até a última atualização dos dados foi constatado oficialmente 3 (três) mortes no ano de 2018.

**Gráfico 7.5.1.1.3 - Frequência de acidentes pela capacidade instalada**



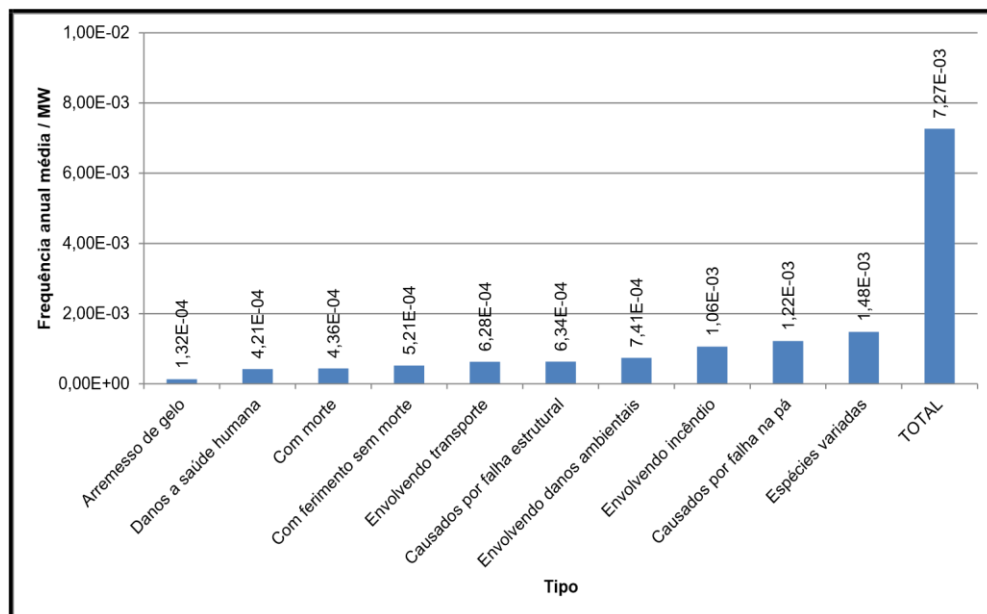
Fonte: Adaptado de CWIF, 2019.

Raoni Ceci

Logo já é evidente que a indústria da geração de energia eólica evolui sensivelmente em relação a segurança dos equipamentos, processos e procedimentos.

A parametrização em relação à capacidade de geração de energia elétrica será considerada a mais relevante e conclusiva para a avaliação deste trabalho, uma vez que o aumento da produção de energia de um parque impacta na quantidade de turbinas instaladas e/ou no aumento da potência destas turbinas. Este último implica em diversas mudanças estruturais e de procedimentos devido ao aumento das dimensões da máquina. A análise das pás, maior parte móvel, torna-se mais relevante visto que a magnitude do diâmetro está diretamente relacionada com a capacidade de captação de energia cinética dos ventos (Gráfico 7.5.1.1.4)

**Gráfico 7.5.1.1.4 – Frequência de acidentes por tipo, parametrizados pela capacidade de geração de energia elétrica no ramo, 696,2 gw**



Fonte: Adaptado de CARNEIRO, 2011

## 7.6 ESTIMATIVA DA FREQUÊNCIA DOS ACIDENTES

Para estudar a frequência dos acidentes, citados no item anterior, foram selecionados todos os cenários de acidentes fatais. Estes cenários, em resumo, estão representados no Quadro 7.6.1.

**Quadro 7.6.1 – Resumo dos cenários selecionados para análise quantitativa de risco (AQR)**

Causa	Perigo	Sistema
Erro de procedimento; Falha no sistema; Cargas estáticas; Descargas atmosféricas; Condições climáticas anormais e severas.	Queda de grandes alturas; Incêndio; Rompimento das pás; Arremesso de fragmentos.	Turbinas; Torre; Central Elétrica

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

### 7.6.1 Análise de Vulnerabilidade da Geração Eólica

Aerogeradores são máquinas de grande porte expostas ao ambiente em tempo integral, ou seja, estão à mercê das intempéries do ambiente a qual foram instaladas ao longo de toda sua vida útil. Visto que seu objetivo é extrair energia do fluxo natural do vento.

A avaliação da vulnerabilidade de um aerogerador em relação ao fluxo de ar deve ser realizada levando-se em consideração os valores médios das velocidades do vento e a variação dessas médias ao longo do tempo. Baixa é a variação da média anual, as quais são muito abaixo dos limites operacionais do equipamento. Logo, a excelente estabilidade atmosférica característica da Região Nordeste do Brasil torna remota a possibilidade de acidente causado por condições climáticas severas.

*Raoni Ceci*

Entre os acidentes mais frequentes, à falha nas pás e fogo, se destacam, sendo a pá o único elemento do conjunto mecânico capaz de arremessar fragmentos com massa e energia cinética suficiente para causar danos materiais e a vida humana. A condição de incêndio também tem como consequência o arremesso de fragmentos uma vez que os efeitos de radiação e a sobrepressão (caso houvesse explosão) não serão sentidos por pessoas mesmo na base da torre.

As variáveis envolvidas em um cenário de acidente envolvendo a pá são muitas e repercutem na carga estrutural sofrida pela pá e, no caso de desprendimento de partes, na trajetória do fragmento. Podemos citar algumas dessas variáveis, tais como: rotação da pá, ângulo da pá, velocidade do vento, direção do plano de rotação (possível direção do arremesso), tempo de operação do conjunto, condição de chuva, acúmulo de gelo (em locais propensos), dentre tantas outras. O levantamento histórico desses acidentes mostrou que a forma como tais eventos acontecem são essencialmente aleatórios.

Frente à impossibilidade de simular todas as situações nas quais possam arremessar fragmentos e precisar seus possíveis alcances, ver-se obrigado a assumir o único e pior acidente já ocorrido com relação a isto. Este fato ocorreu em 20/01/2006 na Noruega, na qual partes de uma pá foram encontradas a 1.300 m da torre, o acidente não causou prejuízos à vida humana nem tão pouco danos ao patrimônio de terceiros. O acidente foi causado pela falha da pá.

## **7.6.2 Avaliação Dos Risco Da Geração Eólica**

### **7.6.2.1 Levantamento Do Risco Social**

O Risco Social é representado pelo gráfico de frequência de  $n$  ou mais acidentes, o qual mostra a frequência por número de fatalidades, ou seja, com que frequência aconteceu 1 fatalidade, ou 2, ou 3 e assim por diante. Nos relatos detalhados fornecidos pela “*Caithness Windfarm Information Forum*” (CWIF) é discriminada a quantidade de vítimas em cada acidente ocorrido, logo, é possível extrair a frequência por número de fatalidades.

Raoni Ceci

Nos 44 anos de levantamento realizado, 187 pessoas morreram, em 140 acidentes, devido a atividades ligadas a indústria da geração de energia eólica. Nos quais envolveram atividades ligadas ao parque (montagem, desmontagem, manutenção, transporte e etc.) e o público não relacionado a estas atividades, mas que sem a existência dos aerogeradores esses últimos não teriam ocorrido.

Durante o período registrado, os casos se distribuíram em 124 acidentes envolvendo uma (1) morte; 7 acidentes envolvendo duas (2) mortes; 3 acidentes envolvendo três (3) mortes, 2 acidente envolvendo quatro (4) mortes, 3 acidentes envolvendo cinco (5) mortes e 1 acidente envolvendo mais de cinco (5) mortes, conforme Quadro 7.6.2.1.

**Quadro 7.6.2.1 – frequência de acidentes fatais parametrizada pelo número e parques em operação e pela capacidade mundial de geração de energia eólica**

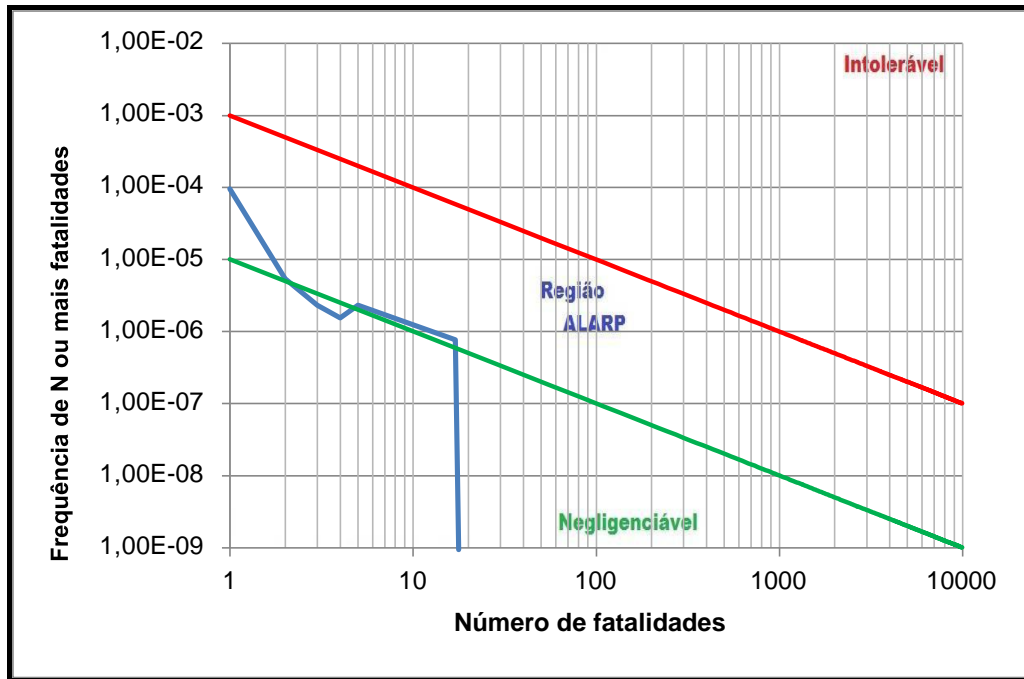
Número de Fatalidades	Quantidade de Acidentes	Frequência Parametrizada Pelo Número de Parques Eólicos	Frequência Parametrizada Pela Capacidade de Geração (MW)
1	124	9,509E-05/ano/parque	3,958E-06/ano/MW
2	7	5,368E-06/ano/parque	2,234E-07/ano/MW
3	3	2,301E-06/ano/parque	9,576E-08/ano/MW
4	2	1,534E-06/ano/parque	6,384E-08/ano/MW
5	3	2,301E-06/ano/parque	9,576E-08/ano/MW
Mais de 5	1	7,668E-07/ano/parque	3,192E-08/ano/MW

Fonte: Adaptada de CWIF, 2019.

Tomando como base o Quadro 7.6.2.1 foram construídos os Gráficos 7.6.21 e 7.6.2.2. As unidades geradoras são consideradas unidades autônomas e o levantamento do gráfico F-N de um parque como um todo nos fornece apenas um indicativo da aplicação da tecnologia que, como visto, não se encontra na região intolerável. Além disso, a variação da quantidade de aerogeradores por parque ao redor do mundo é muito dispersa. Logo, serão considerados conclusivos para avaliação dos riscos individuais dos dados parametrizados frente à capacidade de geração por uma unidade (turbina).

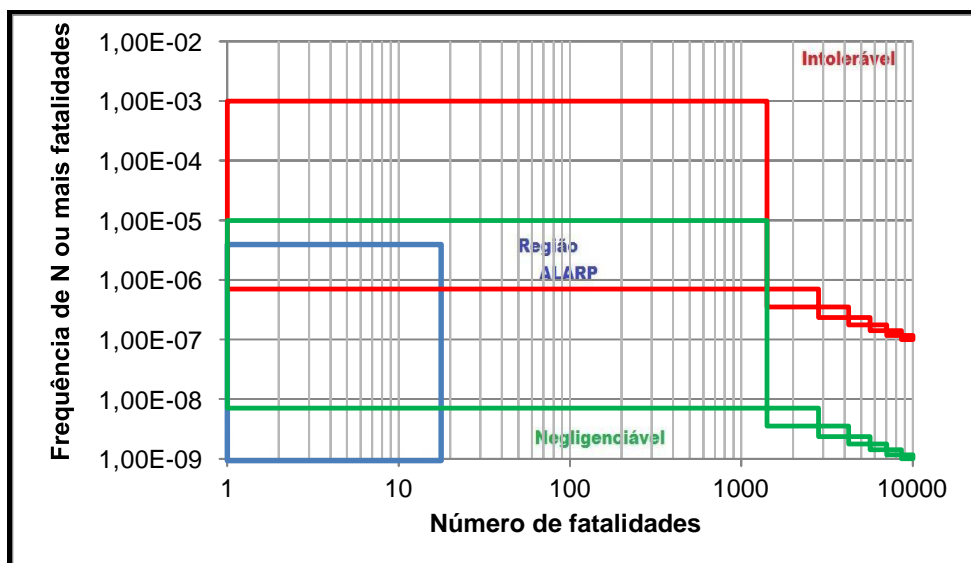
*Raoni Ceci*

**Gráfico 7.6.2.1 – Gráfico f-n típico para um parque eólico frente à situação de ocorrência de acidentes entre 1975 e 2018**



Fonte: Adaptado de CWIF, 2019.

**Gráfico 6.3 – Gráfico F-N típico para a geração de 1mw de energia eólica frente a situação de ocorrência de acidentes entre 1975 e 2018**



Fonte: Adaptado de CWIF, 2019.

Raoni Ceci

### 7.6.2.2 Análise do Risco Social para Indivíduos Ligados Direta e Indiretamente a Indústria da Energia Eólica

O levantamento das descrições detalhadas dos acidentes ocorridos desde 1975 possibilitaram avaliar o Risco Social de acidentes para indivíduos ligados direta e indiretamente a indústria da energia eólica.

O quadro 6.2.2.1 mostra o perfil dos acidentes ocorridos com indivíduos que possuem ligação direta com o transporte, a montagem, a manutenção, a operação e os demais processos envolvendo a indústria da energia eólica. Enquanto que o quadro 6.2.2.2, mostra o perfil para dos ocorridos com pessoas não ligadas ao ramo, ou seja, envolveram-se em acidentes com colisão de aeronaves ou automóveis e as torre eólicas, protestos contra a tecnologia e demais acidentes com pessoas dentro de parques eólicos. Os acidentes envolvendo colisões automobilísticas aconteceram em sua totalidade nos países europeus os quais é comum existirem parques eólicos próximos a rodovias.

**Quadro 6.2.2.1 – Frequência de acidentes fatais parametrizadas e capacidade mundial de geração de energia eólica de indivíduos, diretamente ligados a indústria da energia eólica.**

Número de Fatalidades	Quantidade de Acidentes	Frequência Parametrizada Pela Capacidade de Geração (MW)
1	97	3,096E-06/ano/MW
2	5	1,595E-07/ano/MW
3	2	6,384E-08/ano/MW
5	2	6,384E-08/ano/MW

**Fonte:** Adaptado de CWIF, 2019.



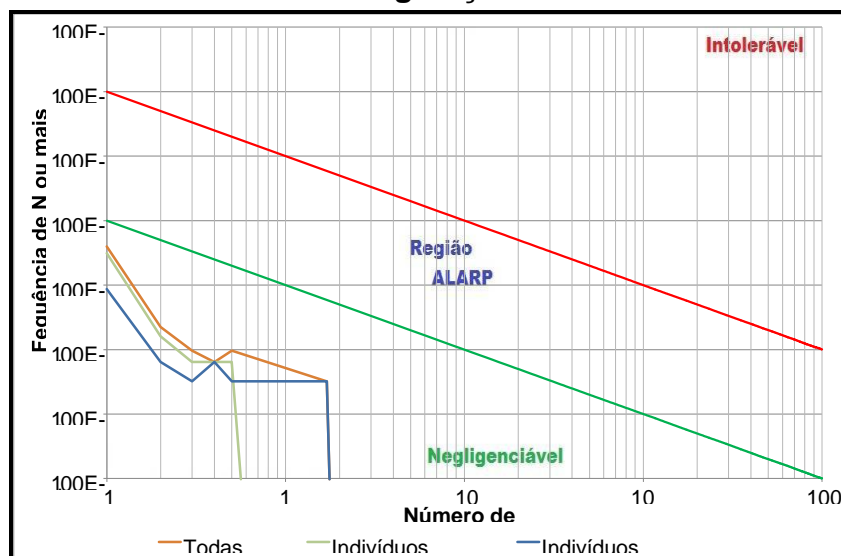
**Quadro 6.4 – Frequência de acidentes fatais parametrizadas capacidade mundial de geração de energia eólica de indivíduos, indiretamente ligados a indústria da energia eólica**

Número de Fatalidades	Quantidade de Acidentes	Frequência Parametrizada Pela Capacidade de Geração (MW)
1	27	8,618E-07/ano/MW
2	2	6,384E-08/ano/MW
3	1	3,192E-08/ano/MW
4	2	6,384E-08/ano/MW
5	1	3,192E-08/ano/MW
Mais de 5	1	3,192E-08/ano/MW

Fonte: Adaptado de CWIF, 2019.

O Gráfico 6.2.2.1 mostra o comparativo das ocorrências totais de acidentes em relação a diferenciação dos indivíduos ligados ou não ao setor. Nele é possível observar que os acidentes relacionados a pessoas não inseridas nos processos do setor em questão são mais baixos.

**Gráfico 6.2.2.1 – Comparativo de risco social entre todas as ocorrências e as ocorrências com indivíduos ligados direta e indiretamente a indústria da energia eólica entre 1975 e 31/12/2018 parametrizado pela capacidade mundial de geração**



Fonte: Adaptado de CWIF, 2019.

*Raoni Ceci*

### 7.6.2.3 Levantamento do Risco Individual

O Risco Individual está relacionado com a posição física dos indivíduos inseridos dentro da região de risco. No entanto o risco individual para este tipo de empreendimento está relacionado às unidades geradoras, no caso, o conjunto torre, pás e nacele.

A aleatoriedade das condições ambientais e das condições de operação da turbina implicam num grau elevado de incerteza em quantificar a frequência e a probabilidade de mortes em relação a distância do aerogerador. Relatos precisos afirmam que a maior distância na qual partes de uma aerogerador foi arremessada é de 1.300 m. Como mencionado anteriormente nenhuma dessas partes causou mortes ou ferimentos. A parametrização dos dados relacionados com o risco individual é proveniente de dois quesitos, o primeiro são as características geométricas do aerogerador, enquanto que o segundo são os acidentes que sofreram influência direta dessas dimensões. Desta forma se define a área de influência no entorno da turbina eólica.

As condições ambientais, principalmente ligadas às condições de vento, serão fator preponderante na influência da região física atingida pelos danos no caso de queda ou arremesso de fragmentos. Todavia, os relatos mostraram que numa distância maior do que a altura máxima do conjunto (altura da torre mais raio da pá) não houve mortes.

No Quadro 7.6.2.3.1 são apresentados os acidentes ocorridos até o ano de 2014 que possuem ligação direta com as dimensões do aerogerador.

Raoni Ceci

**Quadro 7.6.2.3.1 – Acidentes nos quais as dimensões do aerogerador são relevantes**

Cenário ocorrido	Quantidade	Fatalidades	Região
Fragmentos de qualquer natureza que possam cair da nacela	1	1	Equivalente as dimensões da nacela
Considerando a situação extrema de uma pá se desprender do cubo	2	2	Equivalente a dimensão do raio da pá
Considerando a situação extrema do rotor se desprender do conjunto	4	4	Equivalente a dimensão do diâmetro do rotor
Considerando a situação extrema do tombamento de todo o conjunto (turbina e torre)	4	4	Equivalente a dimensão da altura torre mais pá.

Fonte: Adaptado de CWIF, 2019.

**7.6.2.4 Zonas de Influência da Dimensão do Aerogerador**

As três situações avaliadas no Quadro 7.6.2.3.1 apontam para três áreas de risco para indivíduos presentes na circunvizinhança do gerador. Intuitivamente, quanto maiores forem as dimensões do conjunto tão maior será o alcance em casos de tombamento e/ou de queda de fragmentos.

A zona de influência para fragmentos desprendidos da nacela é, principalmente, a base da torre. Este possui as menores dimensões em relação ao conjunto e dependendo do volume específico e da forma do fragmento, associando-

*Raoni Ceci*

se à condição de vento, a região atingida pode ser consideravelmente maior. No entanto as variações das condições são tantas que o objetivo da parametrização é associar dimensões características.

Quanto aos acidentes que estão relacionados exclusivamente a desprendimento da pá, a maior região de influência é da ordem da dimensão da pá, ou seja, o raio do rotor.

Outro tipo de acidente relacionado diretamente com as dimensões do conjunto é o tombamento do conjunto completo, torre e turbina. Neste caso a maior área de influência será a altura total do aerogerador, quando uma das pás está alinhada com o eixo da torre.

As zonas mencionadas são ligadas as dimensões do aerogerador, ou seja, aos comprimentos característicos de um aerogerador, estas serão utilizados para parametrizar as zonas de risco para diferentes aerogeradores, logo, tais comprimentos característicos são:

- Maior dimensão da nacele.
- Raio do rotor.
- Altura máxima do conjunto.

Além das regiões discutidas anteriormente outra deve ser considerada a região na qual podem ser alvo de arremesso de partes com alta energia. Esta é maior do que a área suscetível ao tombamento do conjunto e pode abranger uma região com até 1.300 m de raio em relação ao aerogerador. A CWIF recomenda que se considere até 2.000 m. Quantificar de forma plausível a probabilidade de um arremesso desta proporção é impossível pela aleatoriedade e quantidade dos fatores envolvidos, como discutidos anteriormente.

Raoni Ceci