

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ENGENHARIA ELÉTRICA

ANNE CAROLINE WINTER
RAÍSA NOCETTI SEGALOVICH

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA EM USINAS EÓLICAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2018

ANNE CAROLINE WINTER
RAÍSA NOCETTI SEGALOVICH

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA EM USINAS EÓLICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Assade Leludak
Co-orientadora: Prof. Ma. Rosângela Winter

CURITIBA

2018

ANNE CAROLINE WINTER
RAÍSA NOCETTI SEGALOVICH

Análise das Condições de Segurança em Usinas Eólicas

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheira Eletricista do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 15 de junho de 2018.

Prof. Antonio Carlos Pinho, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemahlen Gehrke Castagna, Ma.
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Prof. Jorge Assade Leludak, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Profa. Rosângela Winter, Ma.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Co-Orientadora

BANCA EXAMINADORA

Carlos Henrique Karam Salata, Esp.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Jorge Assade Leludak, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

José da Silva Maia, Me.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Luiz Erley Schafranski, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Rosângela Winter, Ma.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

RESUMO

SEGALOVICH, Raísa Nocetti; WINTER, Anne Caroline. **Análise das condições de segurança em usinas eólicas**. 2018. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

Este trabalho apresenta uma análise das condições de segurança em parques eólicos. Com o recente crescimento desta forma de geração de energia no Brasil, a falta de experiência dos trabalhadores neste setor e os altos índices de acidentes de trabalho no País, verificou-se a necessidade da elaboração deste trabalho. Para tanto, caracterizou-se o projeto de um parque eólico, realizou-se um levantamento de dados referentes a acidentes ocorridos neste segmento por meio de um banco de dados internacional e realizou-se um direcionamento destes dados para o setor elétrico com o aprofundamento em acidentes relacionados a incêndios. Ratificou-se a escassez e a falta de compartilhamento de dados de acidentes neste ramo, porém de maneira ainda mais evidente no Brasil. Também, foram levantadas as principais causas do grande número de incêndios que atingem os sistemas de geração de energia eólica, bem como, foram estudadas as medidas de prevenção destes, focando na realidade brasileira. Por fim, elaborou-se um plano de melhorias visando a redução de acidentes e a melhoria do setor. Acredita-se que a elaboração de uma base de dados nacional possa contribuir mais profundamente na melhoria das condições de trabalho, saúde e segurança dos profissionais que atuam nos parques eólicos.

Palavras-chave: Parques eólicos; Segurança do trabalho; Acidente de trabalho; Incêndios; Plano de melhorias.

ABSTRACT

SEGALOVICH, Raísa Nocetti; WINTER, Anne Caroline. **Analysis of the safety conditions in wind power plants**. 2018. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

This work presents an analysis of the safety conditions in wind power plants. With the recent growth of this form of energy generation in Brazil, consequently the lack of experience of the workers in this sector and the high rates of accidents at work in the country, it was verified the need to elaborate this document. In order to do so, the project of a wind farm was characterized, data were collected on the accidents in this segment through an international database and also, this data was directed to the electrical sector with the deepening of fire-related accidents. The scarcity and lack of sharing of accident data in this branch in general has been confirmed, but still more evident in Brazil. Also, the main causes of the large number of fires affecting wind power generation system were raised, as well as their prevention focusing on the Brazilian reality. Finally, an improvement plan was made to reduce accidents and improve the sector in general. It is believed that the development of a national database can contribute more deeply to the improvement of working conditions, health and safety of professionals in this area.

Keywords: Wind Power Plants; Safety at work; Accident at work; Fire; Improvement plan.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Lista dos 10 países com as maiores capacidades acumuladas de energia eólica instalada.	13
Figura 2 - Matriz elétrica brasileira - maio 2017.	13
Figura 3 - Parque eólicos distribuídos pelo Brasil.	14
Figura 4 - Acidentes em turbinas eólicas entre 1996 e 2017.....	19
Figura 5 - Variação da velocidade do vento com a altura.....	23
Figura 6 – Gráfico velocidade x altura para diferentes classes de rugosidade.....	25
Figura 7 – Efeito de sombreamento de uma turbina eólica	25
Figura 8 – Fases do projeto elétrico de centrais eólicas.....	27
Figura 9 – Configuração de um sistema eólico isolado.	28
Figura 10 – Configuração de um sistema híbrido solar-eólico-diesel.	29
Figura 11 - Parque eólico <i>offshore</i> instalado no mar na Inglaterra.....	29
Figura 12 - Parque eólico conectado à rede – Parque Eólico Geribatu.....	30
Figura 13 - Componentes de uma turbina eólica.....	31
Figura 14 – Esquema geral de funcionamento de um aerogerador.	32
Figura 15 - Corte transversal Nacele – E - 115 / 3.000K.	33
Figura 16 - Curva de potência típica de um aerogerador com controle tipo <i>stall</i>	34
Figura 17 - Curva de potência típica de um aerogerador com controle tipo passo (<i>pitch</i>).	35
Figura 18 – Montagem de torre eólica - IMPSA.	35
Figura 19 – Pirâmide de Bird.....	54
Figura 20 - Incêndio após relâmpago atingir turbina eólica.	58
Figura 21 – Circuitos Ressonantes.	58
Figura 22 – Avaria elétrica com componente queimado.....	59
Figura 23 – Defeito no isolamento do transformador de média tensão	61
Figura 24 –Distribuição global de raios entre 2003 e 2015	64
Figura 25 - Fábrica de pás para aerogeradores – Acciona (Espanha).....	73
Figura 26 – LM 88.4 sendo transportada - Lunderskov, Dinamarca.....	75
Figura 27 – Etapa de construção da turbina eólica <i>offshore</i>	78
Figura 28 – Componentes internos da torre.....	80
Figura 29 – Condições climáticas extremas em turbina localizada no Mar do Norte, Dinamarca.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Acidentes relacionados a incêndios em turbinas eólicas na Europa.	20
Tabela 2 - Tabela de classe e comprimento de rugosidade.	24
Tabela 3 – Modelos de turbinas eólicas.....	39
Tabela 4 – Classificação Nacional de Atividades Econômicas	43
Tabela 5 – Relação entre acidentes de trabalho e a geração de energia eólica no Brasil	44
Tabela 6 – Normas Internacionais	44
Tabela 7 – Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho aplicadas a Parques Eólicos.....	49
Tabela 8 – Cursos de capacitação profissional ofertados – RN.....	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Tipos de acidentes em parques eólicos ocorridos entre janeiro/2008 e dezembro/2017 – escala global.	42
Gráfico 2 - Tipos de acidentes em parques eólicos brasileiros entre janeiro/2008 e dezembro/2017.	43
Gráfico 3 – Comparação entre o saldo de empregos formais e acidentes de trabalho de 2011 a 2016.	53
Gráfico 4 – Número de acidentes e incêndios por país de jan/2008 a dez/2017.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÔNIMOS E SIGLAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial;

ABEEólica – Associação Brasileira de Energia Eólica;

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

AEAT – Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho;

AET – Análise Ergonômica do Trabalho

ANAMT – Associação Nacional de Medicina do Trabalho;

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica;

ASO – Atestado de Saúde Ocupacional;

AWEA – American Wind Energy Association;

CAGED – Cadastro Geral de Empregados e Desempregados;

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica;

CFPA-E – Confederation of Fire Protection Associations in Europe;

CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas;

CREA – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia;

CRESEB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica;

CTGAS – Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis;

CWIF – Caithness Windfarm Information Forum;

DWIA – Danish Wind Industry Association;

EPE – Empresa de Pesquisa Energética;

EUA – Estados Unidos da América;

EU - OSHA – European Agency for Occupational Safety & Health Administration;

EWEA – European Wind Energy Association;

GIZ – Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit;

GPECE – Guia de Projeto Elétrico de Centrais Eólicas;

GWEC – Global Wind Energy Council;

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

IEC – International Electrotechnical Commission;

IMPISA – Indústrias Metalúrgicas Percarmona;

IRENA – International Renewable Energy Association;

ISO – International Organization for Standardization;

LIS – Light Image Sensor;

MPT – Ministério Público do Trabalho;

MT – Ministério do Trabalho;
NASA - National Aeronautics and Space Administration;
NBR – Norma Brasileira;
O&M – Operação e Manutenção;
OIT – Organização Internacional do Trabalho;
ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico;
OSHA –Occupational Safety & Health Administration;
OTD – Optical Transient Detector;
PCMSO – Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional;
PDET – Programa de Disseminação das Estatísticas do Trabalho;
RC – Resistor-Capacitor
RISE – Renewable Industry Safety Exchange;
SIN – Sistema Interligado Nacional;
SPDA – Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas;
UK – United Kingdom.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1.	TEMA	15
1.1.1.	Delimitação do Tema	16
1.2.	PROBLEMAS E PREMISSAS	17
1.3.	OBJETIVOS	17
1.3.1.	Objetivo Geral	17
1.3.2.	Objetivos Específicos	17
1.4.	JUSTIFICATIVA.....	18
1.5.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	20
1.6.	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1.	Caracterização do projeto de um parque eólico	22
2.2.	Tipos de instalações de um parque eólico.....	27
2.3.	Principais componentes do sistema	30
2.4.	Níveis de tensão	37
2.5.	Levantamento de acidentes no Brasil	40
2.6.	Normas e legislações: nacionais e internacionais	44
2.7.	Qualificação do profissional em segurança.....	50
3.	LEVANTAMENTO DE ACIDENTES DE TRABALHO	53
3.1.	Causas de incêndios e os números pelo mundo	55
3.2.	Prevenção de incêndios com foco no setor eólico brasileiro	63
4.	PLANO DE MELHORIAS.....	71
4.1.	Concepção e Desenvolvimento.....	71
4.2.	Fabricação de Turbinas e Componentes.....	72
4.3.	Transporte de componentes	74
4.4.	Construção e implementação.....	76
4.5.	Operação e Manutenção	79

4.6.	Desmantelamento.....	83
5.	CONCLUSÕES	84
	REFERÊNCIAS.....	87
	APÊNDICE A – Diagrama de fases do projeto e riscos associados	97
	APÊNDICE B – Resumo das medidas de prevenção por fase.....	98
	APÊNDICE C – <i>Checklist</i> de atendimento ao subitem 10 da NR-10.....	99

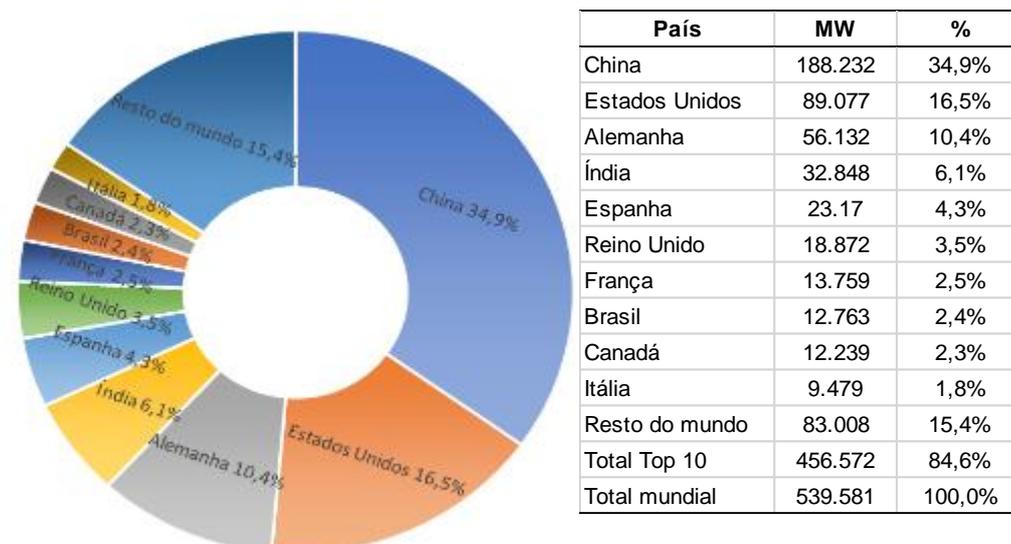
1. INTRODUÇÃO

Energias renováveis já são uma realidade e seu crescimento tem sido cada vez mais expressivo no mundo nos últimos anos. São diversos os fatores que as tornam tão imprescindíveis, atrativas e viáveis, tais como: a redução da oferta e do incentivo ao uso de petróleo e derivados; o potencial e a disponibilidade quase que inesgotável dos recursos, como o vento e o sol; o desenvolvimento de uma tecnologia capaz de gerar e transportar a energia obtida; e, a grande necessidade de suprir a demanda energética mundial (TOLMASQUIM, 2016).

O vento já havia sido amplamente utilizado no passado como fonte de energia mecânica, bem como para transporte. O desenvolvimento em outras áreas, especialmente de turbinas capazes de capturar a energia cinética do vento e transformá-la em mecânica para alimentar um gerador, possibilitou revolucionar a maneira como esta vinha sendo empregada (MANWELL, MCGOWAN, RODGERS, 2009). A energia eólica teve sua concentração inicial no mercado europeu e estima-se que nos próximos cinco anos (2017/2021) o número de projetos de instalação de usinas eólicas mundiais irá dobrar, liderado pela China, seguida dos países da Europa.

O Brasil, ainda massivamente representado no cenário mundial da matriz energética pela fonte hidráulica, possui uma capacidade total de geração de energia eólica acumulada que chega a aproximadamente 12,8 GW, como se pode constatar pela Figura 1. Este valor corresponde a apenas 2,4% da capacidade total mundial acumulada de energia eólica instalada (540 GW) (GWEC, 2018).

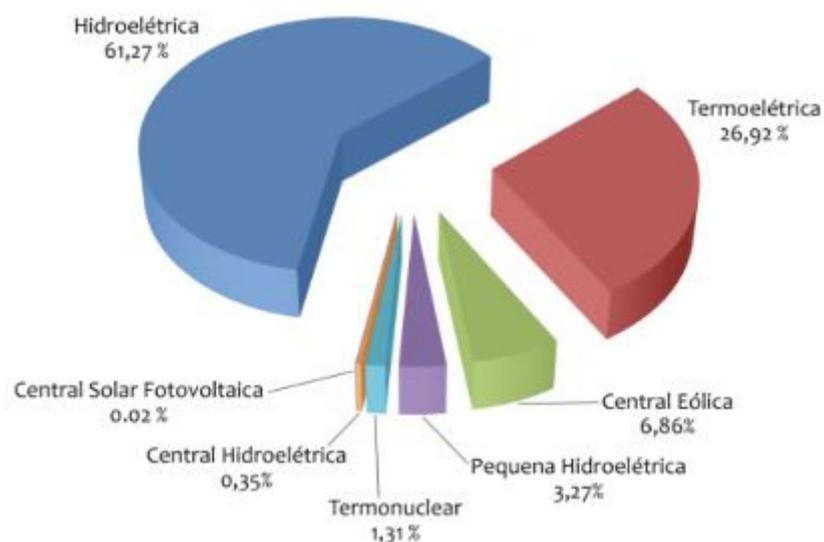
Figura 1 – Lista dos 10 países com as maiores capacidades acumuladas de energia eólica instalada.



Fonte: Adaptado de GWEC, 2018.

No cenário nacional, as centrais eólicas encontram-se na terceira posição da matriz elétrica, com uma geração que chega a quase 7% em relação as demais fontes de energia utilizadas, como se pode observar na Figura 2.

Figura 2 - Matriz elétrica brasileira - maio 2017.



Fonte: PEREIRA, E. B. et al, 2017.

O Brasil conta com mais de 490 parques eólicos, sendo o Rio Grande do Norte, seguido da Bahia e Rio Grande do Sul os três principais estados fornecedores,

chegando a aproximadamente 61% da quantidade nacional de parques eólicos, conforme se pode observar na Figura 3.

Figura 3 - Parques eólicos distribuídos pelo Brasil.



Fonte: ABEEólica, 2017a.

De acordo com o *Global Wind Annual Market Report* divulgado pelo *Global Wind Energy Council* em 2016 (GWEC, 2016), em termos de valores econômicos, o setor de energia eólica representa uma das grandes frentes no mercado energético e estima-se que mais de um terço do total investido em energias renováveis corresponda a energia proveniente do vento, aproximando-se de um total de 3,6 trilhões de dólares entre 2014 e 2040.

A energia eólica é uma das mais limpas e ecologicamente corretas fontes de energia. Sua presença não só colabora na diversificação do *portfólio* energético de um país como reduz a dependência de combustíveis importados e da volatilidade dos preços a longo prazo. Além disso, conforme ratificou a *American Wind Energy Association* (AWEA, 2017), a força do vento traz consigo diversos empregos e provém benefícios econômicos para as comunidades locais em que os parques são construídos. Entretanto, há alguns impactos sobre a vida humana que, ainda que menores, não devem ser ignorados. Muitos impactos não estão devidamente estabelecidos e permanecem sob discussão, tais como: o barulho causado pelas

turbinas, o impacto visual gerado por elas, a interferência eletromagnética e algumas intervenções na fauna das regiões (CARNEIRO, B. ROCHA, C. ROCHA, 2012).

A presidente executiva da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEÓLICA, 2016), Élbis Gannoum, declarou durante o 7º Wind Power, que existem ainda barreiras que inibem o progresso dessa fonte de energia, entre as quais podem ser citados os seguintes fatores: sociopolíticos, ausência de crédito, incerteza sobre as políticas energéticas associadas aos acordos de compra de energia, transmissão da energia, acesso ao mercado, infraestrutura de redes de transmissão e distribuição de energia, falta de mão-de-obra experiente e qualificada, baixa presença de fabricantes e fornecedores de equipamentos e deficiência na legislação e nas normas de segurança específicas.

1.1. TEMA

Ambientes de trabalho estão em constantes mudanças e adaptações devido a introdução de novas tecnologias e/ou substâncias, mudanças na estrutura da força de trabalho e novas formas de emprego e organização. Conforme a indústria de energia eólica continua a crescer, novos desafios emergem. Segundo a *Occupational Safety & Health Administration* (OSHA), que faz parte dos Departamentos de Trabalho Europeu e Americano e regula a segurança e saúde nos locais de trabalho, com a inserção de um número cada vez maior de trabalhadores neste setor, segurança e saúde no trabalho tornam-se prioridades.

Ainda que considerada uma energia limpa e boa para o meio ambiente, não significa dizer que a mesma seja saudável e segura para os trabalhadores. Estes são constantemente expostos a perigos e desafios que podem resultar em fatalidades ou graves acidentes, durante as diversas fases de um projeto eólico, desde os testes e a produção de turbinas e componentes, ao transporte, instalação e manutenção do parque eólico (IRENA, 2014).

A formação e o treinamento dos trabalhadores são considerados elementos críticos para garantia da segurança no ambiente de trabalho, buscando competência, instrução e segurança (EWEA, 2016). Além disso, melhorias na confiabilidade de sistemas e tecnologias têm impactos diretos sobre a segurança. Minimizar defeitos e falhas implica em reduzir o número de reparos e manutenções necessários. Igualmente, o diagnóstico melhorado através da utilização inteligente de dados, pode

reduzir ainda mais as avarias nas instalações (EU-OSHA, 2013). Ser capaz de manter o *design* e a produção confiáveis e propícios ao uso duradouro de turbinas eólicas, de modo que possam permanecer confiáveis em serviço durante o período de tempo planejado é ainda um dos grandes desafios a serem superados. Este aperfeiçoamento contínuo vem tornando as operações mais eficientes e reduzindo assim a necessidade de se colocar os trabalhadores em um ambiente de risco.

Segundo o diretor de Saúde e Segurança da Renewable UK, Chris Streatfeild, situações como o trabalho em altura e espaço confinado são familiares nos parques eólicos, entretanto, tem-se como agravante o fato das instalações muitas vezes se encontrarem em áreas remotas. Este afastamento traz consigo algumas dificuldades de acesso que podem resultar na perda parcial ou total de estruturas e/ou equipamentos e por muitas vezes, pode custar a vida do trabalhador uma vez que há a possibilidade do socorro não chegar a tempo (STREATFEILD *apud* STEEL, 2016).

Por fim, as legislações e os parâmetros devem cobrir os requerimentos necessários de componentes, sistemas e tecnologias que impactam na confiabilidade do funcionamento de turbinas eólicas, bem como nas operações e condições de ambiente dos trabalhadores. Vê-se uma clara necessidade de desenvolvimento de padrões e de diretrizes internacionais que determinem os especialistas e os fornecedores a entregar um serviço seguro e de qualidade (GWEC, 2016b).

1.1.1. Delimitação do Tema

Este trabalho tem como propósito uma análise das condições de segurança em parques eólicos. Para tal, o mesmo foi subdividido em algumas áreas consideradas vitais, tais como: componentes elétricos do gerador elétrico, níveis de tensão utilizados, normas compatíveis, procedimentos de segurança e cursos obrigatórios aos trabalhadores. A fim de explorar conceitos voltados à eletricidade, a equipe irá restringir a análise dos dados de acidentes levantados que se encaixarem sob a categoria de incêndios.

1.2. PROBLEMAS E PREMISSAS

A análise de dados deste setor se faz necessária uma vez que quanto mais informações consolidadas, maior a perpetuação e acesso às boas práticas de instalação e manutenção, e, conseqüentemente, menos incidentes e acidentes. (STEEL, 2016).

Seguindo esta constatação, foram analisadas as atuais condições de segurança para trabalhos em parques eólicos e se estas condições são condizentes com as legislações brasileiras. Uma grande incerteza desta área, associada ao fato de ser uma forma de geração de energia muito nova, é a questão da falta de uma legislação específica, por isso a importância de saber se as normas aplicadas hoje são suficientes ou devem ser mais direcionadas. Sabe-se que a normatização é feita através de referenciais provenientes de outros setores de trabalho, não havendo assim uma legislação específica que gerencie este ramo.

Outras questões pertinentes são quanto aos treinamentos, cursos e formações necessários para a qualificação do profissional; já nas fases de instalação e manutenção das torres, é importante levantar quais são as principais causas de acidentes, saber se a instalação e manutenção destes equipamentos são feitas corretamente e de maneira segura e também, se os funcionários utilizam os equipamentos de segurança de maneira correta. Por fim, quanto aos equipamentos constituintes de uma turbina, saber se estes equipamentos e componentes garantem a confiabilidade necessária para que o sistema funcione corretamente.

Sumarizando todos estes pontos, a principal indagação a ser feita é: **as condições de segurança em parques eólicos brasileiros, quanto à legislação, elementos elétricos e capacitação do trabalhador são adequadas?**

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

Analisar as condições de segurança em parques eólicos e seus componentes elétricos, comparando as normas e os padrões nacionais e internacionais e propor soluções e melhorias nas condições de segurança.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Fazer o levantamento bibliográfico a respeito dos pontos que serão abordados no trabalho;
- Conhecer e descrever as etapas inicial e final de montagem, funcionamento e manutenção de um parque eólico;
- Identificar e analisar os componentes elétricos do gerador eólico e os níveis de tensão;
- Avaliar se as normas nacionais, os procedimentos de segurança, cursos e treinamentos obrigatórios adotados estão adequados e compará-los com os padrões internacionais;
- Verificar normas, procedimentos e cursos aplicados;
- Reconhecer diferentes estruturas e torres em parques eólicos;
- Levantar dados a respeito de acidentes relacionados a falhas de segurança em parques eólicos;
- Elaborar plano de sugestões e melhorias na segurança de acordo com as oportunidades identificadas.

1.4. JUSTIFICATIVA

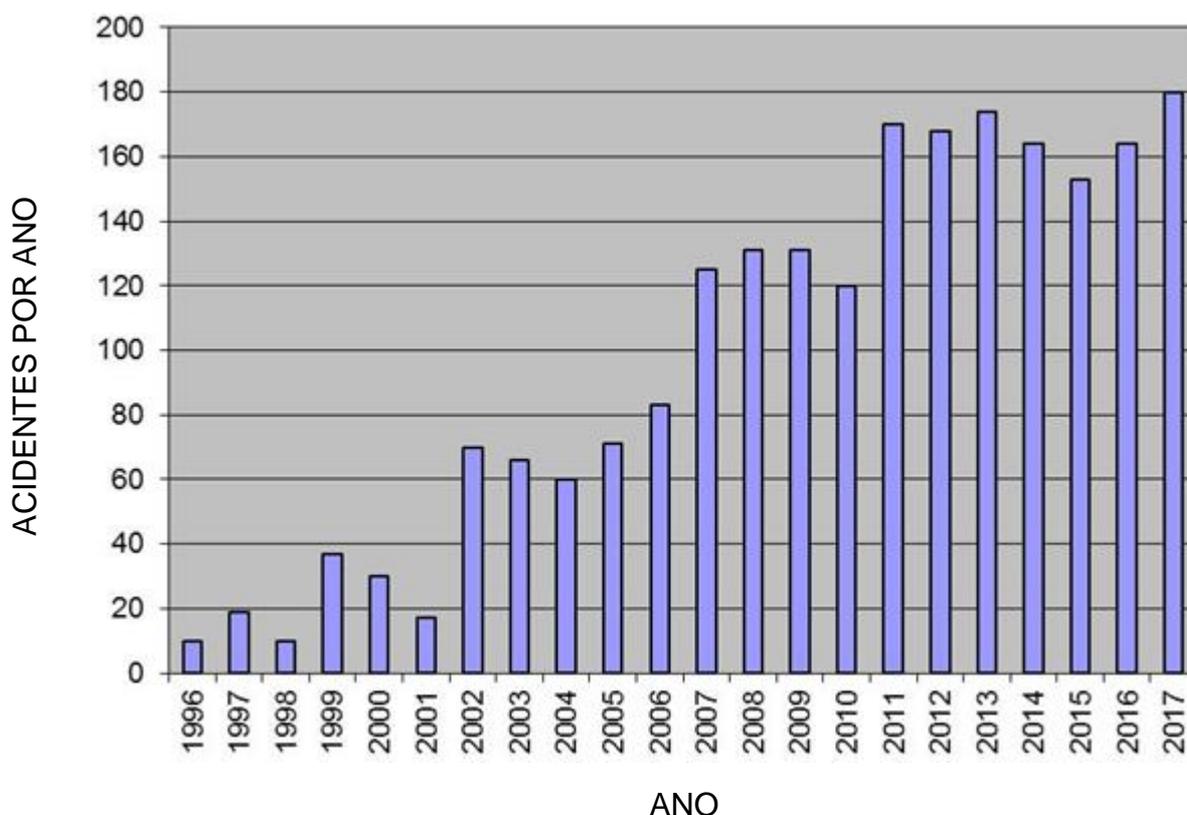
De acordo com os dados do Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho divulgado pelo Ministério da Previdência Social, o Brasil ocupa o quarto lugar no *ranking* mundial de Acidentes de Trabalho, totalizando 578.935 (quinhentos e setenta e oito mil, novecentos e trinta e cinco) acidentes em 2016. Somando-se a essa realidade, o fato da geração de energia eólica ser uma fonte bastante recente com uma carência muito grande de mão de obra especializada e experiente, tem-se a necessidade desta análise para um melhor entendimento deste segmento no Brasil e para posteriormente, sugerir melhorias, caso se verifiquem necessárias, observadas durante a realização deste trabalho (BRASIL - AEAT, 2016).

A análise das condições de segurança em usinas eólicas é um assunto bastante atual, muito escasso e pouquíssimo divulgado. As principais fontes de informações a respeito deste segmento concentram-se na Europa, principalmente no Reino Unido através do Sistema de Intercâmbio de Dados relativos à Segurança no Setor de Energias Renováveis (RISE – Renewable Industry Safety Exchange), uma iniciativa

setorial que visa o compartilhamento de informações sobre acidentes neste setor (STEEL, 2016).

A Figura 4 (CWIF, 2018) mostra de forma resumida a evolução da quantidade de acidentes com o passar dos anos. A média de acidentes entre 1996 e 1999 foi de 20 casos, na década seguinte, subiu e ficou em torno de 80 e entre 2010 e 2017, aproximadamente 162. Pode-se explicar esse aumento devido à gradual adesão a esta forma de geração de energia, ou seja, a tendência observada no gráfico é que a construção de turbinas se intensifique e por consequência, o número de acidentes nestas, caso as condições de segurança deste segmento não sejam otimizadas visando a diminuição destes números.

Figura 4 - Acidentes em turbinas eólicas entre 1996 e 2017.



Fonte: CWIF, 2018.

Sobre acidentes voltados à segurança do setor elétrico, mais especificamente incêndios em turbinas eólicas, a UADIALE et al. (2014) afirma que estes acidentes originados pelo fogo ocupam a segunda posição dentre os principais acidentes. Em ordem decrescente de importância, pode-se citar as seguintes causas: quedas de raios, mau funcionamento elétrico e/ou mecânico e falta de manutenção. O autor ainda reforça a dificuldade em avaliar a extensão do impacto dos incêndios nesta indústria

devido às fontes de informação incompletas, tendenciosas e a falta de dados disponíveis publicamente para consulta. A Tabela 1 mostra que um total de 308 acidentes relacionados a incêndio foram contabilizados na Europa desde os anos 2000 até 2017.

Tabela 1 - Acidentes relacionados a incêndios em turbinas eólicas na Europa.

Ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
Num.	3	2	24	17	16	14	12	21	17	17	13	20	19	24	19	18	28	24	308

Fonte: Adaptado de CWIF, 2018.

Pensando, primeiramente, no bem-estar do trabalhador, na diminuição do número de acidentes com pessoas e perdas materiais, na redução de custos para o empregador e na melhoria deste setor de forma geral, este trabalho analisou algumas causas de acidentes em usinas eólicas e sugere soluções e melhorias para a diminuição destes índices através de uma melhor regulamentação ou melhor aplicação de normas já existentes.

Além de aperfeiçoamentos, se preveem também, investimentos iniciais em treinamentos e cursos para a capacitação de colaboradores visando de antemão a prevenção de acidentes. Como explicou o Diretor de Saúde e Segurança da Renewable UK, Chris Streatfeild, (STREATFEILD *apud* STEEL, 2016) as melhorias de saúde e segurança são, em grande maioria, neutras ou reduzirão os custos, tendo retornos muito grandes e imediatos sobre investimentos feitos neste setor.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para realização deste trabalho foi feita uma pesquisa do tipo qualitativa visando coletar dados e informações a partir de fontes como associações, conselhos profissionais, entidades acadêmicas, sindicatos, etc. Para isso, foram abordados os objetivos de uma maneira exploratória e aplicada através de referências bibliográficas descrevendo as estruturas, etapas de construção, bem como a parte de segurança elétrica envolvida na usina como um todo.

Ainda, foram buscadas informações com agências nacionais e internacionais a fim de se obter comparações e dados estatísticos de acidentes envolvendo a segurança

na geração de energia eólica. Visando solucionar um problema global, que é a falta de segurança no ambiente de trabalho, esta pesquisa, diante do supramencionado, enquadra-se na classe Pesquisa-Ação.

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é composto por quatro capítulos. No Capítulo 1 é apresentada uma breve introdução sobre energia eólica, descrição e delimitação do tema, bem como quais são os objetivos, geral e específicos, o problema, a justificativa e os procedimentos metodológicos.

O Capítulo 2 refere-se à revisão bibliográfica onde é abordada a caracterização do projeto de um parque eólico, conforme as características do local escolhido; quais são os tipos de instalações possíveis de acordo com os sistemas disponíveis e seus principais componentes; quais os níveis de tensão de saída dos aerogeradores de diferentes fabricantes de acordo com a classificação dos níveis de tensão de interligação à rede presentes na Norma Reguladora 10; uma visão geral concisa sobre acidentes na instalação, operação e manutenção de um parque eólico; normas e legislações, nacionais e internacionais, que se aplicam tanto no projeto e instalação do parque quanto no que tange à prevenção de acidentes com pessoas e materiais; além de abordar a qualificação e treinamentos disponíveis para os profissionais deste mercado atualmente.

O Capítulo 3 se aprofunda no levantamento de dados de acidentes em parques eólicos, principalmente nas causas de incêndios, categoria de principal relevância para o setor elétrico, bem como a sugestões de implementações de segurança neste quesito para o setor eólico no Brasil.

E por fim, no Capítulo 4 é apresentado um plano de melhorias dividido entre as diferentes fases de projeto onde alguns riscos são levantados e seguidos das sugestões para aumentar a segurança desse setor de acordo com as referências utilizadas e os conceitos adquiridos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Caracterização do projeto de um parque eólico

A criação de um parque eólico começa com a avaliação de uma determinada área pretendida para a instalação. São levantados dados sobre o comportamento do vento, necessários não apenas para estimar a geração e o rendimento do parque eólico, como para a escolha mais precisa de turbinas que oportunizem maior eficiência na obtenção da energia contida no vento e também a topologia da região, pois um erro nesta escolha pode resultar na criação de usinas eólicas ineficientes e economicamente inviáveis (ROSAS, ESTANQUEIRO, 2003).

De acordo com o manual de boas práticas de instalação de estações anemométricas, a decisão de se instalar um aerogerador é sempre precedida pela avaliação do recurso eólico, onde são feitas medidas através de anemômetros durante um período de um a três anos (BRASIL – EPE – GIZ, 2015). É essencial também para definição da orientação das turbinas eólicas que se caracterize o local quanto a frequência e a velocidade do vento (densidade espectral de energia), de modo a se maximizar a *performance* e o rendimento (adequação da turbina para cada região conforme a faixa de velocidade do vento) (CASTRO, 2015). Erros nas medições de vento no local em avaliação podem comprometer todo o empreendimento eólico.

Com essas informações é possível calcular a energia disponível no vento, e então, a potência máxima disponível. A turbina capta parte da energia cinética do vento que passa através da área varrida pelo rotor e transforma em energia elétrica. Sendo assim, a potência pode ser obtida através da seguinte expressão:

$$P \text{ (Watts)} = \frac{1}{2} \rho A_r v^3 C_p \eta \quad (1)$$

Onde:

P é potência em Watts;

ρ é a densidade do ar em kg/m³;

A_r é a área do rotor, que pode ser calculada por $\pi \cdot D^2/4$, em que D é o diâmetro do rotor;

C_p é o coeficiente aerodinâmico de potência do rotor;

η é a eficiência do conjunto gerador/transmissão;

v é a velocidade do vento em m/s.

Esta potência, porém, não pode ser extraída por completo do aerogerador devido às limitações mecânicas do sistema, portanto, um fator chamado de coeficiente de aproveitamento aerodinâmico ou coeficiente de potência (C_p) é introduzido. Este coeficiente é uma característica intrínseca do desenho da turbina eólica e a relação deste com a velocidade do vento é denominada de “curva de rendimento” (CRESESB, 2008).

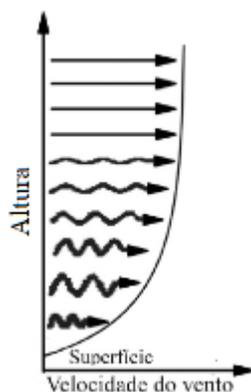
A geração de energia se dá a partir da velocidade de acionamento projetada para a turbina em questão, no entanto, há uma velocidade limite (velocidade de corte) a partir da qual a máquina para de funcionar para a prevenção de possíveis acidentes e danos materiais (Guia de Projeto Elétrico de Centrais Eólicas, 2003).

Para precisar a geração de energia é necessário conhecer o regime local do vento além da curva de potência da turbina. Para cada valor de velocidade, o número de horas em que o vento permanece nesta velocidade é multiplicado pela potência gerada. Estes valores são somados para enfim, encontrar a energia anual produzida (CRESESB, 2008).

Alguns fatores influenciam no regime dos ventos, resumidamente, pode-se citar como principais a altura, a rugosidade e o sombreamento da torre.

A altura tem uma alta influência na velocidade dos ventos, como se pode ver na Figura 5 e por isso, as torres onde estão posicionados os aerogeradores são colocados em alturas previamente estudadas para o melhor aproveitamento do potencial eólico.

Figura 5 - Variação da velocidade do vento com a altura



Fonte: Adaptado de MARTINS, GUARNIERI e PEREIRA, 2008.

Já a rugosidade, que nada mais é do que o estudo das irregularidades do terreno (obstáculos e relevo), também possui interferência direta na velocidade dos ventos e é dividida em diferentes classes de acordo com suas características, conforme mostra a Tabela 2 (CRESESB, 2008). As classes de rugosidade vão de 0 a 4, com intervalos de 0,5, estabelecidos conforme o comprimento de rugosidade, sendo 0,0002 m, a classe de rugosidade 0 e 1,6 m, a classe 4. O primeiro valor corresponde à superfície do mar e o último a cidades muito grandes com edifícios altos e arranha-céus.

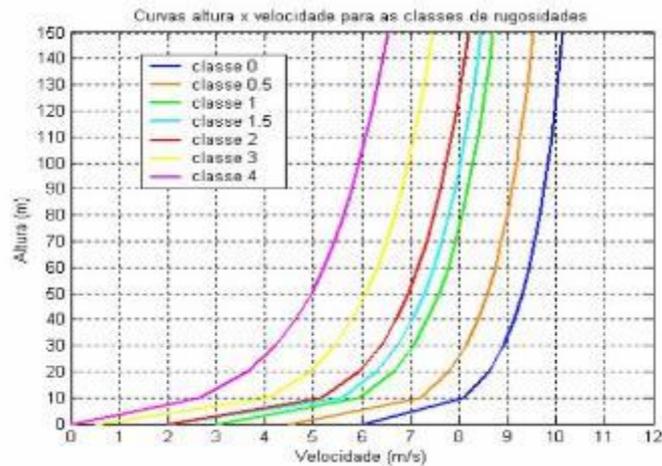
Tabela 2 - Tabela de classe e comprimento de rugosidade.

Classe de Rugosidade	Comprimento de Rugosidade (m)	Descrição da paisagem
0	0,0002	Superfície do mar.
0,5	0,0024	Terreno com a superfície plana, aberto, como aeroportos, grama cortada, etc.
1	0,03	Área agrícola aberta, sem fendas e cercas, e construções dispersas.
1,5	0,055	Área agrícola com algumas casas e cercas com até 8 m de altura, com uma distância de até 1.250 m.
2	0,1	Área agrícola com algumas casas e cercas com até 8 m de altura, com uma distância de até 500 m.
2,5	0,2	Área agrícola com algumas casas e cercas com até 8 m de altura, com uma distância de até 800 m.
3	0,4	Vilas, cidades pequenas, áreas agrícolas com cercas altas, florestas e terrenos irregulares e com rugosidade.
3,5	0,8	Grandes cidades com edifícios altos.
4	1,6	Cidades muito grandes com edifícios altos e arranha-céus.

Fonte: Adaptada de LEITE, 2005.

Por meio da Figura 6 pode-se obter a influência da altura e da rugosidade no comportamento do vento. Observa-se que a classe 4, cidades muito grandes com edifícios altos e arranha-céus, corresponde a curva com menor velocidade, enquanto que a classe 0, na superfície do mar, a curva com maior velocidade.

Figura 6 – Gráfico velocidade x altura para diferentes classes de rugosidade



Fonte: LEITE, 2005.

Por último, tem-se o fator de sombreamento da torre: ao chegar na turbina, o vento possui certa velocidade e direção que são modificados com a passagem pelo aerogerador e geram uma turbulência forte que pode comprometer a geração e a integridade física das máquinas, devido aos esforços gerados pelo vento se as turbinas estiverem posicionadas a distâncias incorretas, por isso um distanciamento deve ser respeitado (CRESESB, 2008). Observando a Figura 7 pode-se ter uma noção desta turbulência.

Figura 7 – Efeito de sombreamento de uma turbina eólica.



Fonte: DWIA, 2017.

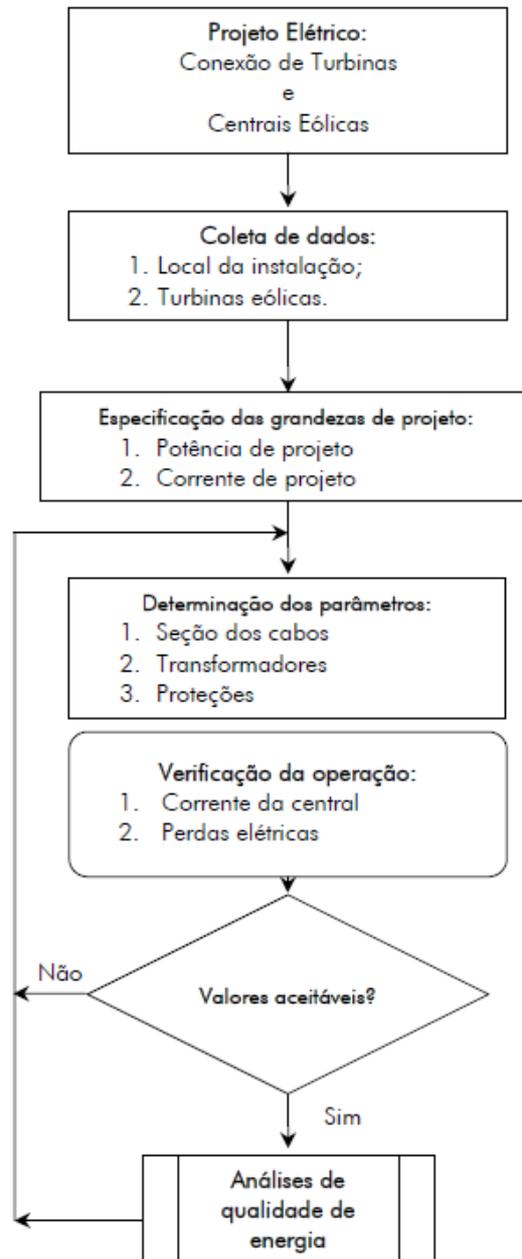
Além de caracterizar os recursos naturais para a elaboração do projeto, deve-se fazer o mesmo com a rede elétrica para definir seus parâmetros e otimizar a capacidade da central eólica (ROSAS, ESTANQUEIRO, 2003).

As principais características que devem ser levantadas sobre a central eólica, de acordo com o Guia De Projeto Elétrico de Centrais Eólicas (ROSAS, ESTANQUEIRO, 2003), são:

- potência de curto-circuito;
- ângulo de impedância de curto-circuito;
- nível e regulação da tensão no ponto de conexão;
- características do(s) transformador(es) da subestação de interligação;
- parâmetros característicos das linhas/cabos de transmissão;
- distância do ponto de conexão à central eólica;
- regime de neutro.

Os dados do local desejado para a instalação devem estar acompanhados da caracterização das turbinas eólicas, do dimensionamento de potência e corrente de projeto, do aterramento do transformador e do sistema de proteção, que incluem proteção de sobre e sub-tensão, curto-circuito, sobre e sub-frequência e para-raios.

De forma resumida, como já visto anteriormente, o projeto elétrico de uma central eólica segue o fluxograma mostrado na Figura 8, cujas principais etapas são: o projeto elétrico, mais voltado para a conexão das turbinas e as centrais eólicas; coleta de dados sobre o local da instalação e das turbinas; especificação da potência e corrente de projeto; determinação de parâmetros como: seção dos cabos, transformadores e proteções; verificação da operação através da corrente da central e das perdas elétricas. Caso estas etapas sejam verificadas e apresentem valores aceitáveis o processo segue para análise de qualidade de energia, e caso não estejam em conformidade deve-se retornar a etapa de determinação dos parâmetros.

Figura 8 – Fases do projeto elétrico de centrais eólicas.Diagrama básico:

Fonte: ROSAS, ESTANQUEIRO, 2003.

2.2. Tipos de instalações de um parque eólico

Resumindo o que foi abordado no item 2.1, pode-se citar três características que a região deve possuir para ser considerada potencialmente viável para a instalação de uma planta eólica:

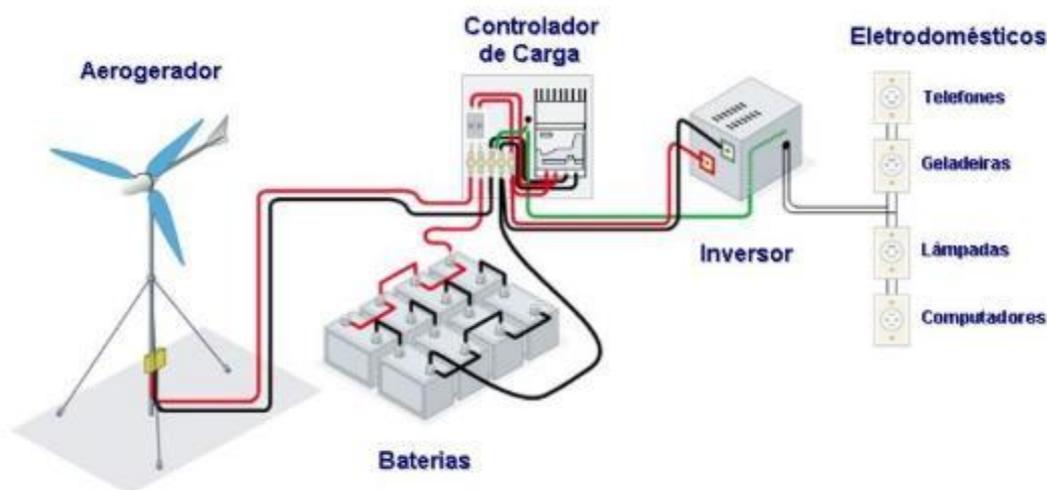
- baixa rugosidade;
- ventos constantes e com velocidade média elevada;

- ventos com mínima turbulência e variação de direção.

Considerando estas características e outros detalhes, as aplicações de sistemas eólicos podem ser divididas nos seguintes quatro tipos:

- **Sistemas isolados:** são sistemas que utilizam algum tipo de armazenamento de energia e constituídos por aerogeradores de pequeno porte (≤ 10 kW). No caso de armazenamento de energia em baterias, um dispositivo de controle de carga e descarga desta bateria deve ser usado com o objetivo de evitar danos à bateria por sobrecarga ou descarga profunda (CRESESB, 2008). A Figura 9 apresenta a configuração deste tipo de sistema, desde o aerogerador até o consumidor.

Figura 9 – Configuração de um sistema eólico isolado.



Fonte: CRESESB, 2008.

- **Sistemas híbridos:** recebem este nome pois empregam diferentes tipos de fonte de geração de energia como painéis fotovoltaicos, geração diesel, turbinas eólicas, etc. Para que se atinja a eficiência máxima da energia gerada com a utilização deste sistema, deve-se atentar à otimização do controle destas fontes (CRESESB, 2008). A Figura 10 apresenta uma configuração de um exemplo de um sistema híbrido-eólico-diesel, composto por 3 tipos de fontes de geração.

Figura 10 – Configuração de um sistema híbrido solar-eólico-diesel.



Fonte: CRESESB, 2008.

- **Sistemas *offshore***: são os parques eólicos adaptados para utilização no mar, necessitam de grandes investimentos referentes ao transporte, instalação e manutenção, que são compensados pelo seu alto rendimento de geração de energia, principalmente pelo baixo comprimento de rugosidade (CRESESB, 2008). Na Figura 11, observa-se o parque eólico *offshore* London Array, Inglaterra, responsável pela geração de 369 MWh (LONDON ARRAY, 2017).

Figura 11 - Parque eólico *offshore* instalado no mar na Inglaterra.



Fonte: LONDON ARRAY, 2017.

- **Sistemas interligados à rede**: são complementares ao sistema elétrico de grande porte, utilizam grande número de aerogeradores e não utilizam

sistemas de armazenamento, pois a energia produzida é injetada direto na rede (CRESESB, 2008). Na Figura 12 observa-se uma foto do parque eólico Geribatu, Santa Vitória do Palmar, RS. Este, juntamente com outros 2 parques eólicos, integra o complexo eólico Campos Neutrais, maior complexo eólico da América Latina, com 258 MW de potência instalada (ANEEL, 2017).

Figura 12 - Parque eólico conectado à rede – Parque Eólico Geribatu.



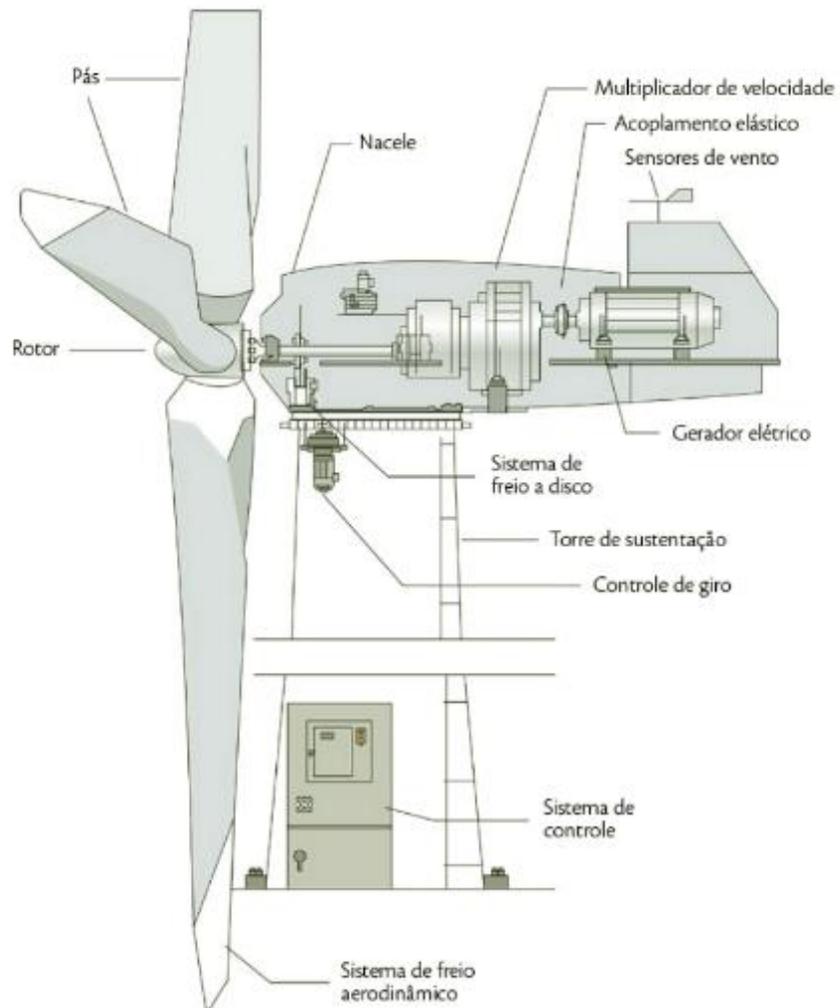
Fonte: MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, 2015.

Atualmente, o sistema elétrico brasileiro está praticamente todo conectado através do Sistema Interligado Nacional, SIN, sendo que apenas uma pequena parcela do total da demanda energética nacional provém de sistemas não conectados a ele. A capacidade instalada de geração do SIN se expandiu nos últimos anos devido a instalação de usinas eólicas, principalmente nas regiões Nordeste (78 parques eólicos) e Sul (26), representando um forte crescimento, aumentando a importância dessa geração para o atendimento do mercado (ONS, 2015).

2.3. Principais componentes do sistema

A seguir são descritos os principais componentes de um aerogerador típico, de eixo horizontal, os quais são representados na Figura 13.

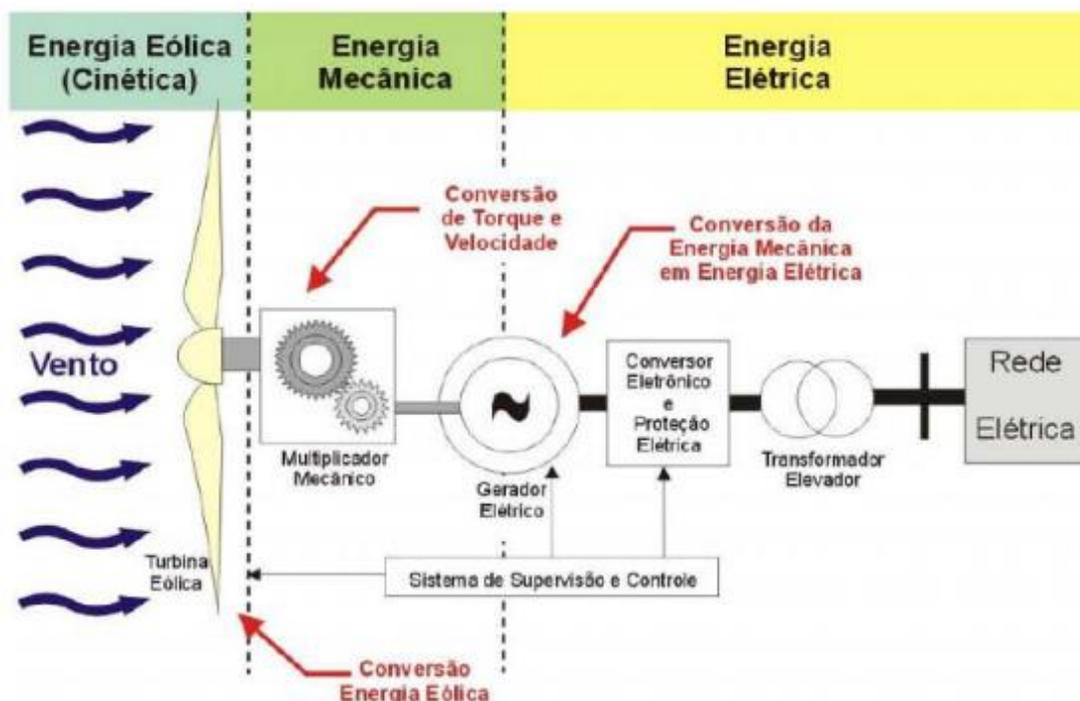
Figura 13 - Componentes de uma turbina eólica.



Fonte: RODRIGUES, 2011.

Os aerogeradores constituem os principais equipamentos presentes no parque eólico. São os responsáveis pela transformação da energia cinética presente no vento para energia elétrica entregue, na maioria das vezes, à rede da concessionária ou ao Sistema Interligado Nacional (SIN) como exposto na Figura 14. São classificados de acordo com a posição do rotor, horizontal ou vertical e podem ser de múltiplas ou uma única pá (CRESESB, 2008).

Figura 14 – Esquema geral de funcionamento de um aerogerador.



Fonte: HENKE, 2011.

Ainda, podem ser classificados quanto a sua potência gerada em: pequenos (<500 kVA), médios (entre 500 e 1000 kVA) e grandes (>1000 kVA). Pode-se também selecionar o tipo de turbina em um aerogerador, sendo ela síncrona, que utiliza uma fonte de corrente contínua (CC) independente para alimentar o campo magnético, ou assíncrona, em que o campo magnético é criado por indução eletromagnética (CRESESB, 2008). O fato de não haver problemas com sincronismo e produzir eletricidade na tensão e na frequência especificada, tornaram as máquinas assíncronas atrativas para geração em parques eólicos para instalações de sistemas isolados (GUIMARÃES, 2003).

Dentre as partes que compõe o aerogerador tem-se:

- Nacele: carcaça montada sobre a torre que abriga os elementos essenciais para a geração da energia. Fazem parte dela o gerador, a caixa de engrenagens, sistema de controle e medição do vento, motores para rotação do sistema, entre outros. Na Figura 15 tem-se um corte transversal de uma nacele onde se pode identificar em 1 – suporte da máquina; 2 – acionamento sistema Yaw (mantem as pás alinhadas com a direção do vento); 3 – gerador em anel; 4 – *hub* do rotor; 5 – pá do rotor;

Figura 15 - Corte transversal Nacele – E - 115 / 3.000K.

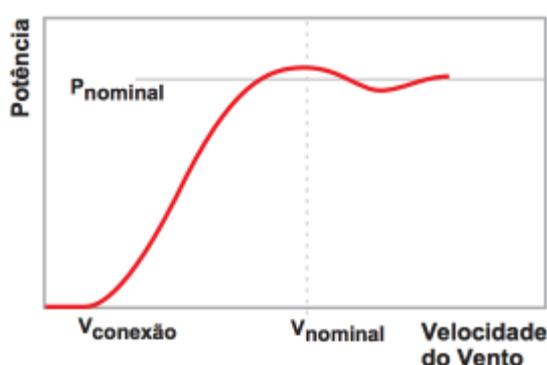


Fonte: ENERCON, 2017.

- Pás: são responsáveis por capturar a energia eólica e converter em energia rotacional no eixo. Sua configuração influencia diretamente no rendimento global do sistema, sendo o componente mais característico de um sistema eólico. São ocas e feitas de fibras de carbono ou vidro, conectadas ao eixo principal através do cubo. Algumas possuem ainda controles integrados a sua estrutura, responsáveis pelo controle do perfil aerodinâmico das pás. A resistência das pás, sua tendência a defletir sob a carga, a frequência natural de vibração e a resistência desta à fadiga são importantes pontos a serem considerados durante o projeto;
- Rotor: responsável por transformar a energia cinética do vento em energia mecânica de rotação;
- Transmissão e caixa multiplicadora: responsável pela transmissão de energia mecânica do rotor à carga. É composta por eixos, mancais, engrenagens de transmissão e acoplamentos;
- Gerador elétrico: responsável pela conversão da energia mecânica em elétrica;
- Mecanismo de controle: responsável pelo controle dos mecanismos mecânicos (velocidade, passo – controle de passo *pitch* ou *stall*, freio), aerodinâmicos (posicionamento do rotor) ou eletrônicos (controle da carga);

- Controle *stall* - reage à velocidade do vento, sendo um tipo de mecanismo passivo. O ângulo de passo é escolhido no projeto do aerogerador, de modo que quando a velocidade do vento ultrapassa a velocidade nominal, as forças de arrasto aumentam e as de sustentação diminuem, através do “deslocamento aerodinâmico do vento”. Desta forma, estas forças agem contra o aumento da potência do rotor. Conforme se pode observar na Figura 16, que representa o gráfico típico deste tipo de controlador, mesmo com o aumento acima da velocidade nominal percebe-se que a potência nominal do aerogerador mantém-se controlada.

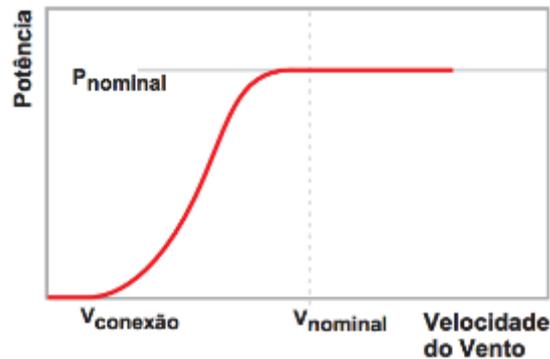
Figura 16 - Curva de potência típica de um aerogerador com controle tipo *stall*.



Fonte: CRESESB, 2008.

- Controle de passo *pitch* – mecanismo ativo, controla a potência das turbinas através da variação do ângulo de passo, logo, este tipo de regulação necessita de informações vindas do sistema de controle. Quando a potência nominal é ultrapassada as pás do aerogerador mudam o ângulo de ataque a fim de diminuir as forças aerodinâmicas permitindo que a potência seja constante no valor nominal projetado. A variação do ângulo de passo possibilita um controle mais sofisticado e eficiente que no caso *stall*. A Figura 17 representa a curva típica deste tipo de controle, em que se observa a potência nominal permanecendo constante.

Figura 17 - Curva de potência típica de um aerogerador com controle tipo passo (*pitch*).



Fonte: CRESESB, 2008.

- Torre: responsável por sustentar e posicionar o rotor na altura conveniente a fim de que possa alcançar os ventos de maior velocidade. Podem chegar a 100 m de altura e ultrapassar 800 ton (ROSAS, ESTANQUEIRO, 2003). Esta é dividida em 3 partes para ser montada, como se pode verificar na Figura 18, onde a segunda parte está sendo içada para ser posicionada acima da primeira;

Figura 18 – Montagem de torre eólica - IMPSA.



Fonte: IMPSA WIND, 2017.

- Transformador: responsável pelo acoplamento elétrico entre o aerogerador e a rede elétrica, são usualmente instalados na base de cada torre dos aerogeradores. Estes visam a elevação do nível de tensão para se trabalhar

com correntes menores. Isso possibilita a utilização de cabos com diâmetros menores e ainda a redução de perdas por efeito Joule no sistema;

- Painéis elétricos: estão também presentes na base da torre. Possuem uma série de equipamentos responsáveis por diversas funções: manobra, controle, medição, sinalização, proteção e regulação. São eles: relés, transformadores de corrente e de potencial, disjuntores, chaves seccionadoras, fusíveis, barramentos e para-raios.
 - Disjuntores: na saída de cada aerogerador, possuem duas funções no sistema: proteção do aerogerador em caso de alguma falta no trecho que compreende o disjuntor presente no painel e o aerogerador; e funciona como um dispositivo de retaguarda contra uma possível não atuação do dispositivo de proteção presente no painel; já no painel o disjuntor de média tensão atua na extinção do arco elétrico e como meio isolante. Está associado a um conjunto de dispositivos (TC – Transformador de corrente, TP – Transformador de potencial e Relés de Proteção) responsáveis tanto para a detecção do curto e o posterior acionamento do disjuntor quanto para o acionamento das molas de abertura e fechamento do mesmo (TA - Transformador auxiliar) (SCHNEIDER ELECTRIC, 2009);
 - Para-raios: são fundamentais para prevenir o sistema contra possíveis sobretensões. Apesar de conferirem proteção contra as sobretensões advindas de descargas atmosféricas que possam vir a atingir o aerogerador ou a torre de sustentação, destaca-se que a estrutura metálica da torre já proporciona uma “blindagem” aos equipamentos presentes em seu interior (SCHNEIDER ELECTRIC, 2009);
 - Chaves Seccionadoras: dispositivo de manobra (mecânico) que assegura, na posição aberta, uma distância de isolamento que satisfaz requisitos de segurança especificados (SCHNEIDER ELECTRIC, 2009);
 - Transformadores de Corrente e de Potência, associados a Relés de Proteção: os transformadores de corrente e de potência possuem como finalidades principais a isolação dos

equipamentos de medição, controle e relés do circuito de alta tensão e o fornecimento no secundário de corrente e tensão, respectivamente, de dimensões adequadas para serem utilizadas pelos mesmos. Os relés de proteção, por sua vez, possuem a função de detectar uma anomalia (condição anormal) no sistema e promover o acionamento de equipamentos de sinalização e/ou proteção, como alarmes e disjuntores (KINDERMANN, 1999).

- Cabos: a escolha adequada dos condutores deve levar em consideração aspectos como método de instalação, níveis de tensão e a maneira como estes estão dispostos no parque. A grande quantidade de cabos necessários para implantação e concretização do projeto torna-os grandes contribuintes no custo total da parte elétrica (CRESESB, 2008).
- Acessórios: componentes periféricos.

2.4. Níveis de tensão

A Norma Regulamentadora 10 (NR-10) do Ministério do Trabalho, referente à segurança em instalações e serviços em eletricidade, aplica-se às fases de geração, transmissão, distribuição e consumo, incluindo ainda as etapas de projeto, construção, montagem, operação e manutenção das instalações elétricas. Seu principal objetivo é garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que de alguma forma entrem em contato com instalações elétricas ou exerçam serviços com eletricidade. De acordo com esta norma, dispõe-se de quatro níveis de tensão:

- Tensão de segurança: extra baixa tensão originada em uma fonte de segurança;
- Extra Baixa Tensão (EBT): tensão não superior a 50 V em corrente alternada ou 120 V em corrente contínua, entre fases ou entre fase e terra;
- Baixa Tensão (BT): tensão superior a 50 V em corrente alternada ou 120 V em corrente contínua e igual ou inferior a 1.000 V em corrente alternada ou 1.500 V em corrente contínua, entre fases ou entre fase e terra;
- Alta Tensão (AT): tensão superior a 1.000 V em corrente alternada ou 1.500 V em corrente contínua, entre fases ou entre fase e terra.

A conexão à rede elétrica é feita através de subestações podendo estas ser por rede subterrânea com cabos isolados ou por rede aérea, com tensões de 13,8 kV e

34,5 kV. A rede subterrânea fornece maior confiabilidade, menor manutenção, porém tem custos mais elevados e dificuldades de implantação (ABEEÓLICA, 2016).

Para complementar e caracterizar a interligação da central eólica à rede elétrica, os parâmetros elétricos relevantes de turbinas eólicas devem ser considerados para elaboração de um projeto elétrico. Essas informações são disponibilizadas pelo fabricante ou determinadas através de testes de certificação independente (ROSAS, ESTANQUEIRO, 2003). A Tabela 3 apresenta 3 (três) tipos de turbinas eólicas de diferentes fabricantes: Enercon, Suzlon e Vestas.

Tabela 3 – Modelos de turbinas eólicas.

Fabricante	Turbina	Potência	Foto
Enercon	E - 82 E2 / 2,0 MW	2 MW	
Suzlon	S9X	2,1 MW	
Vestas	V112 - 3.45MW	3,45 MW	

Fonte: ENERCON, 2017; SUZLON, 2017; VESTAS, 2017.

2.5. Levantamento de acidentes no Brasil

Segundo o artigo 19 da Lei nº 8.213, de 24 de julho de 1991:

Acidente do trabalho é o que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço de empresa ou de empregador doméstico ou pelo exercício do trabalho dos segurados referidos no inciso VII do art. 11 desta Lei, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte ou a perda ou redução, permanente ou temporária, da capacidade para o trabalho (BRASIL, 1991).

Além disso são considerados acidentes do trabalho os que ocorrem no trajeto entre a residência e o local de trabalho, a doença profissional que é a doença produzida ou desencadeada pelo exercício da atividade e a doença do trabalho que é a adquirida ou desencadeada devido a condições especiais de trabalho (BRASIL - AEAT, 2015).

Além de acidentes envolvendo o funcionário, existem acidentes que envolvem apenas danos materiais sem que haja danos à saúde e à integridade do ser humano. Em construções de grande porte como a instalação de uma torre ou parque eólico, avarias podem ocorrer em qualquer momento, desde o transporte de materiais e equipamentos para sua construção, passando por problemas na própria instalação, durante a sua operação e manutenção e ainda, durante o seu desmanche.

Por essa razão, Caithness Windfarm Information Forum, fez o levantamento de um vasto material sumarizando um dos maiores acervos de informação existente no mundo desde 1980 até o mês de março de 2018, totalizando 2.231 acidentes até hoje e através deste documento pode-se concluir que os dados disponibilizados pela instituição equivalem a apenas 9% dos números reais de acidentes ocorridos no Reino Unido (CWFI, 2018).

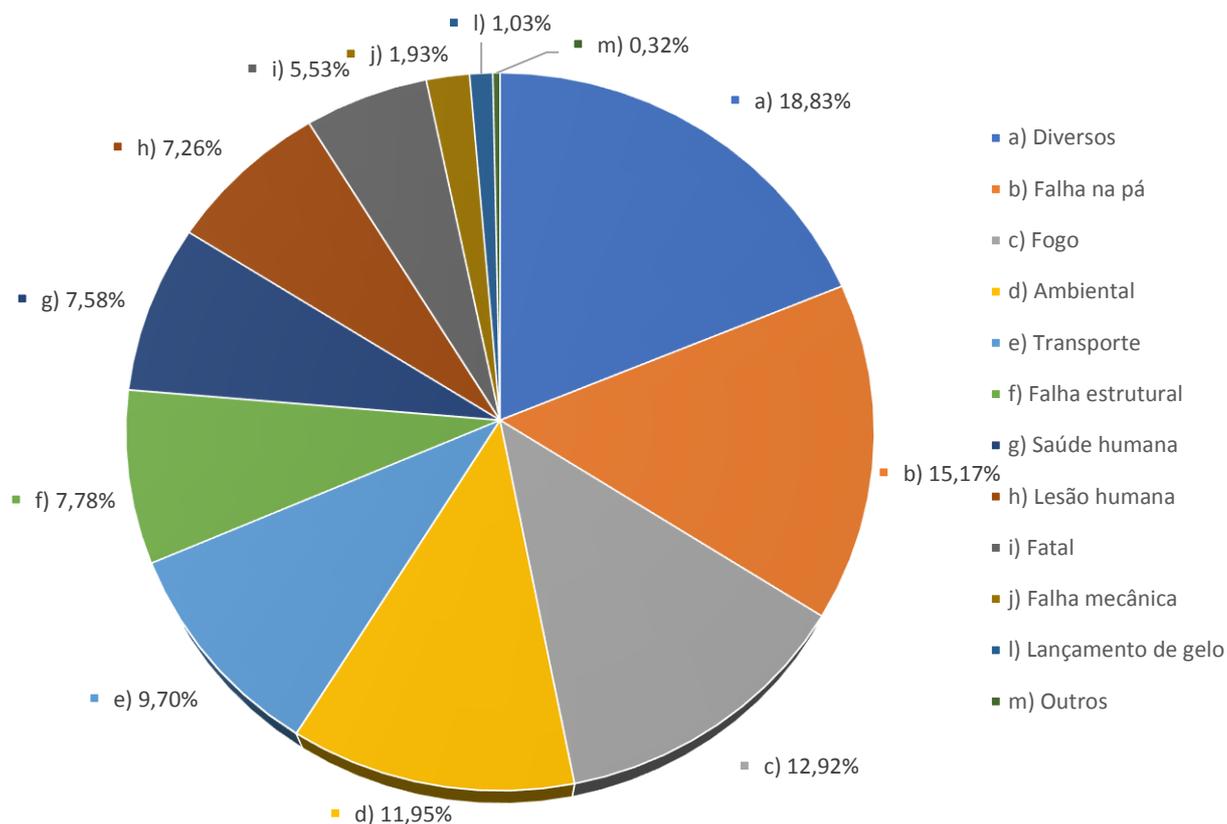
A principal motivação para tamanho acervo é a preocupação com a saúde e a segurança das pessoas envolvidas em qualquer nível com este segmento de geração de energia. Porém, as indústrias no geral garantem a confidencialidade dos acidentes o que, neste caso, dificulta o agrupamento fiel de informações.

Esta realidade vem sendo modificada e alguns países estão começando a admitir que turbinas eólicas podem sim apresentar riscos à saúde e à segurança humana. Desde 2014 locais como Irlanda e o estado alemão da Baviera aprovaram leis estipulando que a distância mínima entre comunidades e parques eólicos deve ser de 2 km (CWIF, 2017). A Escócia foi além e aumentou essa distância mínima em 2,5 km (SCOTLAND POLITICS, 2014).

De forma resumida, utilizando como base a tabela de acidentes da CWIF, pode-se sintetizar os 1.556 acidentes ocorridos em parques eólicos ao redor do mundo nos últimos 10 anos conforme mostra o Gráfico 1. Observa-se que o acidente mais comum é a falha nas pás da turbina, representando 15,17% dos acidentes nos últimos 10 anos, o que equivale a 236 acontecimentos. Em segundo lugar, aparece o fogo com 12,92%, equivalente a 201 ocorrências. Outro número que chama a atenção é a fatalidade de 86 acidentes, equivalendo a 5,53% do total. Dentro da categoria “Outros”, foram incluídos acidentes devido à poeira, explosão, descargas elétricas, curto circuitos e penetração de água, cada um desses tendo ocorrido apenas uma vez durante os 10 anos sintetizados no gráfico. Já a maior porção do gráfico, referente a acidentes diversos foram assim classificados por serem acidentes sem maiores danos tanto aos seres humanos, quanto danos materiais. Os 18,83% referem-se aos 293 acidentes de falha de componentes ou falhas mecânicas que não resultaram em danos estruturais, falhas devido à falta de manutenção, falhas elétricas que não resultaram em incêndio ou eletrocussão, acidentes de construção e suporte e também acidentes de raios que não resultaram em danos às pás ou incêndio (CWIF, 2018).

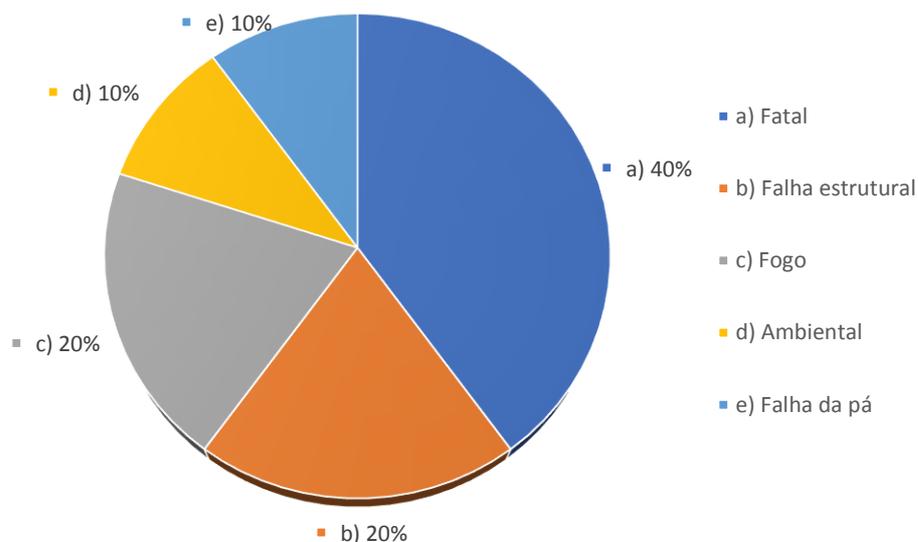
Particularizando os acidentes relacionados ao fogo que em sua grande maioria estão vinculados ao segmento elétrico, pode-se dizer que este tipo de acidente traz consequências irreversíveis tanto financeiramente quanto para a reputação da empresa. Segundo um relatório de novembro de 2015 da empresa americana GCube, especialista em serviços de seguros para o setor de energia eólica em todo o mundo, há uma média de 50 incêndios de turbinas eólicas por ano, nem metade do que foi relatado pela CWIF (GCUBE INSURANCE, 2015).

Gráfico 1 - Tipos de acidentes em parques eólicos ocorridos entre janeiro/2008 e dezembro/2017 – escala global.



Fonte: Adaptado de CWIF, 2018.

Sobre o Brasil, este banco de dados traz uma coletânea de 10 acidentes ocorridos em território nacional agrupados em 5 tipos diferentes como mostra o Gráfico 2. Da totalidade de acidentes, 4 resultaram em fatalidades, 2 foram resultado de falhas estruturais e outros 2, de fogo, além de 1 acidente de tipo ambiental e 1 proveniente de falha na pá.

Gráfico 2 - Tipos de acidentes em parques eólicos brasileiros entre janeiro/2008 e dezembro/2017.

Fonte: Adaptado de CWIF, 2018.

A fim de ratificar os dados coletados expressos no Gráfico 2, uma estimativa foi realizada. Para isso, foram utilizados os dados divulgados pela Previdência Social (Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho) e pelo Ministério de Minas e Energia (Relatório Final de Balanço Energético Nacional) também entre os anos de 2007 e 2015. A estimativa baseou-se na quantidade de acidentes registrados segundo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) que engloba todos os tipos de fontes geradoras de energia em uma mesma classe, conforme a categorização mostrada na Tabela 4 e na porcentagem de energia eólica na matriz energética nacional no ano específico. De outra forma, no ano de 2009 foram registrados 790 acidentes, como neste ano a porcentagem de energia eólica na matriz nacional foi de 0,2% estima-se que tenham ocorrido 2 acidentes neste segmento.

Tabela 4 – Classificação Nacional de Atividades Econômicas

Seção	Código CNAE 2.0			Descrição
	Divisão	Grupo	Classe	
D	35	35.1	Eletricidade e Gás	
			Eletricidade, Gás e Outras Utilidades	
	35.11-5	Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica		
		Geração de energia elétrica		

Fonte: Adaptado do BRASIL – IBGE, 2015.

Os dados relativos aos demais anos encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 – Relação entre acidentes de trabalho e a geração de energia eólica no Brasil

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Número de Acidentes (Classe 3511)	751	740	790	637	668	644	611	687	699
% de energia eólica na matriz nacional	0	0	0,2	0,4	0,5	0,9	1,1	2,0	3,5
Acidentes que podem ser relacionados à geração de energia eólica	0	0	2	3	3	6	7	14	24

Fonte: Adaptado de PREVIDÊNCIA SOCIAL e BRASIL - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015.

Os números de acidentes utilizados são classificados como “Acidentes Típicos” pois estão relacionados à característica da atividade profissional desempenhada (BRASIL - AEAT, 2015).

2.6. Normas e legislações: nacionais e internacionais

Para dar início a um projeto o planejamento é a parte mais importante para evitar que ocorram falhas no seu desenvolvimento. Para isso, normas nacionais e internacionais são utilizadas para corroborar com a qualidade, padrão e segurança da obra. Na Tabela 6 estão listadas algumas destas normas referentes ao planejamento e execução de obras no setor de energia eólica.

Tabela 6 – Normas Internacionais.

Norma	Título	Resumo
IEC 61400	<i>Wind turbines</i>	Descreve os mínimos requisitos de projeto para os aerogeradores. Aborda todos os subsistemas dos aerogeradores, tais como: mecanismos de controle e proteção, sistemas elétricos internos, sistemas mecânicos e estruturas de suporte.
ISO 9001	<i>Quality management systems – Requirements</i>	Estabelece requisitos para o Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) de uma organização.

IEC 60034	<i>Rotating electrical machines</i>	Norma da Comissão Eletrotécnica Internacional que visa regulamentar máquinas elétricas rotativas.
IEC 60038	<i>IEC standard voltages</i>	Define padrões de tensões para uso em sistemas de alimentação elétrica de baixa e alta tensão.
IEC 60146	<i>Semiconductor convertes</i>	Especifica os requerimentos para <i>performance</i> dos tipos de conversores de semicondutores e interruptores de energia.
IEC 60173	<i>Colours of the cores of flexible cable and cords</i>	Estabelece um padrão de identificação de cores para os cabos de ligação.
IEC 60204-1	<i>Safety of Machinery - Electrical equipment of machines</i>	Aplica-se a equipamentos elétricos, eletrônicos e programáveis e sistemas não-portáteis, incluindo grupos de máquinas trabalhando de maneira coordenada.
IEC 60204-11	<i>Safety of machinery - Electrical equipment of machines</i>	Aplica-se a equipamentos elétricos, eletrônicos e sistemas de máquinas trabalhando de maneira coordenada, mas exclui aspectos de altos níveis do sistema.
IEC 60227	<i>Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450/750V</i>	Aplica-se a cabos rígidos e flexíveis com isolamento ou blindagem, se houver, com base em cloreto de polivinilo, de tensões nominais de até, incluindo, 450/750 V.
IEC 60245	<i>Rubber insulated cables of rated voltages up to and including 450/750V</i>	Aplica-se a cabos rígidos e flexíveis com isolamento ou blindagem, se houver, com base em borracha vulcanizada de tensões nominais de até, incluindo, 450/750 V.
IEC 60269	<i>Low-voltage fuses</i>	Descreve requisitos gerais de fusíveis para aplicações industriais e comerciais, residenciais, e para proteger dispositivos semicondutores.
IEC 60287	<i>Electric cables</i>	É aplicável às condições de operação estacionária de cabos em todas as tensões alternadas e tensões diretas até 5 kV, enterradas diretamente no solo, em dutos, calhas ou tubos de aço, tanto com e sem secagem parcial do solo, bem como cabos no ar.
IEC 60364	<i>Low-voltage electrical installations</i>	Fornece as regras para o projeto, montagem e verificação de instalações elétricas.

IEC 60439	<i>Low voltage switchgear and control gear assemblies</i>	Estabelece as definições e indica as condições de serviço, os requisitos de construção, as características técnicas e os ensaios para conjuntos de manobra e controle de baixa tensão.
IEC 60446	<i>Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification</i>	Fornece regras gerais para uso de cores e números a fim de identificar condutores para que se evite a ambiguidade, garantindo assim uma operação segura. Esses condutores podem ser aplicados em cabos ou núcleos, barramentos, equipamentos elétricos e instalações.
IEC 60529	<i>Degree of protection provided by enclosures (IP Code)</i>	Aplica-se à classificação dos graus de proteção fornecidos para os equipamentos elétricos com uma tensão nominal não superior a 72,5 kV.
IEC 60617	<i>Graphical symbols for diagrams</i>	Contém símbolos gráficos para serem utilizados nos diagramas eletrotécnicos.
IEC 60721-2	<i>Classification of environmental conditions</i>	Define parâmetros ambientais e um número limitado de suas gravidades dentro do intervalo de condições atendidas por produtos eletrotécnicos ao serem transportados, armazenados, instalados e usados.
IEC 60755	<i>General requirements for residual current-operated protective devices</i>	Provê os requisitos mínimos para a elaboração de normas sobre dispositivos de proteção operados com corrente residual (dispositivos residuais atuais, RCD).
IEC 60898	<i>Electrical accessories</i>	Fixa as condições exigíveis a disjuntores com interrupção no ar de corrente alternada em 60 Hz, tendo uma tensão nominal até 440 V (entre fases), uma corrente nominal até 125 A e uma capacidade de curto-circuito nominal até 25.000 A. Destinados a proteção contra sobrecorrentes de instalações elétricas de edifícios e aplicações similares.
IEC 61000	<i>Electromagnetic compatibility (EMC)</i>	Requisitos de imunidade, aplica-se aos equipamentos elétricos e eletrônicos destinados a usos residenciais, comerciais, públicos e industriais leves. Os requisitos de imunidade na faixa de frequência de 0 Hz a 400 GHz.
IEC 61024-1	<i>Protection of structures against lightning</i>	Estabelece as definições fundamentais e princípios gerais de proteção contra raios, assim como provê informações necessárias para o <i>design</i> , construção e materiais para facilitar a instalação básica interna e externa dos sistemas

		de proteção contra raios e suas estruturas.
IEC 61310-1	<i>Safety of machinery – Indication, marking and actuation</i>	Especifica requisitos para métodos visuais, acústicos e táteis de indicar informações relacionadas à segurança, na interface homem-máquina e com pessoas expostas. Especifica um sistema de cores, sinais de segurança, marcações e outros avisos, destinados a serem utilizados na indicação de situações perigosas e riscos para a saúde e para atender a determinadas emergências. Também especifica formas de codificação de sinais visuais, acústicos e táteis para indicadores e atuadores para facilitar o uso seguro e monitoramento da maquinaria.
IEC 61310-2	<i>Safety of machinery – Indication, marking and actuation</i>	Especifica requerimentos para marcação das máquinas. Estabelece regras gerais sobre marcação para identificação de máquinas, para uso seguro relacionado a perigos mecânicos e elétricos, e para evitar riscos resultantes de erros de conexões.
IEC 61312-1	<i>Protection against lightning electromagnetic impulse</i>	Fornecer informações para o projeto, instalação, inspeção, manutenção e teste de um sistema efetivo de proteção contra raios.
IEC 61400-21	<i>Wind turbine generator systems</i>	Abrange a definição e especificação das quantidades a serem determinadas para caracterizar a qualidade de energia de uma turbina eólica conectada à rede; procedimentos de medição para quantificar as características; e procedimentos para avaliar a conformidade com os requisitos de qualidade de energia, incluindo a estimativa da qualidade de energia esperada do tipo de turbina eólica.
IEC 61400-24	<i>Wind turbine generator systems</i>	Aplica-se à proteção contra raios em geradores de turbinas eólicas e sistemas de energia eólica. Define requisitos para proteção de lâminas, outros componentes estruturais e sistemas elétricos e de controle contra os efeitos diretos e indiretos de raios. Fornece orientação sobre o uso de proteção contra raios, padrões elétricos industriais e EMC (Compatibilidade eletromagnética) aplicáveis, incluindo a

		ligação terra. Fornece orientação sobre a segurança pessoal. Faz referência normativa a padrões genéricos para proteção contra raios, sistemas de baixa tensão e sistemas de alta tensão para máquinas e instalações.
		São princípios aplicáveis ao projeto de estruturas completas (edifícios, pontes, estruturas industriais, etc), os elementos estruturais e as juntas que compõem as estruturas e as fundações.
ISO 2394	<i>General principles on reliability for structures</i>	São aplicáveis às etapas sucessivas da construção, ao manuseio de elementos estruturais, à sua montagem e a todos os trabalhos no local, bem como ao uso de estruturas durante a vida útil do projeto, incluindo manutenção e reabilitação, e desmantelamento.
ISO 281	<i>Rolling bearings</i>	Especifica métodos de cálculo da capacidade de carga dinâmica básica dos rolamentos, fabricadas a partir de aço de rolamento endurecido contemporâneo. Também especifica métodos de cálculo da vida útil básica, associada a uma confiabilidade de 90%, com material de alta qualidade comum, boa qualidade de fabricação e condições operacionais convencionais.
ISO 3010	<i>Basis for design of structures</i>	Apresenta princípios básicos para avaliação de ações sísmicas em estruturas. Também inclui princípios de design sísmico, uma vez que a avaliação das ações sísmicas sobre estruturas e o desenho destas, estão intimamente relacionadas.
ISO 4354	<i>Wind actions on structures</i>	Descreve as ações do vento nas estruturas e especifica métodos de cálculo dos valores característicos das cargas do vento para uso na concepção de edifícios, torres, chaminés, pontes e outras estruturas, bem como seus componentes e apêndices.
ISO 6336	<i>Calculation of load capacity of spur and helical gears</i>	Apresenta os princípios básicos de uma introdução aos fatores de influência geral para o cálculo da capacidade de carga das engrenagens helicoidais e espirais.

ISO 76	<i>Rolling bearings</i>	Especifica os métodos de cálculo da capacidade de carga estática básica e a carga equivalente estática para rolamentos dentro das faixas de tamanhos mostradas nos padrões ISO relevantes.
ISO 8930	<i>General principles on reliability for structures</i>	Corrige a equivalência em diferentes idiomas dos principais termos utilizados no campo da confiabilidade das estruturas.

Fonte: Adaptada de IEC, 2017; ISSO, 2017.

Em relação as normas brasileiras, pode-se citar as seguintes escritas na Tabela 7:

Tabela 7 – Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho aplicadas a Parques Eólicos.

Norma	Título
NR – 01	Disposições gerais;
NR – 02	Inspeção prévia;
NR – 03	Embargo ou interdição;
NR – 04	Serviços especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho;
NR – 05	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes;
NR – 06	Equipamentos de Proteção Individual – EPI;
NR – 07	Programas de Controle Médico de Saúde Ocupacional – PCMSO;
NR – 08	Edificações;
NR – 09	Programas de Prevenção de Riscos Ambientais;
NR – 10	Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade;
NR – 11	Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais;
NR – 12	Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos;
NR – 15	Atividades e Operações insalubres;
NR – 16	Atividades e Operações perigosas;
NR – 17	Ergonomia;
NR – 18	Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção;
NR – 19	Explosivos;
NR – 20	Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis;
NR – 21	Trabalho a céu aberto;
NR – 23	Proteção contra incêndios;
NR - 24	Condições Sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho;
NR - 25	Resíduos Industriais;

- NR - 26** Sinalização de Segurança;
- NR - 27** Registro Profissional do Técnico de Segurança do Trabalho no MTB;
- NR - 28** Fiscalização e Penalidades;
- NR - 33** Segurança e Saúde no Trabalho em espaços Confinados;
- NR - 35** Trabalho em Altura.

Fonte: Adaptada de BRASIL - MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2017.

Para reforçar que as normas supracitadas sejam aplicadas de forma correta, deve-se investir na mão-de-obra que será empregada neste segmento, focando principalmente na qualidade, habilidade e desenvolvimento do funcionário encarregado do serviço, provendo treinamentos teóricos e práticos.

2.7. Qualificação do profissional em segurança

O setor de energia eólica emprega no Brasil cerca de 160 mil pessoas – entre postos diretos e indiretos e é o quinto maior empregador do mundo, números estes que só tendem a crescer nos próximos anos (IRENA, 2016; ABEEÓLICA, 2016). Os profissionais demandados são os mais variados, desde técnicos até gestores. O difícil é precisar onde estes empregos são criados uma vez que a cadeia está espalhada pelo país.

A qualificação do profissional desta área se dá através de treinamentos oferecidos por empresas especializadas, universidades, centros tecnológicos ou pelo próprio CREA, dependendo da região. A carência de profissionais competentes prejudica o setor e atrasa possíveis investimentos de organizações ou mesmo de governos (ABEEÓLICA, 2017b).

A duração dos cursos varia e o público alvo são:

Profissionais tais como, técnicos, engenheiros, acadêmicos, empresários, investidores e estudantes das mais diversas áreas de interesse, que desejam atuar diretamente no setor eólico, como também profissionais que estejam buscando conhecimento no setor a fim de adequar seus produtos e serviços ao seguimento que mais cresce no país, ou seja, o de energia eólica. (CREA-RN, 2017).

Em sua maioria, os cursos têm como objetivo proporcionar aos participantes o conhecimento dos princípios de segurança e das atividades de um parque eólico, quanto aos seus principais componentes e funcionamento de um aerogerador, permitindo entender as rotinas de manutenção e operação (PETROBRASIL, 2017). A

meta é capacitar os profissionais da área, gerar mão de obra qualificada e contribuir para o desenvolvimento sustentável do país.

Devido à quantidade de parques instalados, 131 chegando a quase 3,6 GW de potência disponível, o estado do Rio Grande do Norte conta com diversos cursos ofertados que visam a capacitação do profissional no setor (CCEE, 2017). Os conteúdos programáticos variam quanto ao nível de aprofundamento e abrangência. A Tabela 8 traz uma concatenação destes:

Tabela 8 – Cursos de capacitação profissional ofertados – RN.

Conteúdo programático	Duração
Medição Anemométrica para a Energia Eólica	40h
Fundamentos de Circuitos Elétricos	32h
Fundamentos de Circuitos Eletrônicos	32h
Normalização e Desempenho de Aerogeradores	20h
Aerodinâmica de Aerogeradores	16h
Tecnologias em Aerogeradores	40h
Sistemas de Automação de Aerogeradores	20h
Manutenção de Turbinas Eólicas	20h
Engenharia Elétrica na Construção do Parque Eólico	20h
Ferramentas de Software Utilizadas na Energia Eólica	20h
<i>Layout</i> de Parques Eólicos	20h
Segurança no Trabalho	30h
Engenharia Civil na Construção do Parque Eólico	10h
Viabilidade Econômica de Projetos Eólicos	20h
Legislação Ambiental Aplicada à Implantação de Parques Eólicos	20h
Fundamentos de energia eólica	24h
Segurança do trabalho em parque eólico	24h
Construção de parques eólicos	24h
Instalação & comissionamento - I&C	24h
Operação e manutenção - O&M	24h
Rotinas operacionais de subestações.	24h
Eletricidade Básica	
NR-10 – Trabalhos em eletricidade	120h
NR-11 – Elevação e Movimentação de cargas	

NR-23 – Prevenção e combate a incêndio

NR-33 – Trabalhos em espaço confinado

NR-35 – Trabalho em altura

Primeiros Socorros

Fonte: Adaptada de CTGAS, 2017; CREA – RN, 2017; PETROBRASIL, 2017.

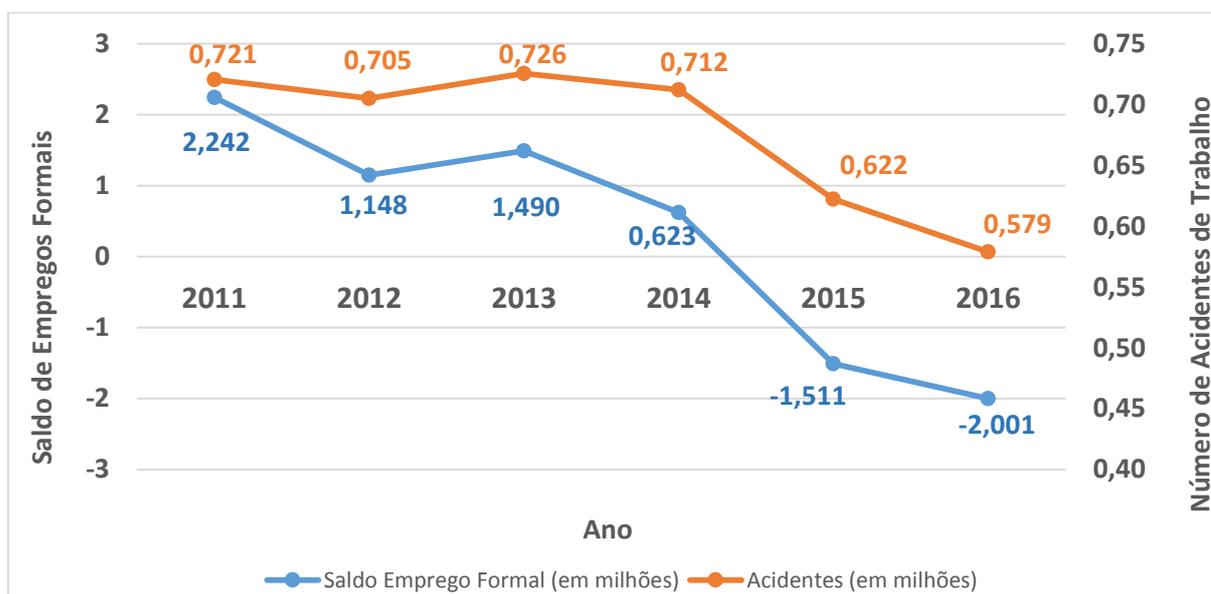
Após a elaboração minuciosa do projeto, estudo da aplicação dos componentes e sistemas, planejamento da instalação, operação e manutenção das turbinas eólicas, precaução de avarias através da implementação das normas e os devidos treinamentos e capacitações dos colaboradores, pode-se esperar redução nos índices de acidentes de uma forma geral.

3. LEVANTAMENTO DE ACIDENTES DE TRABALHO

Segundo Leonardo Osório, Procurador do Ministério Público do Trabalho (MPT) em entrevista ao jornal Bom Dia Brasil (exibido em 13/04/2018), a Organização Internacional do Trabalho estima que para cada acidente notificado existem sete não-notificados (ACIDENTES DE TRABALHO, 2018).

Além disso, de acordo com o AEAT (BRASIL – MINISTÉRIO DA FAZENDA, 2016), o número de acidentes relatados no Brasil caiu de 622.379 para 578.935 de 2015 a 2016. O que pode ser confundido com uma melhora no nível da segurança no trabalho, tem na verdade relação com a diminuição dos postos de trabalho neste período. O Cadastro Geral de Empregados e Desempregados informa que houve uma diminuição de 0,5 milhão de postos com carteira assinada neste mesmo período, conforme pode-se observar no Gráfico 3 (PDET, 2018). Ainda, pode-se observar neste mesmo gráfico uma relação direta entre o número de empregados com carteira assinada e a quantidade de acidentes de trabalho registrados entre os anos de 2011 a 2016. Entre 2011 e 2012 houve uma queda no saldo de empregos formais e também do número de acidentes, já no ano seguinte houve um aumento do saldo e também um aumento no número de acidentes e assim sucessivamente, como indicado no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Comparação entre o saldo de empregos formais e acidentes de trabalho de 2011 a 2016.



Fonte: Adaptado de PDET, 2016; BRASIL - MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2016.

Ademais, de acordo com a Pirâmide de Bird, mencionada na obra *Damage Control* do Engenheiro Frank Bird que estudou a relação entre acidentes, níveis de severidade e suas frequências de ocorrências, existe uma relação de proporcionalidade entre esses números. Ou seja, há 1 lesão incapacitante ou grave, para cada 10 lesões leves, para 30 acidentes com danos a propriedade, para 600 incidentes (1:10:30:600), conforme observa-se na Figura 19 (MACIEL, 2001).

Figura 19 – Pirâmide de Bird.



Fonte: MANUTENÇÃO EM FOCO, 2017.

Apesar deste estudo e proporção terem sido baseados em um certo tipo de organização em determinado momento, seu ponto significativo é ressaltar que lesões importantes/graves são esporádicas e que muitas oportunidades de medidas de prevenção são oferecidas pelos eventos mais frequentes e menos graves.

Esses acontecimentos estão conectados e podem ser comparados com o efeito dominó, para melhor compreensão. Este efeito se inicia pela falta de controle, sendo esta uma falha administrativa e que está diretamente ligada a outros fatores como planejamento, organização e até à falta de padrões de controle.

No decorrer desta pesquisa, as fontes de informações nacionais e internacionais disponíveis para corroborar os números analisados, mostraram-se escassas ou inacessíveis. Um dos principais motivos seria a falta de uma padronização internacional para notificar os acidentes ocorridos, dificultando assim um levantamento estatístico válido para o setor (CHAUMEL, GIRAUD, ILINCA, 2015).

Além da procura por bancos de dados disponíveis e visando a obtenção destes diretamente das fontes, entrou-se em contato com fornecedores, concessionárias, operadoras, técnicos e especialistas do setor. Apesar dos esforços e ratificando a falta

de compartilhamento de informações públicas a respeito de números de acidentes, não foram obtidos retornos satisfatórios e significativos para elaboração de um estudo para análise das condições de segurança dos parques eólicos no Brasil.

Com as estatísticas da OIT, do MT, com a concepção apresentada no estudo de Bird, bem como com a estimativa de acidentes realizada anteriormente (Tabela 5), tem-se a ideia de que estes números não retratam a realidade.

Além disso, o documento formulado pela COLUNA (2015) – Consultoria, desenvolvimento e treinamento, apresenta ainda nove (9) acidentes relacionados a incêndio no período de março/2009 a outubro/2016 em território brasileiro. Dentre esses, nenhum encontra-se apontado na base de dados da CWIF utilizada para análise neste documento e que apresenta apenas 2 acidentes desta causalidade, para o mesmo intervalo de tempo. Ou seja, dessa maneira reforçamos o argumento de que os números apresentados pelo setor estão aquém da realidade.

Diante do que, para embasar esse trabalho, optou-se por redirecionar a abrangência do presente estudo de forma a incluir 9 (nove) países na análise dos dados e a partir desta, e baseando-se nos diferentes tipos de riscos atrelados às fases de um projeto, realizar um comparativo para identificar possíveis problemas comuns, replicando as sugestões e melhorias para o Brasil.

Sendo assim, os países escolhidos foram: China, EUA, Alemanha, Reino Unido, Espanha, Canadá, França, Índia e Itália, devido à quantidade de dados disponíveis pela CWIF, por estarem entre os 10 maiores com capacidade de energia eólica instalada em seus territórios, e por serem algumas das nações referências de tecnologia e desenvolvimento neste setor.

Desta forma foi realizada uma análise das causas de acidentes referentes a incêndios e suas circunstâncias juntamente com o levantamento destes dados nos países citados anteriormente, para posteriormente relacionar estes à realidade brasileira visando a prevenção destes acidentes em território nacional.

3.1. Causas de incêndios e os números pelo mundo

A geração de energia por turbinas eólicas difere dos tradicionais sistemas de geração em termos do risco de perda total do sistema como resultado de um incêndio inicial devido à baixa concentração de pessoas trabalhando diariamente no parque eólico, o que dificulta a identificação precoce de focos de incêndio e, quando essa identificação é realizada por componentes que monitoram o sistema, a distância dos

parques aos centros urbanos também se torna um empecilho no combate ao foco de incêndio que pode resultar na perda total do sistema (CFPA-E, 2012).

Não obstante, mercado de seguros no segmento eólico é bem atrativo devido aos altos valores que envolvem tais empreendimentos. As principais indenizações pagas, além da por queda de raios, são por conta da quebra de máquinas, incêndios nos geradores e problemas de montagem (COLUNA, 2015).

Ainda que as consequências relacionadas com danos pessoais estejam abaixo de outros riscos e poucas pessoas sejam atingidas tendo em vista o número de funcionários que tem acesso aos postos de trabalho, no interior dos aerogeradores, um dos principais desafios da indústria de energia eólica é o fato das turbinas eólicas se incendiarem. Estes incidentes representam as maiores preocupações entre projetistas, fabricantes, produtores e seguradoras uma vez que acarretam danos consideráveis como perdas diretas decorrentes do sinistro, interrupções da produção, e danos na própria imagem das empresas produtoras.

Algumas características em particular da nacele como a alta concentração de potenciais fontes de ignição, a impossibilidade de combate ao fogo por brigadas de incêndio devido à altura das torres, e a localização em lugares remotos, acrescem os riscos de fogo neste sistema. Não obstante, é nela que se encontram alguns dos itens de maior valor financeiro do projeto eólico, de forma que os custos com restauração após um incêndio podem chegar ao valor original da turbina e ainda aumentam de acordo com o aumento da capacidade instalada.

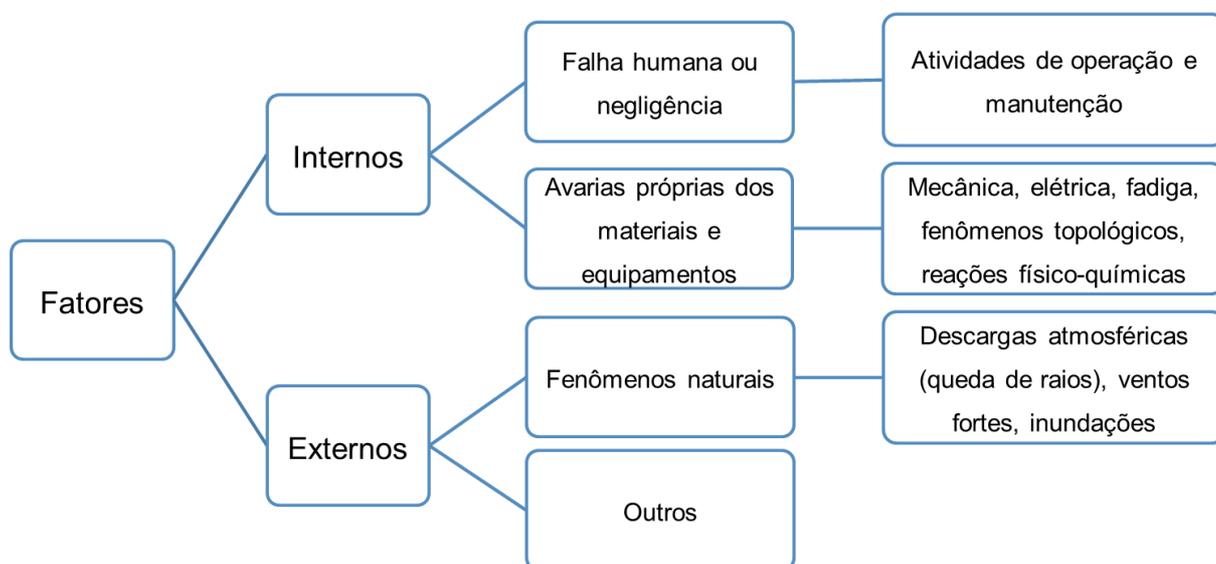
Ademais, em casos de total dano da nacele o tempo de parada para reparo pode variar entre 9 até 12 meses (CHAUMEL, GIRAUD, ILINCA, 2015). Se considerado o complexo eólico Campos Neutrais, maior complexo eólico da América Latina, com 258 MW e utilizando-se como base o preço médio da energia eólica do último leilão de energia realizado pela CCEE no Brasil de R\$ 67,60 por MWh (BRASIL - EPE, 2018), uma parada de 9 meses pode chegar ao valor aproximado de 113 milhões de reais.

Em casos de incêndios na subestação central de um parque eólico, há a desconexão do abastecimento de energia de todas as plantas a rede. Uma falha nesta situação torna os custos de reparo e tempo por hora parada mais elevados. Em situações mais extremas, existe ainda a possibilidade da queda de torres e componentes que podem atingir demais partes do sistema, gerando focos de incêndios secundários. Devido às longas distâncias entre as usinas e as estações de combate a incêndio, somado aos fortes ventos presentes nestas regiões, estes focos

disseminam-se rapidamente podendo chegar a níveis de incêndios florestais, em muitos casos difíceis de serem combatidos. Nestas situações, além dos custos diretos ao sistema, os danos ao meio ambiente são irrecuperáveis.

Os incêndios podem ser classificados devido a fatores internos, decorrentes de falhas humanas ou negligências (resultantes principalmente de atividades de operação e manutenção) e avarias próprias dos materiais e equipamentos (mecânica, elétrica, fadiga, fenômenos topológicos, reações físico-químicas); ou a fatores externos, decorrentes de fenômenos naturais (queda de raios, ventos fortes, inundações, etc.); e outros fatores (COLUNA, 2015). Na Figura 20 tem-se um diagrama com esta classificação.

Figura 20: Classificação dos incêndios.



Fonte: autoria própria.

As figuras a seguir apresentam alguns tipos de incêndios devido a danos causados por: quedas de raios (Figura 21); circuitos ressonantes (Figura 22) e falha nas instalações elétricas (Figura 23).

Figura 21 - Incêndio após raio atingir turbina eólica.



Fonte: PORTAL ENERGIA, 2016.

Figura 22 – Circuitos Ressonantes.



Fonte: CFPA-E, 2012.

Figura 23 – Avaria elétrica com componente queimado.



Fonte: PORTAL ENERGIA, 2017.

Partes significativas dos danos aos sistemas de energia e de controle podem ser devido às descargas que atingem linhas elétricas e de comunicação. O risco especial de queda de raios deve-se além da grande estrutura das torres dos aerogeradores, às elevadas altitudes a que estes são expostos quando instalados. Os Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) devem constituir-se e serem planejados para funcionar como um componente natural do aerogerador, de acordo com as novas tecnologias e normas vigentes. Sistemas de proteção não dimensionados e/ou não implementados corretamente, ou em que as devidas manutenções não sejam executadas, podem fazer com que estes riscos de incêndios aumentem. Além disso, em uma instalação elétrica todos os condutores estão expostos a facilitar o caminho de sobretensões transitórias, provocando assim perturbações na alimentação de todos os sistemas elétricos conectados. Ademais, uma descarga atmosférica pode vir a produzir efeitos secundários, tais como: efeitos eletrodinâmicos, térmicos, magnéticos e eletromagnéticos; sobrecarga; danos e desprendimento de componentes; incêndios florestais; e contaminação (óleo) dos aerogeradores (BONFIM, YAMANISHI, 2017).

Os sistemas eletroeletrônicos dos aerogeradores, por exemplo, são considerados elementos muito sensíveis aos efeitos eletromagnéticos secundários gerados pelas descargas atmosféricas diretas ou nas proximidades. Tais efeitos podem vir a resultar em problemas no sistema de frenagem aerodinâmica, provocando uma leitura incorreta da velocidade das hélices do aerogerador. Caso estas se encontrem acima dos valores permitidos pelo projeto, sem que haja a detecção pelos instrumentos de

controle, elevam-se os riscos de incêndios na presença dos raios ou ventos fortes (COLUNA, 2015).

Além de raios, falhas nas instalações elétricas das turbinas estão entre as causas mais comuns de fogo, dentre as quais podem ser citadas: superaquecimento após sobrecarga; falha no aterramento / curto-circuito; sobretensão; arcos elétricos e ressonância. Falhas típicas incluem (CFPA-E, 2012):

- defeitos técnicos ou componentes na eletrônica de potência que foram dimensionados errados;
- falha de interruptores;
- falha do controle eletrônico;
- alta resistência de contato devido a contatos insuficientes com conexões elétricas;
- conceito de proteção elétrica insuficiente no que diz respeito à identificação de defeitos de isolamento e seletividade de unidades de desligamento;
- não desligamento de todos os polos do gerador em caso de falha / desligamento da turbina;
- proteção contra surtos ausente no lado de média tensão do transformador;
- ressonâncias em circuitos.

No caso de falha dos freios aerodinâmicos, os mecânicos, que reduzem a velocidade do rotor, podem atingir temperaturas que resultam na ignição de material combustível. No caso de tal frenagem de emergência, faíscas voadoras causadas por freios mecânicos sem tampas também representam um alto risco, já que estas também podem inflamar devido à alta presença de materiais combustíveis e inflamáveis (CFPA-E, 2012). Ademais, defeitos em turbinas ou em suas partes que, por exemplo, gerem vazamentos dos sistemas de óleo e sujeira, aumentam o risco de incêndio.

Nos casos de sobrecarga e má lubrificação das montagens do gerador e da caixa de engrenagens, as conexões podem chegar a temperaturas elevadas. Com isso, tem-se o risco dos materiais combustíveis e lubrificantes inflamarem. Por exemplo, se uma falha na montagem levar à fricção de componentes rotativos, as faíscas voadoras resultantes podem gerar um foco de incêndio.

Ainda, alguns serviços de reparação, montagem e desmantelamento, envolvem atividades que também geram riscos de incêndio devido às altas temperaturas, são

elas: soldagem, corte abrasivo e corte com chama (CFPA-E, 2012). As faíscas de solda, corte e retificação são particularmente perigosas, pois podem inflamar materiais combustíveis a uma distância de 10 m ou mais do local de trabalho. Muitos focos surgem várias horas após a conclusão do trabalho, envolvendo riscos de incêndio.

Óleos hidráulicos, resíduos contendo óleo que não foram removidos e lubrificantes, que são armazenados na nacele, são cargas adicionais de incêndio e não apenas aumentam desnecessariamente o risco, mas também podem aumentar a propagação do fogo (COLUNA, 2015).

Com os meios atualmente disponíveis, as brigadas de incêndio não têm qualquer chance de combater um incêndio em turbinas eólicas se a nacele ou rotor forem afetados. As escadas da plataforma giratória da brigada de incêndio não atingem a altura necessária e, portanto, uma nacele que está em chamas não pode ser alcançada de fora. O caminho para a nacele via escada ou elevador de uma turbina em chamas também é perigoso para os bombeiros e, portanto, isso também não é uma opção. Os bombeiros estão expostos ao risco de serem feridos pela queima de peças que caem, mesmo no chão, no entorno da turbina.

Devido ao fato de que há uma tendência crescente de integrar transformadores na nacele, os bombeiros também devem prestar atenção às linhas de alta tensão. Além disso, são diversos os problemas que podem ocorrer devido a falhas no transformador, como: sobreaquecimento por falta de refrigeração, falhas no isolamento (Figura 24), mal dimensionamento da potência nominal, ligações com defeito e defeito na fabricação, aumentando o risco de incêndios (MADUREIRA, 2014).

Figura 24 – Defeito no isolamento do transformador de média tensão.

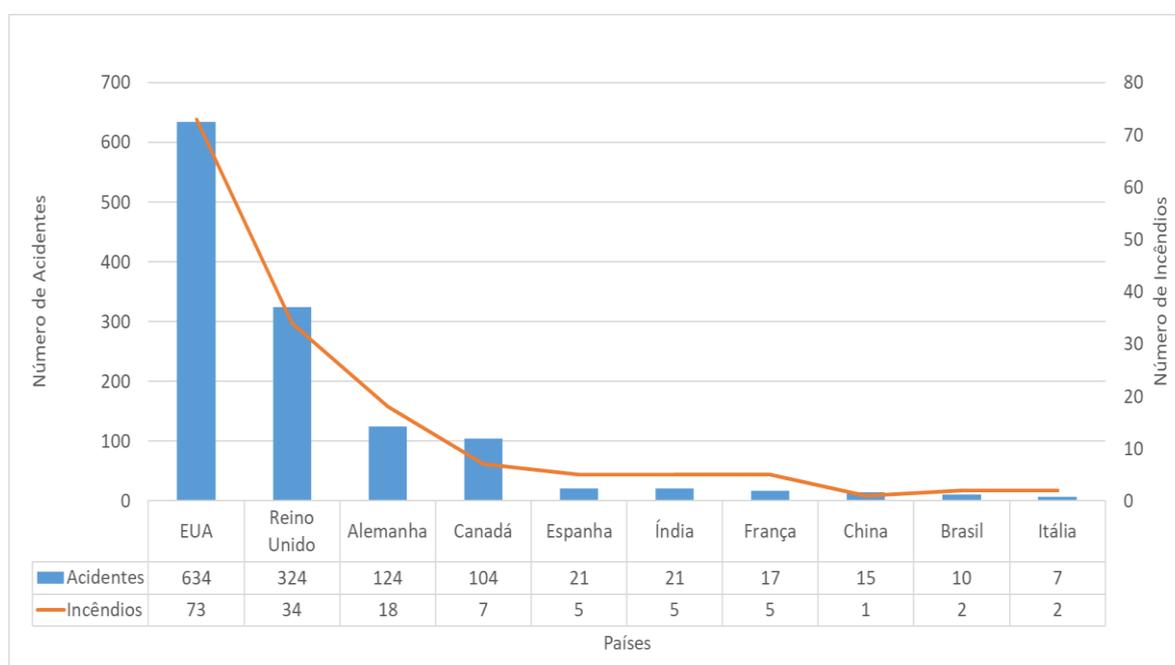


Fonte: PORTAL ENERGIA, 2016.

Com relação aos incêndios, o trabalho dos bombeiros tem sido restrito à proteção do local do incêndio e à prevenção de incêndios secundários no solo ou em instalações adjacentes.

Diante do supracitado e utilizando-se do panorama dos 10 maiores países em potência instalada (Figura 1, pg.13), realizou-se o levantamento de acidentes entre esses países visando direcionar este estudo para a segurança no setor elétrico. Para isso, selecionou-se os acidentes enquadrados na categoria de incêndios, devido a sua relevância para o sistema eólico de modo geral. O resumo deste levantamento encontra-se no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Número de Acidentes e Incêndios por país de jan/2008 a dez/2017.



Fonte: Adaptado de CWIF, 2018.

Pode-se ver no gráfico que os maiores números de acidentes registrados pela CWIF são provenientes dos EUA com um total de 634 acidentes sendo 73 referentes a incêndios, e em segundo lugar, aparece o Reino Unido com um total de 324 acidentes e 34 referentes a incêndios. O Brasil aparece apenas em 9 lugar somando 10 acidentes no total sendo 2 incêndios.

Embora os incêndios sejam uma constante entre os dez principais países produtores de energia eólica pode-se ver uma grande diferença no levantamento de dados. A China, primeira colocada em potência instalada, aparece apenas em oitavo

lugar quanto ao número de acidentes com um total de 15 em 10 anos sendo desses apenas 1 referentes à incêndio. Já os EUA, segundo colocado em potência instalada, figura em primeiro lugar no número de acidentes gerais e também, de incêndios. O fato de um país desenvolvido como os EUA estarem encabeçando este *ranking* não necessariamente significa dizer que as condições de trabalho sejam piores ou precárias. Pode-se associar esta discrepância a um maior comprometimento com a fiscalização, apuração e confiabilidade de dados reportados do que em outros países e também um possível aumento na liberdade de divulgação dos dados deste setor no país.

3.2. Prevenção de incêndios com foco no setor eólico brasileiro

O mecanismo de atuação de um incêndio em um parque eólico pode ser considerado imprevisível, tendo em vista as peculiaridades que caracterizam este ambiente: diferentes topologias, configurações estruturais, materiais de constituição, localização do foco de incêndio e a quantidade de material combustível que pode existir no interior do equipamento.

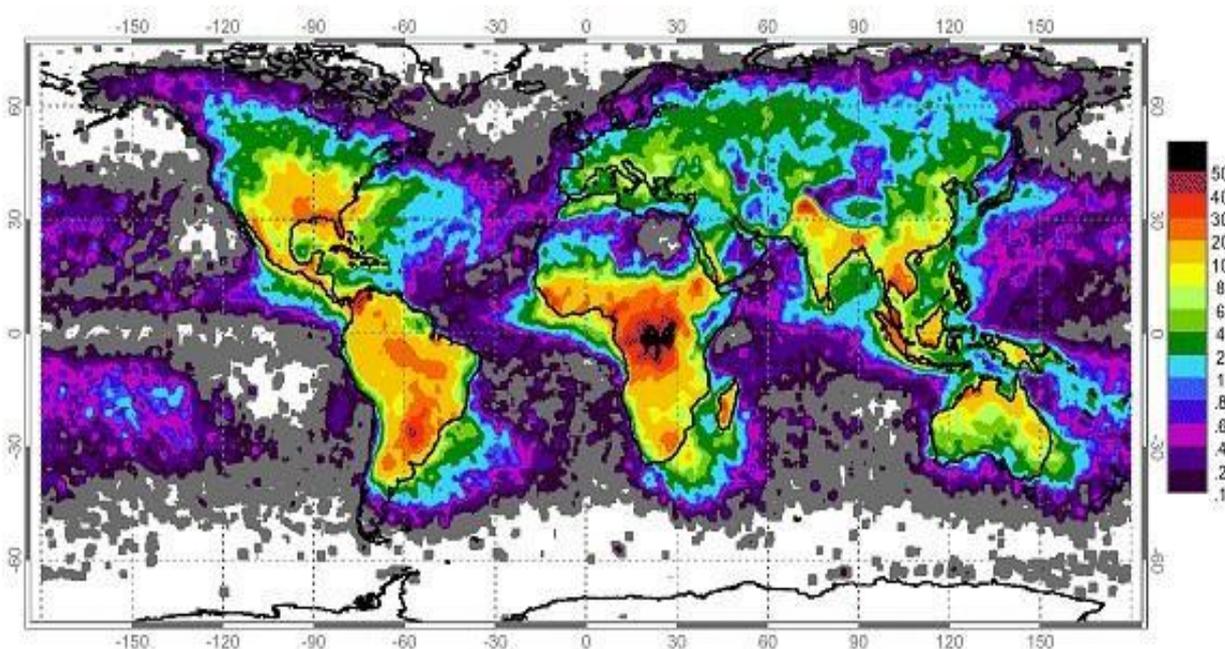
Sem dúvida, a proteção dos aerogeradores contra incêndios deve ser projetada, caso a caso, tendo em vista todas as especificidades de cada modelo. Devem ser levantados alguns detalhes de projeto, como: pontos críticos com relação aos riscos de facilitar os focos de incêndio, bem como os fatores inerentes a sua construção, funcionamento e condições regionais de localização. Independente das dificuldades mapeadas, um conjunto de medidas destinadas a eliminar ou minimizar os efeitos pelas condicionantes de risco deve ser elaborado.

Para a redução dos riscos, estes devem ser identificados e os aspectos de proteção levados em conta durante o planejamento e a construção do parque. Mais especificamente sobre a proteção contra raios e sobretensões, deve-se equipar a turbina eólica com proteções que devem cobrir as pás, a nacelle e o rotor, bem como qualquer instalação ou equipamentos elétricos, incluindo cabos, que sejam relevantes para a operação e segurança do sistema.

O Brasil é um dos países que possui altos índices de incidência de raios no mundo, e por este motivo, torna-se tão importante e imprescindível a proteção contra descargas atmosféricas nas turbinas. Existem alguns parâmetros que servem para avaliar a frequência com que os raios ocorrem em determinado ponto: densidade de

descargas à Terra e a superfície de captação da estrutura (BONFIM, YAMANISHI, 2017). A densidade de descargas é o número de descargas à Terra por quilometro quadrado no ano, sendo um parâmetro ceráunico¹ para quantificar os raios em uma zona (QENERGIA, 2018), como mostra a Figura 25. Já a superfície de captação é a área do terreno que possui a mesma frequência anual de descargas que as estruturas instaladas.

Figura 25 –Distribuição global de raios entre 2003 e 2015.



Fonte: EARTH OBSERVATORY - NASA, 2001.

Nas situações de raios com intensidade muito elevada, se o sistema de aterramento não responde satisfatoriamente, os efeitos secundários podem afetar a composição física dos materiais. Ou seja, efeitos de evaporação da água e cristalização dos materiais por ionização, fusão instantânea ou perda direta do material de composição do elemento atingido. O valor da corrente elétrica do raio e seu espectro podem gerar uma modificação molecular, como a cristalização de elementos mais simples ou de elementos compostos como no caso das fibras de carbono. A cristalização por sua vez pode implicar na fadiga dos materiais. Alguns materiais chegam a perder a sua flexibilidade e sua resistência mecânica para as quais foram projetadas (COLUNA, 2015).

¹ Parâmetro Ceráunico: O Índice Ceráunico indica o número de dias de trovoadas numa determinada região por ano. As cartas isoceráunicas foram estabelecidas para delinear as curvas que ligam as localidades que têm o mesmo índice ceráunico (QENERGIA, 2018).

Nos casos mais extremos, sob altas temperaturas (20.000 a 30.000 °C) devido à existência de vazios nas pás, os danos podem ser destrutivos e irreversíveis. Se o raio adentra a estes vazios, a tendência é a destruição total das pás, em decorrência de uma expansão explosiva do ar contida na estrutura das hélices que inicia a formação de fissuras e rachaduras no seu revestimento. Em outras palavras, a onda de pressão do choque térmico é capaz de explodir as pás ou romper a sua estrutura construtiva (COLUNA, 2015).

Além disso, a proteção dos sistemas elétricos, bem como as medidas para identificar falhas no sistema de potência e outras condições operacionais anormais em turbinas eólicas e nos sistemas periféricos associados, deve ser de última geração e estar em conformidade com os padrões nacionais atuais. Sua principal tarefa é identificar as falhas seletivamente e desligar imediatamente partes defeituosas do sistema de energia ou equipamentos elétricos individuais.

Como citado anteriormente, existem diversos materiais combustíveis espalhados por diferentes pontos da estrutura, para minimizar os riscos estes materiais devem ser escolhidos de acordo com as características técnicas exigidas além de serem preferencialmente não combustíveis ou terem um ponto de inflamação alto que esteja significativamente acima das temperaturas de operação dos sistemas.

Serviços de reparos, montagens ou desmontagens de estruturas, que envolvem riscos de incêndios, devem ser evitados assim como possíveis fontes de ignição, tais como: faíscas voadoras, superfícies quentes, curto-circuito e arcos elétricos.

Toda a área da turbina eólica deve ser declarada área para não fumantes (CFPA-E, 2012). A fim de garantir o cumprimento desta proibição, os funcionários e empresas externas, se for o caso, devem ser instruídos e sanções devem ser impostas em caso de violação. Sinalizações de “Não fumar” devem ser colocadas de forma clara e permanente nas áreas de entrada da turbina eólica.

Todos os trabalhadores presentes na planta, sejam equipes de serviço ou funcionários de empresas externas autorizadas, devem receber instruções regularmente sobre prevenção de riscos de incêndio, funcionalidade dos sistemas e instalações de proteção contra incêndios presentes no parque eólico, além de saber como lidar com eles, como se comportar corretamente em casos de incêndio e o uso correto de extintores. Sugere-se também a realização de testes de alarmes de incêndio, ensaios para implementação do plano de emergência e evacuação da

nacele e envolver o corpo de bombeiros local nestes treinamentos e simulações. A informação e garantia de compreensão dos riscos são imprescindíveis.

Visando a prevenção de possíveis incêndios florestais conforme abordado anteriormente, adota-se a boa prática de limpar a área onde a torre está localizada para que seus arredores estejam livres de vegetações e arbustos baixos que possam contribuir com a propagação do fogo em uma faixa de 25 m (CFPA-E, 2012).

Incêndios causados por defeitos técnicos em sistemas elétricos e mecânicos representam as causas mais frequentes de perdas (RENEWABLEUK, 2015). Os meios para reduzir esse tipo de perda incluem manutenção regular de acordo com as instruções do fabricante (manual de manutenção) e inspeções dos sistemas, bem como reparo oportuno das deficiências identificadas.

Uma ferramenta que atende a essa finalidade, que já está disponível em muitas turbinas eólicas, são sistemas que monitoram automaticamente parâmetros operacionais importantes, como a pressão e a temperatura de sistemas mecânicos e elétricos, como transformadores, enrolamentos de geradores, caixas de engrenagens, sistemas hidráulicos ou rolamentos (COLUNA, 2015). Se o valor limite for excedido ou não for atingido, deve haver algum tipo de alarme e, finalmente, um desligamento automático da turbina eólica.

Uma análise permite tirar uma conclusão sobre a qualidade do óleo isolante e fornece informações a respeito de possíveis defeitos elétricos, sobrecargas térmicas do transformador e condição do dielétrico de papel. Se houver algum defeito no componente ativo dos transformadores de óleo, existe o risco de explosão devido às grandes correntes elétricas em conexão com o óleo isolante como carga de incêndio resultante do rápido aumento da pressão interna na caldeira. No que diz respeito aos transformadores de tipo seco, a superfície tem que ser controlada anualmente e tem que ser limpa, se necessário (CFPA-E, 2012).

Sistemas de proteção contra raios devem ser inspecionados por um especialista aprovado em intervalos regulares, o período recomendado é no mínimo anual. A inspeção da operacionalidade e condição do sistema de proteção contra raios inclui uma inspeção visual de todos os terminais de ar e condutores de descida, bem como a medição da resistência de contato do caminho de condução dos terminais de ar nas pás do rotor até o borne resistência do solo da fundação (CFPA-E, 2012).

O resultado de qualquer atividade de manutenção deve ser documentado por escrito, por exemplo, em uma folha de especificação de manutenção ou em um livro

de relatório. Deficiências que tenham sido identificadas durante a manutenção ou testes devem ser corrigidas imediatamente. A correção de deficiências deve ser documentada e revisada. Além disso, sugere-se a implementação de *checklists* que possam ajudar na eliminação de pontos falhos na instalação, durante atividades de manutenção e inspeção e nos pós-atividades.

No quesito detecção de incêndios o objetivo principal é detectar precocemente o foco. A principal alternativa atualmente é a detecção por sistemas automáticos uma vez que as turbinas são normalmente operadas sem qualquer equipe no local. Este sistema é responsável por trabalhar em duas frentes ao mesmo tempo, enquanto informa a unidade de controle serve também, para ativar os dispositivos de extinção automaticamente, além de desligar a turbina, se necessário (RENEWABLEUK, 2015).

Para isso, os principais ambientes que devem ser monitorados: a nacelle e as partes da torre na qual a tecnologia da turbina eólica está instalada, bem como as subestações externas de transformadores e de energia elétrica. Pisos elevados e vazios no teto ou similares com cargas de incêndio, por exemplo, cabos e outras linhas, devem ser incluídos no monitoramento. Os detectores de incêndio devem ser qualificados para a área a ser monitorada e para as características de incêndio esperadas. Condições ambientais especiais, por exemplo, temperatura, umidade e vibrações, devem ser levadas em consideração ao selecionar e operar detectores de incêndio (RENEWABLEUK, 2015).

Além de acompanhar o ambiente, deve-se monitorar a instalação e a principal característica a ser usada é a fumaça como primeiro indício de fogo. A qualificação dos detectores de incêndio deve ser revisada para cada turbina individual, dependendo das respectivas condições de operação na turbina eólica e após consulta ao proprietário do sistema (fabricante). Para que essa detecção precoce tenha efeito as seguintes reações devem ser esperadas no caso de ativação (CFPA-E, 2012):

- alarme de incêndio com sinal de alarme sendo encaminhado para um posto permanentemente ocupado;
- desligamento da turbina eólica e desconexão completa do sistema de fornecimento de energia;
- ativação do sistema de extinção de instalação e proteção da área com dependência de dois detectores.

Ao selecionar um sistema de detecção de incêndio, é importante prestar atenção ao fato de que a manutenção necessária pode ser assegurada de maneira viável, dada a localização e o pequeno espaço na nacela.

Já para o combate a incêndios, devido à falta de pessoas no local e a dificuldade de acesso, o combate eficaz e a limitação de perda podem ser assegurados por sistemas automáticos de extinção de fogo. Para aplicação em turbinas estes devem ser isentos de resíduos, não corrosivos e não eletro-condutores. Sistemas de extinção de incêndios com dióxido de carbono (CO₂); de extinção de gás inerte; de pulverização de água fina (névoa de água) são alguns dos sistemas que podem ser aplicados. Ainda, sistemas de extinção em pó não devem ser utilizados devido ao risco de perdas consecutivas em equipamentos elétricos e eletrônicos (CFPA-E, 2012).

Além disso, alguns aspectos devem ser levados em conta para adequação desses sistemas automáticos, tais como: eficácia da extinção (avaliar a concentração, o tempo de aplicação, impermeabilidade); armazenagem (quantidade necessária, peso, espaço); instalação e implementação; manutenção; confiabilidade e o custo.

A fim de se garantir a eficácia da extinção, deve-se levar em conta cada aplicação individualmente devido ao grande número de parâmetros possíveis e às condições a serem atendidas, uma vez que cada sistema tem certos limites de aplicabilidade ou vantagens e desvantagens.

É necessário um número suficiente de extintores adequados e operacionais, presentes em todos os locais possíveis de se ocorrer um incêndio: salas, base da torre, subestação exposta externamente. No mínimo, um extintor de incêndio de 5 kg de CO₂ e um extintor de incêndio de espuma de 9 L devem ser instalados na nacela (prestando-se atenção ao risco de geada e baixas temperaturas dos locais de instalação). E pelo menos um extintor de incêndio de CO₂ de 5 kg deve ser instalado nos níveis intermediários e na base da torre na área das instalações elétricas (COLUNA, 2015). Estes devem ser inspecionados por especialistas em intervalos de tempo regulares.

A inserção dos sistemas de detecção e extinção deve vir acompanhada de monitoramentos constantes para garantir a confiabilidade operacional destes. Devido à operação sem pessoal no local e à localização remota de turbinas eólicas e à consequente não identificação de possíveis falhas no sistema de proteção contra incêndio no local, é necessário o encaminhamento de todas as mensagens de erro para um posto permanentemente tripulado (posto de controle). Este posto de controle

irá então iniciar a recuperação imediata da prontidão operacional ilimitada do sistema de proteção contra incêndio. Além disso, estes eventos devem ser documentados no livro de relatórios (CFPA-E, 2012; RENEWABLEUK, 2015)

Os sistemas de proteção de incêndio só podem ser desligados por curtos períodos de tempo e em caso de necessidades imperiosas. Além disso, deve-se verificar medidas de *backup* que supram esse intervalo de desativação, como assegurando alarme de incêndio e fornecendo equipamentos extras para combate a incêndio.

Em caso de ocorrência de incêndio, algumas medidas devem ser tomadas visando limitar ao máximo as perdas inerentes ao desastre. Uma das medidas sugeridas é a elaboração de um plano de emergência que deve conter algumas especificações, tais como:

- determinar cronogramas de trabalho para as equipes de plantão garantindo a prontidão de pessoas 24 horas por dia, todos os dias da semana;
- elaboração de diretivas que indiquem as medidas imediatas a serem tomadas pelos funcionários, incluindo o fornecimento de números telefônicos de emergência, notificação da brigada de incêndio e da polícia, além de prestar suporte local para estes, desligamento da turbina e desconexão do sistema de fornecimento de energia, se necessário e avisar imediatamente a seguradora.
- elaboração deste plano após consultar o corpo de bombeiros, a polícia local e a seguradora, incluindo a passagem de um número de telefone de contato para a polícia e o corpo de bombeiros, especificação das medidas imediatas a serem tomadas e informações sobre a preparação do ambiente em caso de incêndio (por exemplo: veículos de emergência apropriados, vestuário de proteção necessário e zona de proteção em torno da turbina afetada).

Por último, certificar-se que todas as medidas para efeitos de garantia da qualidade foram tomadas no que tange ao planejamento, instalação e funcionamento (CFPA-E, 2012). Isso inclui:

- padrões de tecnologia aceitos como fundamentos do planejamento;
- aplicação de produtos e sistemas com qualidade comprovada;
- qualificação de planejadores especializados e especialistas em instalações;

- inspeções recorrentes por especialistas aprovados;
- manutenção regular e adequada por empresas e pessoal especializados.

Estas medidas devem também ser consideradas e revistas no decorrer da vida útil da turbina eólica por organismos de aprovação independentes.

4. PLANO DE MELHORIAS

Ao longo das diferentes fases de um projeto de um parque eólico, desde a concepção e desenvolvimento; a fabricação de turbinas e componentes; ao transporte; a construção e implementação; a operação e manutenção; ao desmantelamento das turbinas eólicas, os trabalhadores do setor são expostos a perigos susceptíveis de causar morte, lesões graves ou problemas de saúde. Pode-se argumentar que os perigos existentes em um parque eólico não são muito diferentes dos atualmente existentes noutros setores, entretanto, mesmo que a maior parte destes não possua carácter excepcional (por exemplo: trabalho em altura, movimentação manual, riscos elétricos e espaços confinados) é sua combinação acrescida da inexperiência de alguns trabalhadores do setor, dos ambientes e das situações (zonas isoladas, condições meteorológicas extremas ou trabalho no mar) que geram desafios únicos.

A fim de se sugerir melhorias que possam vir a ser adotadas, este capítulo está dividido conforme as fases de projeto. Desta forma, foram levantados alguns riscos inerentes ao profissional e levantadas melhorias para incrementar a segurança do setor.

4.1. Concepção e Desenvolvimento

A primeira fase de um projeto eólico é considerada a melhor fase para eliminar perigos e riscos e reduzir os acidentes relacionados com o trabalho ao longo de todo o funcionamento e até o desmantelamento do empreendimento. Isto porque é durante essa fase que se faz possível um planejamento de projeto de segurança adequado para se suprir todas as necessidades independente da fase. Para isto, se faz necessário ter-se uma perspectiva prévia de todo o ciclo de vida de um parque e dos riscos atrelados a cada fase.

Ainda, o debate entre os responsáveis pela contratação e os contratantes, provém uma constante busca por soluções técnicas e eficácias de operações maiores. Não obstante, isto implica em uma diminuição dos números de intervenções e manutenções em torres, ou seja, reduz o tempo de serviço que o profissional terá que realizar, e que, por sua vez, acaba por baixar também as chances de se ocorrerem acidentes. Além disso, com o debate sensato e construtivo e a medida que mais

destas informações forem partilhadas, mais empresas e organizações aprenderão com as experiências umas das outras, o que contribuirá de maneira geral para as condições de Saúde e Segurança no trabalho.

É importante que se tenha em mente o impacto a longo prazo para os trabalhadores dos projetos e dos materiais que utilizam. O ritmo da mudança tecnológica no setor da energia eólica é tal que as avaliações dos riscos para a saúde e segurança têm de ser suficientemente dinâmicas e flexíveis para responder a essas mudanças (WOOD, 2009). Portanto, para esta etapa, sugere-se o diagrama de fluxo e riscos associados às fases, bem como a formulação de planos de prevenção de acidentes e protocolos de emergência, para resgate e evacuação.

4.2. Fabricação de Turbinas e Componentes

É durante a fase de fabricação de uma turbina eólica e seus respectivos componentes que incide o maior número de trabalhadores do setor, 60% destes (EU-OSHA, 2014). Segundo a OIT, os riscos e perigos associados à fabricação de turbinas são similares aos apresentados pela indústria automobilística e aeroespacial, devido ao tamanho e complexidade da fabricação dos componentes. Além disso, a constante busca pelo aumento da eficiência bem como potência destes componentes, leva a necessidade de novos materiais e processos que utilizam diferentes *compósitos* e ainda podem sofrer alterações conforme o projeto, por exemplo: combinação de baixa densidade, elevada resistência mecânica, alto módulo de elasticidade, alta capacidade de absorver energia no impacto e elevada resistência química (CAMPOS, 2013). A aplicação de nanomateriais² nas denominadas tintas inteligentes, não só reduzem o efeito dos agentes atmosféricos sobre os componentes das turbinas, mas há indicações de que alguns tipos de nanotubos³ poderão ter efeitos similares aos do amianto (LENZ, 2017).

Ainda, a utilização de maquinaria e de equipamentos específicos, a movimentação manual de grandes componentes, perigos elétricos e ruídos são algumas das condições a que os trabalhadores são expostos durante esta fase. Entretanto, a maior

² Nanomateriais: materiais com uma ou mais dimensões externas, ou com estrutura interna baseada na nanoescala, que pode exibir novas características em comparação com o mesmo material sem dimensões nanométricas (LENZ, 2017).

³ Nanotubos: tecnologia de nanomateriais empregada em hélices de turbinas, nanotubos de carbono (LENZ, 2017).

parte dos dados e literatura disponíveis encontram-se relacionadas a riscos químicos devido à exposição direta a resinas epóxi, estireno, solventes, gases, vapores e poeiras perigosas. Há também o risco de exposição a poeiras e gases resultantes das fibras de vidro, endurecedores, aerossóis e fibras de carbono. Entre os problemas de saúde mais comuns encontram-se as dermatites, as tonturas, a sonolência, as lesões no fígado e rins, bolhas, queimaduras provocadas por produtos químicos e efeitos no sistema reprodutivo (EU-OSHA, 2014).

Na Figura 26 verifica-se parte do processo de manufatura de pás de aerogeradores em uma fábrica da Acciona, na Espanha. Durante este processo os trabalhadores entram em contato direto com os diferentes tipos de materiais, conforme verifica-se no canto esquerdo. Em fábricas mais recentes observam-se ainda investimentos em processos de produção, como cabines de pulverização robotizadas. Essa automatização do processo de fabricação dos componentes além de contribuir para a redução do contato dos trabalhadores com os produtos químicos, visa homogeneizar algumas das etapas garantindo um melhor controle dos processos e por consequência, melhorias na qualidade dos componentes, o que pode vir a reduzir avarias e a frequência de manutenção. Entretanto, nota-se que a evolução das turbinas e de seus processos produtivos traz cada vez mais componentes maiores e mais pesados, sendo necessária a avaliação do impacto destes à saúde do trabalhador, especialmente no que se diz respeito à carga física exercida sobre o corpo (EU-OSHA, 2014).

Figura 26 - Fábrica de pás para aerogeradores – Acciona (Espanha).



Fonte: EL ESPAÑOL, 2016.

Por se tratar de uma indústria relativamente nova, grande parte dos trabalhadores pode não estar ciente dos riscos inerentes às atividades desenvolvidas em seu ambiente de trabalho. Portanto, sugere-se a tomada de medidas esclarecedoras a estes, como centros de formação e iniciativas que visem partilhar informações a fim de garantir a segurança de todo o pessoal envolvido durante cada fase do projeto. A uniformização dos programas e a harmonização da certificação reduziria os custos e o tempo perdido, além de aumentar a mobilidade dos trabalhadores. Ademais, é importante garantir não só a capacitação, mas a eficácia e a compreensão do conteúdo recebido, verificando a competência dos envolvidos, incluindo clientes e contratantes.

Além disso, devido a frequente exposição dos trabalhadores, nesta fase, aos produtos químicos, sugere-se também o acompanhamento médico e exames periódicos que visem identificar possíveis alterações, bem como, a utilização de EPIs que garantam um aumento na proteção a estes agentes.

4.3. Transporte de componentes

Segundo o mapeamento da cadeia produtiva da indústria eólica no Brasil, realizado em 2014 pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2014), o Brasil conta com diversos fornecedores de aerogeradores e componentes. Dentre estes encontram-se: montadoras; empresas responsáveis pela Operação e Manutenção (O&M); fabricantes de grandes componentes (torres e pás); fabricantes de subcomponentes e insumos para torres; fabricantes de subcomponentes para o rotor (pás e cubo); e fabricantes de subcomponentes.

Essa divisão da cadeia produtiva nacional de bens e serviços faz com que a questão logística seja de extrema importância em um projeto de um parque eólico.

A empresa dinamarquesa LM Wind Power, desenvolvedora e produtora de tecnologias para o setor eólico, se diz ser a responsável por uma das maiores e mais avançada pá no mundo. A LM 88.4P com seus 88,4 m de comprimento foi desenvolvida para trabalhar com garantia de qualidade e confiança por 25 anos em parques eólicos *offshore* e conta com uma capacidade de 8 MW de potência. Como pode-se ver na Figura 27, a peça foi transportada via malha rodoviária, em Lunderskov, Dinamarca, por 218 km. De acordo com Koos van der Zee, gerente

responsável pelo transporte de pás da companhia, foram necessários nove meses de meticuloso planejamento e coordenação para que esta operação fosse realizada com sucesso (LM WIND POWER, 2016).

Figura 27 – LM 88.4 sendo transportada - Lunderskov, Dinamarca.



Fonte: LM WIND POWER, 2018.

De acordo com os dados apresentados pela CWIF, são 151 acidentes relacionados diretamente com o transporte, no período de jan/2008 a dez/2017, para: China, Estados Unidos, Alemanha, Índia, Espanha, Reino Unido, França, Canadá, Itália e Brasil. Dentre estes: queda de partes das turbinas dos veículos de transporte; capotamento de veículos e deslocamento da carga para diante causando graves ferimentos nos motoristas. Essa situação é especialmente agravada quando em se tratar de parques *offshore*: longas distâncias devido à presença de parques em áreas cada vez mais distantes do continente; exposição às condições meteorológicas; risco de encalhe ou de colisão; riscos inerentes a diferentes movimentações dos helicópteros e embarcações responsáveis pelo transporte, como o balanço transversal e longitudinal. Ainda, devido à presença cada vez maior de parques *offshore*, como é o caso do Mar do Norte, levanta-se uma preocupação a parte com os corredores de transporte marítimo. A necessidade de intervenções em plataformas marítimas de exploração de petróleo e gás natural, bem como a construção de parques eólicos na vizinhança, suscita muitos problemas que refletem nas condições de segurança principalmente dos helicópteros responsáveis pelo transporte de pessoas até essas localizações em mar aberto.

O tamanho e peso dos componentes eólicos, a dispersão geográfica dos fabricantes e empresas prestadoras de serviços principalmente entre as regiões Nordeste e Sul-sudeste no Brasil, a deficiência e altos custos relacionados ao transporte marítimo, são fatores que agravam ainda mais a logística neste setor (ABDI, 2014).

A fim de se assegurar o transporte de componentes e trabalhadores há de se realizar um planejamento estratégico e minucioso que possibilite a identificação de medidas preventivas. Para tal tem-se a necessidade de: realizar um reconhecimento acurado do percurso a ser realizado, das vias de acesso, dos pontos de viragem limitada, do encerramento de corredores rodoviários, da presença de declives acentuados, e da aderência da pista; a definição de medidas de emergência e planos de evacuação; planejamento de escolta e a disponibilização de uma equipe para os casos de remoções ao longo do percurso (grades de proteção, sinalizações).

4.4. Construção e implementação

A implementação de projetos em parques eólicos pode ser dividida em duas etapas: a primeira fase consiste em atividades de construção civil e instalações elétricas, enquanto a segunda fase compreende a montagem dos aerogeradores propriamente dita. A construção é considerada a fase mais complicada e possivelmente mais perigosa do ciclo de vida de um parque eólico, uma vez que exige a realização de múltiplas tarefas em rápida sucessão (EU-OSHA, 2014).

A primeira fase da construção civil e das instalações elétricas compreende a construção do edifício de comando e de subestação, das fundações dos aerogeradores e das valas de cabos e acessos. Esta fase é semelhante a outras obras mais tradicionais, tendo provavelmente como principais diferenças as fundações das torres (na parte de construção civil) e as estruturas de média tensão (na parte elétrica). Assim como em demais obras de construção, a gestão de segurança na cadeia de subcontratação é essencial, no setor eólico isto tem ainda mais importância devido a constante presença de trabalhadores sem experiência na área.

A fundação e concretagem da base, bem como a configuração do canteiro de obras são feitas de acordo com cada projeto, baseado nas características dos aerogeradores que serão instalados. É importante que se realize um extenso trabalho de planejamento e conhecimento aprofundado do tipo de solo local a fim de propiciar

o melhor tipo de fundação uma vez que esta tem como função transmitir a carga da estrutura ao solo sem provocar a ruptura do terreno ou do elemento de ligação. Somado a isso, a concretagem tem papel fundamental uma vez que trincas em sua estrutura podem comprometer a integridade do sistema.

Devido às operações de elevação de grandes cargas, que podem chegar a 80 ton e 90 m de altura durante a fase de construção (EU-OSHA, 2014), os trabalhadores são constantemente expostos aos riscos relacionados: à queda de estruturas, cargas ou objetos durante as operações; à queda em altura; a perigos mecânicos devido ao contato e manuseio de peças; a riscos ergonômicos (subida de escadas ou do trabalho em espaços confinados) ou fisiológicos (levantamento de pesos e movimentos repetitivos).

Já na fase de montagem do aerogerador, além dos riscos já citados, pode-se incluir os seguintes: perigos elétricos – curto-circuito, sobrecargas, fenômenos eletrostáticos ou quedas devido a choques; de incêndio ou explosão das turbinas; e devido à exposição a ruídos e vibrações. É essencial ainda que os procedimentos sejam executados sob condições climáticas favoráveis, por exemplo, realização das atividades em determinado período do dia em que a influência do vento seja reduzida consideravelmente.

A instalação de cabos elétricos entre as turbinas e a subestação e a posterior ligação à rede elétrica, obedecem um padrão semelhante nos parques terrestres e nos marítimos. Entretanto, nos parques marítimos, a presença de água adiciona-lhe outra dimensão. Para tal, são indispensáveis as atividades de mergulho que necessitam de um trabalho experiente e devem ser bem planejadas. Estas, expõe o trabalhador a diversos riscos relacionados com o próprio mergulho (diferenças de pressão, esforços físicos e longos períodos submersos). Por exemplo, os cabos utilizados para as ligações podem chegar a 80 kg e exigem operações de tração para dentro das peças de transição, o que implica em tensões de várias toneladas no processo, que, em caso de rompimento, colocam em perigo as pessoas que estejam nas imediações. Durante o assentamento de cabos o trabalhador é exposto também a riscos de trabalho em escavações e valas, nas imediações de linhas elétricas ou condutoras de gás, nos espaços confinados e riscos de eletrocussão e/ou incêndio (EU-OSHA, 2014).

Ainda, os efeitos ambientais a que o trabalhador é constantemente submetido, vento, ondas, correntes e quedas de raios são fatores que aparecem em todas as

fases do ciclo de vida de uma turbina. Soma-se a isso a dificuldade em evacuar pessoas das turbinas eólicas devido às possíveis variações das condições meteorológicas e longas distâncias dos parques eólicos.

As condições para os empreendimentos *offshore* são sempre agravadas: as condições meteorológicas extremas geram um aumento da carga devido ao vento; a movimentação de embarcações durante as operações e a presença de diversas embarcações envolvidas neste processo de construção, conforme observa-se na Figura 28, agravam ainda mais o trabalho em alto mar.

Figura 28 – Etapa de construção da turbina eólica *offshore*.



Fonte: DARK ROASTED BLEND, 2007.

Como a expansão da energia eólica torna-se cada vez mais difícil devido a limitação do vento, da ocupação de maior parte dos locais e devido às restrições impostas pelo ordenamento do território (proteção do ambiente, conservação da natureza e da paisagem), o reforço ou substituição das turbinas eólicas mais antigas por equipamentos mais modernos e potentes apresenta-se como uma solução para essa expansão energética. Quando planejado o prolongamento da vida

útil/*repowering*⁴ de uma turbina, é importante prever simultaneamente a modernização dos níveis e elementos de segurança do sistema e se atentar aos riscos envolvidos na operação, similares à fase de construção (RENEWABLEUK, 2015).

4.5. Operação e Manutenção

Uma vez operacionais, os parques eólicos se constituem em instalações basicamente automatizadas em que a presença de trabalhadores só se dá mediante condições de manutenção e reparação. As tarefas operacionais e de manutenção a serem realizadas são similares em terra ou no mar.

As atividades realizadas nestes empreendimentos incluem: limpeza das pás; lubrificação de peças; revisão geral do gerador; substituição de componentes e reparação de unidades de comando elétrico. O trabalho de manutenção dentro ou ao redor da nacelle envolve riscos associados às peças em movimento, principalmente caso estas não estejam adequadamente protegidas, como por exemplo: queimaduras causadas por peças quentes ou cabos de alta tensão; esmagamento ou amputações em engrenagens ou devido à movimentação da pá (EU-OSHA, 2014).

O acesso à nacelle é outro fator de risco que deve ser levado em conta. Quando feito por escada, conforme observa-se na Figura 29, o acesso ao topo das torres exige muito do trabalhador – esforço físico que pode levar a lesões musculoesqueléticas e exaustão física, exigindo-lhes aptidão cardiorrespiratória, bem como pernas e braços fortes - mesmo com as plataformas disponíveis para descanso.

⁴ *Repowering*: processo de substituição de turbinas antigas por novas que possuem potências maiores ou são mais eficientes, o que resulta em um aumento da capacidade de geração de energia (RENEWABLEUK, 2015).

Figura 29 – Componentes internos da torre.



Fonte: Hailo, 2018.

Durante uma AET (Análise Ergonômica do Trabalho) em um parque eólico, a fisioterapeuta especialista em ergonomia Bárbara Camilo concluiu que, embora a fase de montagem das torres ofereça maiores riscos de lesões a longo prazo, é durante a manutenção dos aerogeradores que os trabalhadores correm mais riscos de desenvolverem doenças ocupacionais. Segundo o relato da ergonomista, foram identificadas lesões de coluna lombar e cervical e em membros superiores, especialmente nos ombros. A pressão sobre o trabalhador também é um fator negativo, pois impede as micropausas durante os turnos de serviço. O setor também deve ter em conta o estresse que a pressão para trabalhar com eficiência nos períodos frequentemente curtos de boas condições meteorológicas pode causar numa mão de obra sujeita a um trabalho muito exigente (QUALITÁ OCUPACIONAL, 2016).

Uma turbina conta ainda com diversos espaços considerados confinados: a nacelle, as pás, o cubo do rotor, a torre e a base da torre. Estes possuem poucos meios de acesso e saída e não estão concebidos para longas permanências. Técnicos de manutenção que executem trabalhos dentro destes espaços devem carregar consigo monitores de gás e verificar amostras de ar a fim de se prevenir detectando gases tóxicos e inflamáveis no interior destes compartimentos. Ainda, outras questões como ergonomia e perturbações cardiovasculares, devido a temperaturas elevadas durante os meses de verão, por exemplo, devem ser levadas em conta. É essencial

ministrar aos trabalhadores da manutenção formação adequada sobre os riscos que irão enfrentar e como se portar diante destas situações específicas (EU-OSHA, 2014).

Para inspeções e manutenções a serem realizadas externamente, como por exemplo nas pás, deve-se garantir a utilização de equipamentos de proteção anti-queda semelhantes aos utilizados na fase de instalação. Sistemas permanentes de prevenção de quedas podem ser instalados em casos em que haja mais frequência deste tipo de atividade, designadamente, sistemas de corrimãos horizontais e presos à nacele ou elevadores montados no solo que transportem os técnicos para as plataformas (COLUNA, 2015).

Ainda, em relação à operação dos parques eólicos é preciso atentar aos impactos destes na saúde das populações locais, o que têm sido tema de estudos e análises nos últimos anos. De acordo com o documento da OSHA (EU-OSHA, 2013b), pesquisas detectaram um aumento de alguns sintomas de cunho audiológico, neurológico e de saúde mental, tais como desconforto auditivo, zumbidos, cefaleia, insônia, irritabilidade, dificuldade de concentração, ansiedade e transtornos de humor na população que reside no entorno dos parques. Mas nenhum destes relatórios apresentados pela organização considera o impacto destas questões na saúde dos trabalhadores dos parques eólicos. Segundo o médico do Trabalho Dimitri Cruz, que além de trabalhar como coordenador de PCMSO (Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional) em empresa do setor eólico, é vice-presidente da seccional da ANAMT (Associação Nacional de Medicina do Trabalho) no Ceará, não há indícios no Brasil da doença que ficou conhecida como 'síndrome da turbina eólica'⁵ (QUALITÁ OCUPACIONAL, 2016).

Cruz ressalta também que a questão dos riscos psicossociais é polêmica, uma vez que a NR 35 orienta que a avaliação psicossocial seja realizada durante o exame médico, mas não cita a sua obrigatoriedade no ASO (Atestado de Saúde Ocupacional). Durante a realização do exame clínico e ocupacional, o médico deve inquirir o trabalhador acerca de sua saúde mental e comportamental, devendo atentar também para o uso de substâncias psicotrópicas que possam diminuir a atenção e o equilíbrio, o abuso de bebidas alcoólicas e drogas ilícitas. De acordo com o vice-

⁵ Síndrome da Turbina Eólica: efeitos colaterais causados pelo ruído de turbinas eólicas gerando sintomas como: insônia, dores de cabeça, náuseas, estresse, dificuldade de concentração, irritabilidade etc, levando a uma saúde mais precária e uma redução da imunidade (QUALITÁ OCUPACIONAL, 2016).

presidente da ANAMT, como as atividades são realizadas em alturas elevadas e ainda existe a situação adicional de espaço confinado, essa avaliação psicossocial pode ser complementada por profissional de saúde mental, com avaliação adicional das fobias à altura (acrofobia) e ao espaço confinado (claustrofobia). Também devem ser realizados exames médicos voltados às patologias que poderão originar mal súbito e queda de altura, avaliação oftalmológica, cardíaca, glicemia e eritograma para detecção de anemia. Ainda se recomenda audiometria, avaliação da função hepática e da capacidade pulmonar, exame clínico e entrevista com o trabalhador (QUALITÁ OCUPACIONAL, 2016).

Ainda, para os casos de procedimentos realizados *offshore* que não possuem pessoal permanente, o elemento mais perigoso é a transferência para as turbinas dos trabalhadores incumbidos de proceder às inspeções e à manutenção. Na Figura 30 observa-se um helicóptero próximo a uma turbina localizada no Mar do Norte, em situações climáticas extremas. No caso das ondulações aumentarem, estes trabalhadores podem permanecer alojados nas plataformas de transmissão até que cesse o perigo.

Figura 30 – Condições climáticas extremas em turbina localizada no Mar do Norte, Dinamarca.



Fonte: DARK ROASTED BLEND, 2007.

Durante esta etapa é imprescindível a avaliação das condições meteorológicas antes da realização de qualquer procedimento. Deve-se incluir nos planos de trabalho informações fornecidas pelos serviços meteorológicos nacionais uma vez que adversidades podem dificultar a execução dos procedimentos bem como colocar os trabalhadores em risco.

Como em qualquer outro tipo de setor, a manutenção programada é preferível à não planejada, que em geral implica em uma pior organização e pode envolver trabalhadores pouco especializados, não familiarizados com a turbina ou com os desafios específicos.

Sendo um setor em constante e rápida evolução, a melhoria dos meios técnicos de controle, ciclos de manutenção mais curtos e inspeções à distância, possibilitada pelos modelos mais recentes de turbinas eólicas, melhoram as condições de segurança e saúde a que os trabalhadores são expostos.

4.6. Desmantelamento

Por fim, durante operações de desmantelamento de turbinas, podem ser relacionados os mesmos riscos da fase de construção, uma vez que o processo se dará de maneira similar para a remoção dos componentes.

As pás desmanteladas possuem três destinos possíveis: aterro sanitário, já ilegal em diversos países; incineração, não recomendada devido a liberação de poluentes e gases de combustão que podem ser perigosos e reciclagem como material ou produto. Neste último, a necessidade de cortar as pás para redução do tamanho nos remete novamente a exposição aos compósitos, resinas e poeiras que podem ser nocivos à saúde do indivíduo (EU-OSHA, 2014). Desta forma, faz-se necessário o desenvolvimento de novas práticas de tratamento de resíduos provenientes desta desmontagem.

Conforme o desenvolvimento deste trabalho, um sistema de produção de energia eólica difere dos demais sistemas de produção, além de outras particularidades, no que diz respeito ao grande risco de fogo concentrado em um mesmo local. Como a melhor forma de evitar que um incêndio ocorra é por meio de medidas de prevenção, cabe aos profissionais responsáveis pela gestão de segurança do trabalho dos parques eólicos estarem cientes dos detalhes de cada projeto, para que a partir destes se estabeleçam procedimentos de segurança adequados caso a caso.

Para isto, como sugestão deste trabalho, apresenta-se o diagrama no Apêndice A com as diferentes fases do projeto bem como alguns dos riscos associados à cada uma destas.

Diante do apresentado, sugere-se também a adoção além deste diagrama, de algumas medidas de prevenção que já foram abordadas neste capítulo e estão sintetizadas no Apêndice B.

Por fim, as orientações da NR-10 devem ser consideradas e aplicadas em todas as fases citadas anteriormente, porém, devido aos levantamentos feitos durante a realização deste trabalho uma sugestão de melhoria direcionada à prevenção de incêndios e explosões voltada às instalações elétricas, vem em forma de *checklist* no Apêndice C. O objetivo é que ele seja utilizado além das fases de construção e manutenção, nas vistorias realizadas por profissionais capacitados a fim de documentar se aquele empreendimento atende satisfatoriamente, não atende ou atende parcialmente os requisitos indicados na Norma Regulamentadora.

5. CONCLUSÕES

Com a crescente expansão do setor eólico no Brasil, saúde e segurança são aspectos que devem estar em constante evolução para acompanhar as novas tendências. Novas tecnologias são empregadas a cada dia, porém a falta de normatização e normalização dos padrões de segurança para os trabalhadores e para o setor de modo geral tornam-se pontos de melhorias importantes para o crescimento desse segmento, com o adicional de o Brasil ser conhecido mundialmente por seus altos índices de acidentes de trabalho viu-se a necessidade deste estudo.

Este trabalho de conclusão de curso teve por objetivo analisar as condições de segurança em parques eólicos e seus componentes elétricos, comparando as normas e os padrões nacionais e internacionais e propor soluções e melhorias nas condições de segurança. Para tanto, foram propostos, de forma resumida, os seguintes objetivos específicos: fazer o levantamento bibliográfico; descrever as etapas inicial e final de montagem de um parque eólico; analisar os componentes elétricos do gerador eólico; avaliar as normas nacionais e compará-las com as internacionais; reconhecer diferentes estruturas e torres em parques eólicos; levantar dados a respeito de acidentes em parques eólicos e elaborar plano de sugestões e melhorias na segurança.

Foi realizado o levantamento bibliográfico, sendo que o Capítulo 2 contém a revisão bibliográfica com a explicação dos diversos pontos que se fazem necessários para a compreensão do restante do trabalho.

Em relação às etapas da montagem, funcionamento e manutenção de um parque eólico verificou-se que antes da instalação de um parque eólico, é necessário que o local disponível seja estudado (característica de solo, ventos, etc.) e que as turbinas sejam caracterizadas para a otimização da geração de energia.

Verificou-se que o aerogerador, item primordial da instalação, é composto por diversos componentes, dentre eles, os principais são a nacela, as pás e o gerador elétrico. Além disso, componentes como a caixa multiplicadora, os mecanismos de controle, a torre, o transformador, bem como, os painéis elétricos, cabos e periféricos, devem ser estudados caso a caso de acordo com as especificidades de cada projeto. Portanto, pode-se dizer que o objetivo específico identificar e analisar os componentes elétricos do gerador eólico e os níveis de tensão foi cumprido.

Quanto à normalização observa-se uma distinção entre normas utilizadas para o projeto dos parques eólicos e as normas utilizadas para a segurança dos mesmos. No que tange ao projeto, muitas normas internacionais são utilizadas, indicando uma padronização internacional maior do que a nacional. Já no quesito de segurança, as normas regulamentadoras nacionais são mais comumente utilizadas.

Não foi possível fazer um levantamento satisfatório quanto às normas utilizadas nos demais países quando se trata de segurança do trabalho, pois verificou-se a utilização de diversas normativas e *guidelines* em países da Europa, as quais visam a contribuir para as normas e segurança do setor. Com isso, pode-se concluir que a falta de uma legislação específica se torna um desafio à saúde e segurança na energia eólica.

A quantidade de dados disponíveis relacionados à segurança do trabalho é bastante escassa e devido a isso, foi necessária uma adaptação no estudo. Para tanto, foi realizada uma comparação dos números de acidentes disponibilizados pela base de dados CWIF, entre os dez principais países produtores de energia eólica. Dentre eles, por conta da relevância para o setor elétrico, os acidentes devido a incêndios foram escolhidos como foco deste estudo. A fim de direcionar as melhorias propostas, foram levantadas algumas das principais causas dos incêndios em parques eólicos e as formas de detecção e prevenção que devem ser implementadas.

Com estas ideias elaborou-se o plano de melhorias que foi dividido de acordo com as diferentes etapas de montagem, funcionamento e manutenção de um parque eólico. Dentre as melhorias citadas, pode-se frisar as seguintes: aplicação de um *checklist* direcionado ao tópico de prevenção de incêndios e explosões presente na NR-10; utilização do diagrama de fluxo e riscos associados às fases; formulação de planos de prevenção de acidentes e de protocolos de emergência; tomada de medidas esclarecedoras a fim de partilhar informações com os funcionários, garantindo não só a capacitação, mas a eficácia e a compreensão do conteúdo recebido; realização de exames periódicos para identificar possíveis alterações da saúde do trabalhador e execução dos procedimentos em condições climáticas favoráveis.

Além disso é importante garantir a execução de atividades conforme as normas existentes. Para isso, se faz necessário o aumento dos números de auditores e fiscais responsáveis pela fiscalização destes procedimentos.

Cabe ressaltar que as informações aqui não são exaustivas, mas construtivas e válidas para retratar alguns dos principais aspectos relativos aos estágios do ciclo de vida de um parque eólico e dos riscos atrelados à indústria eólica como um todo, identificando assim as atuais condições de segurança em parques eólicos.

Como sugestão para trabalhos futuros, dada à importância do assunto, é necessário o desenvolvimento de um banco de dados nacional a respeito dos acidentes em parques eólicos para que a partir dele uma análise mais profunda e direcionada ao Brasil seja realizada.

É importante que o setor como um todo entenda a importância e as vantagens da partilha de informações entre contratados e contratantes. Melhorias de instalação e manutenção poderão ser implementadas, treinamentos mais extensivos e direcionados aos funcionários poderão ser elaborados e a perpetuação de boas práticas serão mais conhecidas e disseminadas, tudo isso visando cada vez mais a melhoria das condições de trabalho, saúde e segurança dos profissionais.

REFERÊNCIAS

ACIDENTES DE TRABALHO. **Bom dia Brasil**. Rede Globo: 13 de abril de 2018. Programa de TV. Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/6658995/programa/>. Acesso em 20 de abr. 2018, 16:50h.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL) - **Banco e Informações de Geração** - 2017. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp>. Acesso em 02 de nov. 2017, 18:05h.

AMERICAN WIND ENERGY ASSOCIATION – AWEA, 2017. Disponível em: <http://www.awea.org/>. Acesso em 23 de abr. 2017, 11:10.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL – ABDI. **Mapeamento da cadeia produtiva da Indústria Eólica no Brasil**. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA - ABEEOLICA. Disponível em: <http://www.abeeolica.org.br/dados-abeeolica/>. Acesso em 25 de abr. 2017a, 13:45h.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA - ABEEOLICA. Disponível em: <http://www.abeeolica.org.br/dados-externos/>. Acesso em 26 de abr. 2017b, 22:30h.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA - ABEEOLICA. **Relatório Anual de 2016**. São Paulo, 2016. Disponível em: http://www.abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2017/06/424_Relatorio_Anual_2016_final.pdf. Acesso em 24 de abr. 2017, 20:30h.

BONFIM, Michael R., YAMANISHI, Bruno K. **Análise dos Efeitos de Sobretensões causados por descargas atmosféricas em Aerogeradores**. 115p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017. Disponível em: https://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2016_1_27/2016_1_27_final.pdf. Acesso em 23 de abr. 2018, 18:01h.

BRASIL. IBGE. **Comissão Nacional de Classificação – Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE)**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <https://concla.ibge.gov.br/busca-online-cnae.html>

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Informe Leilões de Geração de Energia Elétrica. Leilão de Geração A-4/2018**. Rio de Janeiro, RJ, 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-265/topico-383/Informe%20Leil%C3%A3o%20A-4%202018_r4.pdf>. Acesso em 22 de abr. 2018, 17:56h.

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE); GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ). **Manual de Boas Práticas – Instalação de Estações Anemométricas**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Guia%20Boas%20Pr%C3%A1ticas%20Esta%C3%A7%C3%B5es%20Anemom%C3%A9tricas.pdf>>. Acesso em 15 de nov. 2017, 17:02h.

BRASIL. Lei n. 8.213, de 24 de julho de 1991. **Da finalidade e dos princípios básicos da previdência social**, Brasília, DF, jul. 1991.

BRASIL. MINISTÉRIO DA FAZENDA. **Anuário estatístico de acidentes do trabalho (AEAT)**. Brasília, DF, [2015]. [992] p. Disponível em: <<http://www.previdencia.gov.br/wp-content/uploads/2017/05/aeat15.pdf>>. Acesso em 10 de mai. 2017, 23:08h.

BRASIL. MINISTÉRIO DA FAZENDA. **Anuário estatístico de acidentes do trabalho (AEAT)**. Brasília, DF, [2016]. [993] p. Disponível em: <<http://www.previdencia.gov.br/wp-content/uploads/2018/04/AEAT-2016.pdf>>. Acesso em 15 de mar. 2018, 20:15h.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional**. Brasília, DF, [2007 a 2015]. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em 02 de nov. 2017, 22:18h.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras>>. Acesso em 03 de nov. 2017, 16:32h.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO. **NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. 2016. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR10.pdf>>. Acesso em 24 de abr. 2017, 15:50h.

CAITHNESS WINDFARM INFORMATION FORUM (CWIF) 2017, 2017. **Summary of Wind Turbine Accident.** Disponível em: <<http://www.caithnesswindfarms.co.uk/accidents.pdf>>. Acesso em 01 de mai. 2017, 22:10h.

CAITHNESS WINDFARM INFORMATION FORUM (CWIF) 2017, 2018. **Summary of Wind Turbine Accident.** Disponível em: <<http://www.caithnesswindfarms.co.uk/accidents.pdf>>. Acesso em 03 de abr. 2018, 18:25.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CCEE). **InfoMercado Dados Gerais 2017.** [São Paulo], [2017] Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/infomercado?_adf.ctrl-state=1buw5c8bkr_4&_afLoop=380952106569143#!%40%40%3F_afLoop%3D380952106569143%26_adf.ctrl-state%3Dlrimrjuja_4>. Acesso em 03 de nov. 2017, 16:46h.

CAMPOS, M. O.; **Estudo comparativo de pás para aerogeradores de grande porte fabricadas em materiais compósitos reforçadas com fibra de carbono ou fibra de vidro.** 113p. Dissertação de Mestrado – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/12818/1/MaxdavidOC DISSERT .pdf>. Acesso em 10 de abr. 2018, 19:05h.

CARNEIRO, F. O. M.; ROCHA, H. H. B.; ROCHA, P.A. C. **Investigation of possible societal risk associated with wind power generation systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 19, p. 30-36, 2013.

CASTRO, R. M. G. **Energias renováveis e produção descentralizada:** introdução à Energia Eólica. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2005. Disponível em: <http://esa.ipb.pt/~jpmc/ArquivoEA/Eolica_ed2p1.pdf>. Acesso em 09 de set. 2017, 19:09h.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). **Energia eólica:** princípios e tecnologias. 58 p. 2008. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_eolica_2008_e-book.pdf>. Acesso em 08 de out. 2017, 22:20h.

CENTRO DE TECNOLOGIAS DO GÁS E ENERGIAS RENOVÁVEIS - CTGAS. Disponível em: <<http://www.ctgas.com.br/index.php/component/content/article/78-noticias/838-ctgas-er-abre-inscricoes-para-mais-um-curso-de-especializacao-em-energia-eolica>>. Acesso em 03 de nov. 2017, 15:47h.

CHAUMEL, J.L; GIRAUD, L.; ILINCA, A. **Wind Energy Sector – Occupational Health and Safety Risks and Accident Prevention Strategies**. 2015. Disponível em: <<http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-858.pdf>>. Acesso em 20 de jan. 2018, 17:40h.

COLUNA – Consultoria, Desenvolvimento e Treinamento. **Riscos de incêndios nas torres eólicas**, 2015. Disponível em: <https://irp-cdn.multiscreensite.com/3e619e2f/pdf/RISCODEINC%C3%8ANDIOSNASTORRESE%C3%93LICAS.pdf>. Acesso em 15 de fev. 2018, 19:45h.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO RIO GRANDE DO NORTE – CREA RN. **Curso operador de parque eólico**. Disponível em: <http://www.crea-rn.org.br/site_cream/cursos_e_eventos/apresentacao/30>. Acesso em 03 de nov. 2017, 15:47h.

CONFEDERATION OF FIRE PROTECTION ASSOCIATIONS IN EUROPE (CFPA-E). **Wind turbines fire protection guideline**, 2012. Disponível em: https://www.apsei.org.pt/media/recursos/documentos-de-outras-entidades/CFPA-guidelines-incendio/CFPA_E_Guideline_No_22_2012_F.pdf. Acesso em 28 de jan. 2018, 20:30h.

DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION (DWIA). 2017. Disponível em: <<http://www.windpower.org/>>. Acesso em 09 set de. 2017, 20:30h.

DARK ROASTED BLEND. **Wind Power in Stormy Waters**. 2007. Disponível em: <<http://www.darkroastedblend.com/2007/01/wind-power-in-stormy-waters.html>>. Acesso em 20 de mai. 2018; 14:45h.

EARTH OBSERVATORY - NASA. **Where Lightning Strikes**, 2001. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=2002>. Acesso em 25 de abr. 2018, 15:50h.

EL ESPAÑOL. **Nordex (Acciona) recortará 500 empleos ante los retos de las renovables**. 2017. Disponível em:

<https://www.elespanol.com/economia/empresas/20170905/244476365_0.html>

Acesso em 04 de abr. 2018, 14:30h.

ENERCON. **Modelo de turbinas eólicas**. 2017. Disponível em:

<<http://www.interwind.nl/finder/enercon-e82-23mw-germany>>. Acesso em 17 de nov. 2017, 18:30h.

EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK (EU-OSHA). **E-fact 79: Occupational safety and health in the wind energy sector**. European Risk Observatory – Report. Luxembourg, 2014. Disponível em:

<<https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/e-fact-79-occupational-safety-and-health-in-the-wind-energy-sector/view>>. Acesso em 26 de fev. 2018, 18:00h.

EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK (EU-OSHA). **Green jobs and occupational safety and health: Foresight on new and emerging risks associated with new technologies by 2020**. European Risk Observatory – Report. Luxembourg, 2013a. Disponível em:

<https://osha.europa.eu/en/node/6717/file_view>. Acesso em 26 de abr. 2017, 19:00h.

EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK (EU-OSHA). **Occupational safety and health in the Wind energy sector**: European Risk Observatory – Report. Luxembourg, 2013b. Disponível em:

<<https://osha.europa.eu/en/tools-and-publications/occupational-safety-and-health-in-the-wind-energy-sector>>. Acesso em 24 de abr. 2017, 20:35h.

EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION (EWEA) – 2016. Disponível em: <www.ewea.com>. Acesso em 09 de mai. 2017, 16:45.

GCUBE INSURANCE SERVICES. **GCube Tackles Turbine Fires**, Paris, 17 nov. 2015. Disponível em: <<http://www.gcube-insurance.com/en/press/gcube-tackles-turbine-fires/>>. Acesso em 05 de nov. 2017. 23:07h.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (GWEC). **Global Wind Energy Outlook**. 2016a. Disponível em: <<http://www.gwec.net/publications/global-wind-energy-outlook/>>. Acesso em 29 de abr. 2018, 19:50.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (GWEC). **Global Wind Report 2016 – Annual Market Update**. 2016b. Disponível em: <<http://www.gwec.net/publications/global->

wind-report-2/>. Acesso em 23 de abr. 2017, 14:30.

GUIMARÃES, A. C. de S. L. **Estratégias de Controle de Sistemas de Geração Eólica com Máquinas de Indução**. 103 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, 2003. Disponível em: <<http://www.liber.ufpe.br/teses/arquivo/20041119094858.pdf>>. Acesso em 04 de out. 2017, 11:35h.

HAILO. Disponível em: <<https://www.hailo-professional.de/de/produkte>>. Acesso em 20 de mai. 2018; 19:20h.

HENKE, R. E. **Análise da Integração de Parques Eólicos ao Sistema Elétrico de Potência**. 91 p. Projeto (Diplomação) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/65618/000864732.pdf?sequence=1>>. Acesso em 15 de out. 2017, 22:08h.

IMPISA WIND. **Imagem de montagem de torre eólica**. 2017. Disponível em: <<http://www.impisa.com/pt/produtos/impisawind/SitePages/montagem.aspx>>. Acesso em 08 de set. 2017, 19:44h.

INTERNATIONAL ELECTROTECNICAL COMMISSION (IEC). Disponível em: <<https://webstore.iec.ch/>>. Acesso em 11 de nov. 2017, às 17:37h.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Disponível em: <<https://www.iso.org/>>. Acesso em 08 de nov. 2017, às 20:30h.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2016**. Abu Dhabi, 2016. Disponível em: <http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Jobs_Annual_Review_2016.pdf>. Acesso em 23 de abr. 2017, 16:45h.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **REthinking Energy: Towards a new power system**. Abu Dhabi, 2014. Disponível em: <http://www.irena.org/rethinking/IRENA_REthinking_fullreport_2014.pdf#page=83>. Acesso em 23 de abr. 2017, 18:35.

KINDERMANN, G. **Proteção de sistemas elétricos de potência**. 1 ed. Florianópolis, 1999.

LEITE, A. P. **Modelagem de fazendas eólicas para estudo de confiabilidade**. 159 p. Dissertação (Mestrado) – COPPE, UFRJ, 2005. Disponível em: <<http://pee.ufrj.br/teses/textocompleto/2005042601.pdf>>. Acesso em 08 de set. 2017, 18:55h.

LENZ, G.; **Nanomateriais de carbono e suas incríveis propriedades**. 87p. Campus Party 2017 (Apresentação) – Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade de São Paulo, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/314209054_Nanomateriais_de_carbono_e_suas_incriveis_propriedades_In_Portuguese?enrichId=rgreq-324951b1419a0e4cb9d5e81ee2f9a5f3-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdIOzMxNDIwOTA1NDtBUzo0Njc5NTI0MzM2NjgwOTZAMTQ4ODU3OTk2MjEwOQ%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf>. Acesso em 01 de mai. 2018, 18:35h.

LM Wind Power. **Meet a record-breaker: LM 88.4 P**. 2016. Disponível em: <https://www.lmwindpower.com/en/products-and-services/blade-types/longest-blade-in-the-world>. Acesso em 20 de mai. 2018, 21:20h.

LONDON ARRAY. **Renewable Energy Record Achieved**. Tunbridge Wells, 2016. Disponível em: <<http://www.londonarray.com/project/renewable-energy-record-achieved-at-london-array/>>. Acesso em 01 de nov. 2017, 20:25h.

MACIEL, Jorge L. de L. **Proposta de um modelo de integração da gestão da segurança e da saúde ocupacional à gestão da Qualidade Total**. Florianópolis, 2001. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/80097/186212.pdf?sequence=1>. Acesso em 15 de mai. 2018, 17h.

MADUREIRA, A. L. T. **Análise Dielétrica de um Transformador de Potência**. 99 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2014. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/73747/2/31883.pdf>>. Acesso em 13 de mar. 2018, 19:32h.

MANUTENÇÃO EM FOCO. **Pirâmide de Bird e sua teoria**. 2017. Disponível em: <<https://www.manutencaoemfoco.com.br/piramide-de-bird/>>. Acesso em 05 de mar. 2018, 21:03h.

MANWELL, J.; MCGOWAN, J.; RODGERS, A. **Wind energy explained: theory, design and application**. 2 ed. John Wiley & Sons Ltd., 2009.

MARTINS, F. R.; GUARNIEI, R. A.; PEREIRA, E. B. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, 1304, 2008.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO. **Brasil inaugura parque eólico do maior complexo da América Latina**. Brasil, 25 fev. 2015. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/noticia/48d35480>>. Acesso em 02 de nov. 2017, 18:05h.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO (OIT). **Promover a SEGURANÇA e a SAÚDE numa Economia Verde**. 2012. Disponível em: http://www.ilo.org/public/portugue/region/eurpro/lisbon/pdf/28abril_12_pt.pdf. Acesso em 04 de abr. 2018, 14:30h.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **Relatório Anual da Administração e as Demonstrações Financeiras**. 2015. Disponível em: <http://apps05.ons.org.br/download/biblioteca_virtual/relatorios_anuais/RAONS_2015/html/assets/relatorio2015_portugues.pdf>. Acesso em 15 de nov. 2017, 18:12h.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**, 2ª edição. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf>. Acesso em 15, de nov. 2017, 12:41h.

PETROBRASIL. **Curso Operador de Parque Eólico**. Disponível em: <<https://ead.petrobrasil.com.br/curso/operador-de-parque-eolico>>. Acesso em 03 de nov. 2017, 15:45h.

PORTAL ENERGIA – Energias Renováveis. **Principais avarias elétricas e mecânicas em aerogeradores**. 2017. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/principais-avarias-electricas-mecanicas-aerogeradores/>. Acesso em 20 de abr. 2018, 16:05h.

PORTAL ENERGIA – Energias Renováveis. **Principais causas dos problemas dos aerogeradores com caixa multiplicadora – Parte 2**, 2016. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/principais-causas-dos-problemas-dos-aerogeradores-caixa-multiplicadora-parte-2/>. Acesso em 20 de abr. 2018, 15:45h.

PROGRAMA DE DISSEMINAÇÃO DAS ESTATÍSTICAS DO TRABALHO (PDET). Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (CAGED), 2016. Disponível em: <http://pdet.mte.gov.br/caged>. Acesso em 10 de jan. 2018, 19h.

QENERGIA – Sistemas para a Qualidade e Gestão da Energia. **Índice Cerâmico**, 2018. Disponível em: <http://www.qenergia.pt/content/index.php?action=detailfo&rec=240>. Acesso em 20 de mai. 2018, 20h.

QUALITÁ OCUPACIONAL, 2016. Disponível em: <https://qualitaocupacional.com.br/edicao-47-novembro-de-2016>>. Acesso em 21 de mai. 2018, 20:10h.

RENEWABLEUK. **Onshore Wind Health & Safety Guidelines**. 2015. Disponível em: https://c.ymcdn.com/sites/www.renewableuk.com/resource/collection/AE19ECA8-5B2B-4AB5-96C7-ECF3F0462F75/OnshoreWind_HealthSafety_Guidelines.pdf. Acesso em 20 de fev. 2018, 17:45h.

RODRIGUES, P. R. **Energia eólica em energias renováveis**. Unisul, 53 p. 2011.

ROSAS, P. A. C.; ESTANQUEIRO, A. I. **Guia de Projeto Elétrico de Centrais Eólicas**. Recife: 2003. Volume I. Disponível em: http://energiasrenovaveis.com/images/upload/Guia_Eletrico_CBEE_eolica.pdf>. Acesso em 08 de out 2017, 21:50h.

SCHNEIDER ELETRIC. **Manual e Catálogo do Eletricista**. Curitiba, 2009. Disponível em: https://www.schneider-electric.com.br/documents/electricians/manual_industrial_e_infra-estrutura.pdf>. Acesso em 15 de nov. 2017, 19:11h.

SCOTLAND POLITICS. Planning for wind farms must be “urgently addressed” say MSPs. **BBC News**. 14 mar. 2014. Disponível em: <http://www.bbc.com/news/uk-scotland-scotland-politics-26579733>>. Acesso em 5 de nov. 2017, 22:21h.

STEEL, W. Minimizing worker safety risks in the wind energy industry. **Renewable Energy World**. Nashua, 25 mai 2016. Disponível em: <http://www.renewableenergyworld.com/articles/print/volume-19/issue-6/features/wind/minimizing-worker-safety-risks-in-the-wind-energy-industry.html>>. Acesso em 18 de abr. 2017, 16:14h.

SUZLON. **Modelo de turbina eólica.** 2017. Disponível em: <<http://www.directindustry.com/pt/prod/suzlon/product-102149-957717.html>>. Acesso em 15 de nov. 2017, 19:20h.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica.** Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2016. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/Documents/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf>>. Acesso em 23 de abr. 2017, 16:45h.

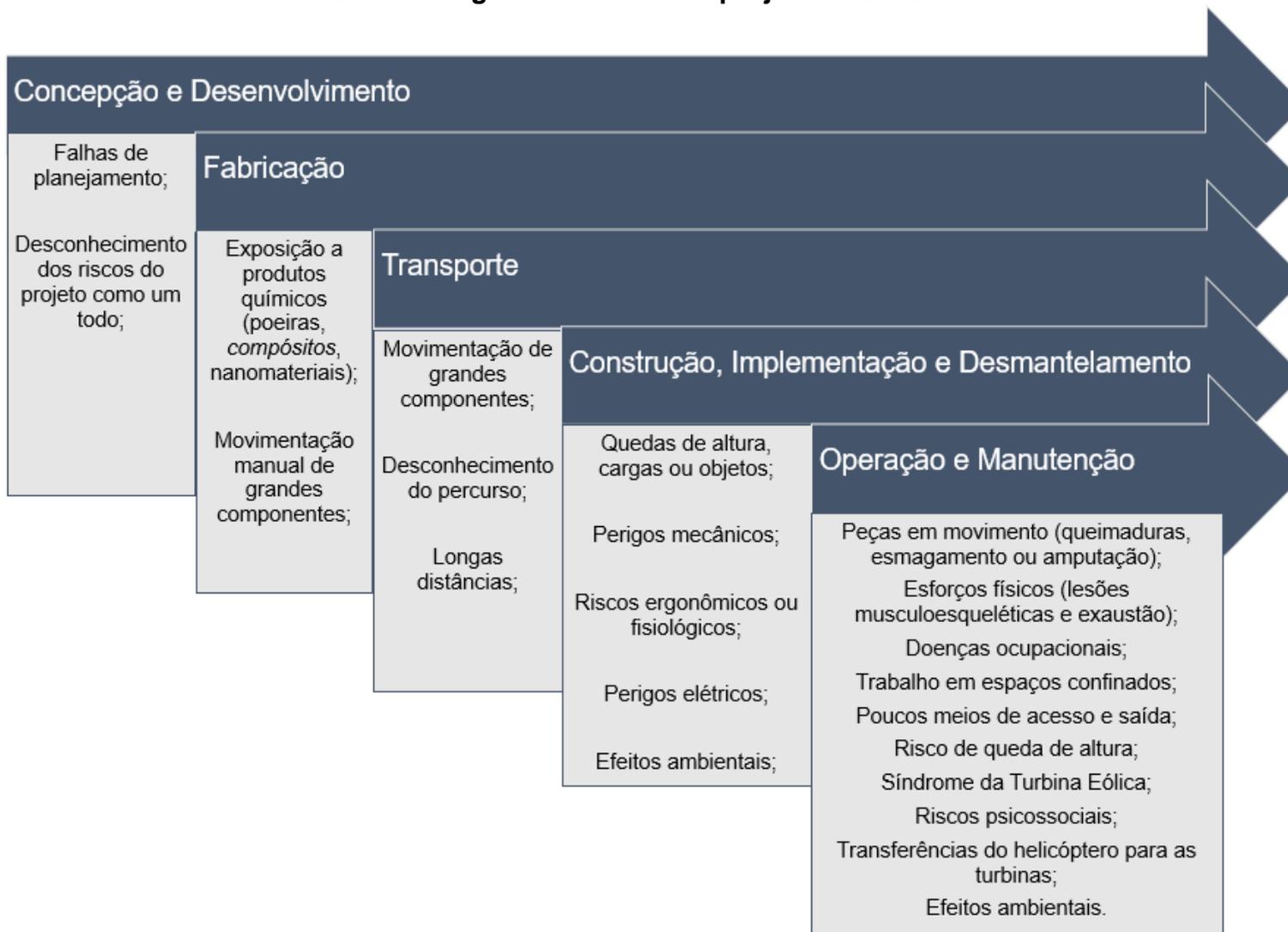
UADIALE, S. et al. **Overview of problems and solutions in fire protection engineering of wind turbines.** In: FIRE SAFETY SCIENCE, 11, Nova Zelândia, 2014, p. 983-995. Disponível em: <http://www.iafss.org/publications/fss/11/983/view/fss_11-983.pdf>. Acesso em 01 de mai. 2017, 14:00h.

VESTAS. **Modelo de turbina eólica.** 2017. Disponível em: <https://www.vestas.com/en/products/turbines/v136%20_3_45_mw#!options-available>. Acesso em 18 de nov. 2017, 12:20h.

WOBLEN WIND POWER. **Modelo de turbina eólica.** 2017. Disponível em: <<http://www.wobben.com.br/produtos/importados/e-115-3000-kw/>>. Acesso em 08 de out. 2017, 19:16h

WOOD, S., **COSHH failures blow £35,000 off wind power firm's profits.** *Health and Safety at Work*, 2009. Disponível em: <<https://www.healthandsafetyatwork.com/content/coshh-failures-blow-%C2%A335%2C000-off-wind-power-firms-profits>>. Acesso em 30 de abr. 2018, 19:20h.

APÊNDICE A – Diagrama de fases do projeto e riscos associados



APÊNDICE B – Resumo das medidas de prevenção por fase

GERAL	Análise de riscos caso a caso – Diagrama de fluxo e riscos; Partilha de informações dentre as partes envolvidas no projeto; Capacitação dos empregados e garantia de compreensão dos riscos e procedimentos; Fiscalização da execução das atividades conforme as normas nacionais e internacionais; Ensaio para implementação do plano de emergência (envolver corpo de bombeiros local); Monitoramento constante.
CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO	Planejamento do projeto de segurança; Planos de prevenção; Protocolos de emergência para resgate e evacuação.
FABRICAÇÃO	Acompanhamento médico e exames periódicos; Uso obrigatório de EPIs.
TRANSPORTE	Planejamento estratégico (percurso, pista, escolta, medidas de emergência).
CONSTRUÇÃO, IMPLEMENTAÇÃO E DESMANTELAMENTO	Planejamento e alinhamento preciso de informações; Garantia de sistemas de desligamento e bloqueio; <i>Checklist</i> NR-10.
OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	Avaliação das condições meteorológicas; Avaliação psicossocial e exames periódicos; Inspeção periódica – garantir confiabilidade (alarmes; SPDA; sistemas elétrico, mecânico, de detecção e de extinção de incêndio); Livro de relatórios (registro de atividades); <i>Checklist</i> NR-10.

APÊNDICE C – Checklist de atendimento ao subitem 10 da NR-10

LISTA DE VERIFICAÇÃO - ATENDIMENTO À NR-10											
10	PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO E EXPLOSÃO									COMENTÁRIOS / RECOMENDAÇÕES	
Sub-Itens	Descrição	Item	Atendimento								
10.1	Não deixar de dotar as áreas onde houver instalações ou equipamentos elétricos de proteção contra incêndio e explosão, conforme dispõe a NR 23. Proteção Contra Incêndios	10.9.1	CF		NC		AP		NA		
			Evidência:								
10.2	Não deixar de avaliar quanto à sua conformidade, no âmbito do Sistema Brasileiro de Certificação, os materiais, peças, dispositivos, equipamentos e sistemas destinados à aplicação em instalações elétricas de ambientes com atmosferas potencialmente explosivas	10.9.2	CF		NC		AP		NA		
			Evidência:								
10.3	Não utilizar processos ou equipamentos susceptíveis de gerar ou acumular eletricidade estática que não disponham de proteção específica e dispositivos de descarga elétrica	10.9.3	CF		NC		AP		NA		
			Evidência:								
10.4	Não deixar de adotar dispositivos de proteção nas instalações elétricas de áreas classificadas ou sujeitas a risco acentuado de incêndio ou explosões para prevenir sobretensões, sobrecorrentes, falhas de isolamento, aquecimentos ou outras condições anormais de operação.	10.9.4	CF		NC		AP		NA		
			Evidência:								
10.5	Não permitir a realização de serviços em instalações elétricas nas áreas classificadas sem que haja permissão para o trabalho com liberação formalizada, conforme estabelece o item 10.5 ou supressão do agente de risco que determina a classificação da área	10.9.5	CF		NC		AP		NA		
			Evidência:								
Legenda: CF - Conforme ou Atende Satisfatoriamente NC - Não Conforme ou Não Atende AP - Atende Parcialmente NA - Não Aplicado ou Não Verificado											