

Aplicação do FMEA na gestão da manutenção de usinas eólicas *onshore*: propostas de diretrizes e boas práticas

Marcus Eduardo Costa Souto (UFRN - CRIAÇÃO)

marcus.costasouto@gmail.com

Gabriela Soares do Nascimento (UFRN - CRIAÇÃO)

gabisoaresn@ufrn.edu.br

Vanessa Kally Medeiros Tavares (UFRN - CRIAÇÃO)

vanessa_kally@hotmail.com

Mario Orestes Aguirre González (UFRN - CRIAÇÃO)

marioogonzalez@gmail.com

Nícolas Alves Costa Oliveira (UFRN - CRIAÇÃO)

nicolas.oliveira@ufrn.edu.br

As energias renováveis e mais precisamente a energia eólica estão crescendo em escala global, no Brasil a energia eólica é a segunda energia mais utilizada na matriz energética, atrás apenas da hidrelétrica. Porém os custos na operação e manutenção podem ser 80% do custo de uma usina eólica durante os 20 anos de vida útil. Dessa forma, a pesquisa teve como finalidade identificar diretrizes e boas práticas para a redução de custos na operação e manutenção de usinas eólicas no Rio Grande do Norte (RN), Estado com maior capacidade instalada. Por meio de entrevistas semiestruturadas com gestores de empresas no RN, foram levantadas as principais falhas durante a operação e manutenção de usinas eólicas e foram classificadas por meio da ferramenta FMEA, como forma de priorização às falhas mais significativas. As falhas foram analisadas dentre as três grandes componentes do parque eólico: o aerogerador, a rede de média tensão e a subestação elevadora. A partir disso identificou-se falhas no sistema pitch, nas pás, nos cabos, nos condutores, no sistema de isolamento dos cubículos, no sensor de temperatura do transformador e no sistema de transmissão. Com as falhas analisadas e o contexto das usinas, foi possível recomendar 17 diretrizes e boas práticas para gestão de manutenção com a finalidade de reduzir custos, aumentar a disponibilidade das máquinas e tornar as usinas mais competitivas.

Palavras-chave: FMEA, Energia eólica, Gestão da manutenção.



1. Introdução

O aumento da demanda global por energia elétrica aliado à necessidade de preservação dos recursos ambientais, fez crescer o uso de fontes renováveis para geração elétrica (AKBARI et al, 2017). Em 2017, essas fontes representaram 25% da matriz elétrica mundial e segundo perspectivas do IRENA, esta parcela poderá chegar a 86% em 2050, sendo 30% energia eólica (IRENA, 2020).

No Brasil, a energia eólica é uma das principais fontes de energia, atrás apenas da hidrelétrica, sendo os Estados de maior produção o Rio Grande do Norte, Bahia e Ceará com aproximadamente 4,3GW, 4GW e 2GW, respectivamente (ABEEOLICA, 2020).

Apesar do crescimento da energia eólica, a operação e manutenção (O&M) de parques eólicos tem o custo elevado. Para uma vida útil de 20 anos, os custos de O&M de turbinas eólicas podem ser responsáveis por cerca de 80% dos custos do investimento e, ainda, turbinas maiores apresentam mais falhas e, por este motivo, devem receber mais atenção em se tratando de manutenção (MÁRQUEZ et al, 2012).

A fim de aumentar a produtividade e reduzir custos, as empresas têm focado seus esforços na análise das atividades da função manutenção. A aplicação da ferramenta FMEA (*failure mode and effect analysis*) possibilita detectar modos de falhas, efeitos e danos que são causadas diretamente na confiabilidade e vida útil dos equipamentos. Também permite uma visão mais clara do método de manutenção a ser utilizada (ARAÚJO et al, 2019).

Birk e Andrade (2018) e Campos e Ferro (2018) reforçam a utilização do FMEA como ferramenta importante para as tomadas de decisão a fim de reduzir o número de paradas do equipamento analisado. A utilização do método auxilia o desenvolvimento e atualização de atividades de manutenção, proporcionando ações sobre os modos de falha críticos e trazendo considerável aumento na disponibilidade dos equipamentos.

Dessa forma, a pesquisa teve o objetivo de identificar diretrizes e boas práticas para a redução de custos na operação e manutenção de usinas eólicas no Rio Grande do Norte (RN), Estado com maior capacidade instalada, a partir da aplicação da ferramenta FMEA elencando falhas significativas.

Para tal, o artigo está dividido em 6 seções: introdução, abordando o contexto geral da pesquisa; fundamentação teórica, detalhando os principais componentes de uma usina eólica onshore, os tipos de manutenção e explicando a ferramenta FMEA; método da pesquisa; análise das falhas detectadas e aplicação do FMEA; diretrizes e boas práticas de O&M; e as considerações finais.

2. Fundamentação teórica

2.1. Estrutura de uma usina eólica *onshore*

A estrutura de usinas eólicas *onshore* subdividem-se em três grandes componentes, sendo estes: aerogeradores, rede coletora de média tensão e subestação elevadora. Como define Pinto (2013), chama-se aerogerador o equipamento destinado a gerar energia elétrica a partir da energia fornecida pelo vento. Os componentes mais importantes do aerogerador são: torre, estrutura de sustentação; nacelle, a estrutura montada em cima da torre onde estão contidos o gerador e a caixa de acoplamentos; caixa de engrenagens, localizada dentro da nacelle, que é responsável por elevar a velocidade de rotação da turbina para o gerador; cubo, estrutura onde são fixadas as pás; gerador, máquina responsável pela produção de energia elétrica propriamente dita; e pás, a estrutura movimentada pelo vento.

De acordo com Secco (2015), dá-se o nome de rede coletora (ou de média tensão) a rede de distribuição utilizada para interligação dos aerogeradores até a subestação elevadora. Essas podem ser implementadas de duas formas: subterrânea, quando instaladas em valas, diretamente enterradas ou através de dutos; e aéreas, sustentados por ferragens fixadas nas estruturas de concreto.

A Subestação elevadora é responsável pelo escoamento de toda potência gerada pelos aerogeradores, através de sua conexão no barramento da rede de média tensão, entre 12 e 34,5 kV, para elevação de acordo com o nível de Alta Tensão, entre 69 e 500 kV (GOVEIA e MISSIAS, 2018).

2.2. Manutenção

A manutenção, definida pela norma NBR 5462, é a combinação de ações técnicas, administrativas e de supervisão, com vistas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida, podendo incluir a substituição de um item. A mesma norma, que trata de confiabilidade e mantabilidade, define três principais políticas de manutenção:

- Manutenção corretiva: efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida;
- Manutenção preventiva: efetuada em intervalos predeterminados ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item;

- Manutenção preditiva: aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando meios de supervisão centralizados ou de amostragem, que permite garantir uma qualidade de serviço desejada.

Lemos, Albernaz e Carvalho (2011) evidenciam a importância da gestão da manutenção com atenção à qualidade das atividades de manutenção. Segundo os autores, a falta de qualidade nessas atividades é um dos geradores de demanda de serviços de manutenção, que conseqüentemente diminui a disponibilidade, aumenta os custos e diminui a satisfação dos clientes internos e externos.

2.3. Ferramenta FMEA

A análise de modos de falhas e efeitos - FMEA, do inglês *Failure Mode and Effect Analysis* - é uma ferramenta da qualidade amplamente utilizada na gestão da manutenção. Tem como objetivo identificar potenciais modos de falha de um produto ou processo de forma a avaliar o risco associado, para que sejam classificados em termos de importância e serem recomendadas ações com o intuito de diminuir a incidência de falhas (SANTOS et al, 2017).

Para analisar as falhas são utilizados três critérios que são utilizados e auxiliam na determinação de prioridades na correção de falhas. A ocorrência (O), que define a frequência em que a falha acontece; a severidade (S), correspondente à gravidade do efeito das falhas; e a detecção (D), representando a possibilidade/probabilidade de detecção de uma falha antes que esta ocorra (PALAFY, 2004).

Os critérios seguem uma escala de 1 a 9, no caso da ocorrência 1 seria a chance remota da falha e o 9, representa uma frequência elevada, como 1 vez ao dia; para a severidade, 1 representa que a falha não causa variações no sistema, enquanto 9, a falha é muito severa com risco potencial à segurança; e a detecção, representa que a falha é de fácil detecção, já 9 possui uma baixa probabilidade de detecção da falha (PALAFY, 2004).

3. Método da pesquisa

A pesquisa tem como objetivo analisar o contexto de falhas de manutenção de usinas eólicas no Brasil, assim, é caracterizada de acordo com seu gênero como uma pesquisa prática, pois utiliza de um contexto para aplicar conhecimento científico (DEMO, 2000). Já o procedimento da pesquisa, é considerado um estudo de casos, pois estuda falhas de usinas de 5 empresas diferentes, sendo todas usinas instaladas no Rio Grande do Norte (YIN, 2001). Quanto ao seu objetivo é uma pesquisa exploratória, pois utiliza métodos para entender o contexto das usinas

(GIL, 2010). E, por fim, possui uma abordagem qualitativa, pois os dados coletados foram por meio de entrevistas com questões abertas e subjetivas (CRESWELL, 2010).

Para chegar ao resultado da pesquisa foram seguidas 4 etapas: a pesquisa de campo, a aplicação do FMEA para análise das falhas, a recomendação de ações para mitigação das falhas destacadas e, por último, a proposição de diretrizes e boas práticas de operação e manutenção de usinas eólicas *onshore*.

A pesquisa de campo deu-se com entrevistas semiestruturadas em 5 empresas, estas empresas possuem mais de 1 usina eólica instalada no Rio Grande do Norte, assim, ao todo foram a pesquisa contou com o estudo de 35 usinas eólicas. As empresas foram nomeadas como A, B, C, D, E, e dentre elas, são utilizadas 4 diferentes fabricantes de turbinas.

Na segunda etapa, as falhas elencadas nas entrevistas foram classificadas e analisadas por meio da ferramenta FMEA, em que descreve cada falha de acordo com sua severidade, frequência de ocorrência e facilidade de detecção. Para, assim, ser possível ordenar as falhas de acordo com suas significâncias. A terceira etapa é a continuação da ferramenta FMEA, em que foram recomendadas ações como forma de correção às falhas identificadas.

E na última etapa são propostas diretrizes e boas práticas para operação e manutenção de usinas eólicas de acordo com as recomendações já elaboradas e o contexto visto nas usinas por meio das entrevistas. As diretrizes e as boas práticas propostas são uma forma de melhorar a gestão de manutenção nas empresas com a finalidade de evitar as falhas, aumentar a disponibilidade e tornar a usina competitiva.

4. Análise de falhas e aplicação do FMEA

A operação e manutenção de uma usina eólica possui custos dispendioso, dessa forma, é necessário dar atenção às falhas ocorridas, para ser possível prevenir e reduzir custos. Uma usina eólica *onshore* pode ser dividida em três grandes componentes: o aerogerador, a rede média de tensão e a subestação elevadora. E a análise das falhas das usinas estudadas foram agrupadas de acordo com o componente da usina em que está presente.

O aerogerador é o componente da usina que gera a energia elétrica por meio da conversão de energia cinética dos ventos. Quanto ao aerogerador as empresas A, D e E relataram falhas no sistema de *pitch* do aerogerador, que é responsável pela inclinação das pás, promovendo um melhor aproveitamento do vento, e tal sistema demanda baterias para seu funcionamento.

Aerogeradores mais modernos possuem o sistema hidráulico de *pitch*, como é o caso da empresa E.

A Tabela 1 traz o a aplicação da ferramenta FMEA para as falhas no aerogerador. As falhas da empresa A, D e E estão presentes nas pás, nos motores de *pitch* e nas baterias, no caso do sistema hidráulico, ao invés das baterias, as falhas estão presentes no sistema hidráulico. As pás apresentam captação ineficiente da energia cinética dos ventos, os motores do *pitch* apresentaram falta de força para alterar o ângulo de ataque, e as baterias apresentaram descarga. As três falhas acarretam a perda de geração elétrica.

Para empresa A e D, as baterias são o componente com a falha mais significativa, já a empresa E, o motor de *pitch* é o mais significativo. Como ação recomendada, para empresa A e D é sugerido monitoramento da vida útil das baterias e a busca por baterias com maior vida útil. Para empresa E, é recomendado o monitoramento do sistema hidráulico e reaperto nas mangueiras de conexão.

Quanto a empresa B e C, apresentam falhas nas pás, componente responsável por captar a energia cinética dos ventos, a falha ocorrida é o desprendimento da camada devido a falhas estruturais e é recomendado inspeções visuais e contato com o fabricante em busca de pás reforçadas estruturalmente.

Tabela 1 – Aplicação da ferramenta FMEA para o aerogerador

Ponto de falha		Análise da falha			Empresa	Avaliação de risco				Ação recomendada
Sistema	Componente	Modo de falha	Efeitos de falha	Causa da falha		O	S	D	RPN	
Sistema de <i>pitch</i> do aerogerador	Pás	Captação ineficiente da energia cinética do vento	Perda de geração de energia	Motores de <i>pitch</i> não funcionam	A	4	7	5	140	Monitoramento da vida útil das baterias do sistema de <i>pitch</i> e/ou busca por baterias com maior vida útil
					D	3	7	5	105	
	Motores de <i>pitch</i>	Falta de força para alterar o ângulo de ataque	Perda de geração de energia	Descarga de baterias	A	4	7	6	168	
					D	3	7	6	126	
	Baterias	Desacarga	Perda de geração de energia	Vida útil	A	4	7	7	196	
					D	3	7	7	147	
Sistema hidráulico de <i>pitch</i> do aerogerador	Pás	Captação ineficiente da energia cinética do vento	Perda de geração de energia	Motores de <i>pitch</i> não funcionam	E	6	7	5	210	Monitoramento do sistema hidráulico e reapertos em mangueira de conexão
	Motores de <i>pitch</i>	Falta de força para alterar o ângulo	Perda de geração de energia	Vazamento no sistema hidráulico	E	6	7	6	252	
	Sistema Hidráulico	Vazamento de óleo	Óleo extravasa	Falha de projeto	E	6	10	3	180	
Pás	Ligas componentes de pás	Despredimento de camadas	Perda de geração de energia	Falhas estruturas de fabricação	B	5	9	4	180	Inspeções visuais constantes e busca por pás estruturalmente reforçadas, junto ao fabricante
					C	3	9	4	108	

Fonte: Adaptado de Souto (2018)

Quanto a rede de transmissão média, ela é composta por cabos que fazem a conexão do aerogerador à subestação elevadora, é responsável por conduzir a energia produzida para a subestação.

Nas empresas A, D e E estão presentes falhas nos condutores, que são responsáveis por fazer a condução da energia, as falhas são devido ao rompimento das emendas, ocasionando na interrupção da transmissão de energia. E a principal recomendação é a utilização de caixas de inspeção nas emendas e limpezas frequentes dos pontos de emenda.

Além dos condutores, a empresa E possui falhas no sistema de isolamento dos cubículos, responsável por extinguir arcos voltaicos que provoca explosões; e no sensor de temperatura do transformador, que tem a função de desligar o circuito do transformador em caso de superaquecimento do óleo. A ação recomendada para ambas as falhas é o reprojetado, e quanto ao sensor de temperatura, sugere-se também a sua substituição por um adequado.

A Tabela 2 apresenta a aplicação do FMEA para as falhas relacionadas com a rede média de tensão. Para a empresa A e D, a falha significativa - em relação a este componente da usina – são os condutores, enquanto na empresa E é o sistema de isolamento dos cubículos.

Tabela 2 – Aplicação da ferramenta FMEA para a rede média de tensão

Ponto de falha		Análise da falha			Empresa	Avaliação de risco				Ação recomendada
Sistema	Componente	Modo de falha	Efeitos de falha	Causa da falha		O	S	D	RPN	
Condutores	Emendas	Rompimento de emendas	Interrupção de transmissão de energia elétrica	Emendas mal feitas ou fora do padrão	A	5	4	3	60	Utilização de caixas de inspeção de emendas e limpeza frequente dos pontos de emenda
					D	5	4	2	40	
					E	5	4	2	40	
Sistema de isolamento dos cubículos	Câmara de extinção de arcos elétricos	Explosão	Interrupção de transmissão de energia elétrica	Erro do projeto	E	5	10	9	450	Reprojeto
Sensor de temperatura do transformador	Relé de temperatura	Desligamento do circuito do transformador	Interrupção de energia do aerogerador para a RMT	Erro do projeto	E	6	5	4	120	Reprojeto e substituição por um transformador adequado

Fonte: Adaptado de Souto (2018)

A subestação elevadora, por fim, é fundamental para transformar a energia coletada pela rede média de tensão em uma tensão mais elevada para entregar a energia para a rede elétrica. E a falha destacada é no sistema de transmissão, ocorre o desligamento pelo sistema de proteção. Nessa parte da usina, apenas as empresas B, D e E possuem falhas, que são causadas por curto-circuito devido à fauna local. A ação recomendada é a utilização de barreiras nas partes energizadas, impedindo a interrupção dessa conexão, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Aplicação da ferramenta FMEA para a subestação elevadora

Ponto de falha		Análise da falha			Empresa	Avaliação de risco				Ação recomendada
Sistema	Componente	Modo de falha	Efeitos de falha	Causa da falha		O	S	D	RPN	
Sistema de transmissão	Barramentos	Desligamentos pelo sistema de proteção	Interrupção da conexão entre a usina e linha de transmissão	Curto-circuito devido ao impacto de fauna	B	5	8	1	40	Utilização de barreiras nas partes energizadas
					D	4	8	1	32	
					E	5	7	1	35	

Fonte: Adaptado de Souto (2018)

Em relação às falhas mais significativas entre as empresas: a empresa A e a D têm como as baterias do sistema de *pitch* dos aerogeradores; a empresa B e C, o desprendimento da camada das pás; e a empresa E, que possui o maior número de falhas, teve como falha significativa no sistema de isolamento dos cubículos.

5. Diretrizes e boas práticas de O&M

Aliado a aplicação do FMEA para detectar as falhas mais significativas, foi feita uma análise de modo global nas usinas, por meio das entrevistas e contato com funcionários, entendendo o seu funcionamento, as dificuldades encontradas e os pontos de fragilidades que não estão recebendo atenção.

Com isso, foi elaborado diretrizes e boas práticas de operação e manutenção para auxiliar empresas, gestores, coordenadores, técnicos, profissionais do setor eólico nas decisões e escolhas de manutenção de usinas eólicas, a fim de aumentar a disponibilidade das usinas e as tornas mais competitivas.

As diretrizes e boas práticas foram separadas, assim como as falhas, de acordo com os componentes da usina. Na Tabela 4, é resumido as diretrizes e boas práticas propostas para o aerogerador.

Pelo sistema de *pitch* ser dependente de baterias e importante para o aproveitamento do vento, recomenda-se o monitoramento da vida útil das baterias do sistema, atentando ao momento de troca das baterias, evitando a parada do sistema e diminuição da disponibilidade do componente. Quanto aos aerogeradores que possuem sistema hidráulico de *pitch*, sugere-se utilizar medidas de manutenção preditiva e preventiva, caso a falha seja frequente.

Recomenda-se a detecção antecipada do descolamento da camada das pás, por meio de inspeções visuais e frequentes, evitando a diminuição da produção. E apesar de ser dispendioso, é sugerido o contrato *full servisse* para ações de O&M, armazenamento e substituição de peças, para aumentar a disponibilidade das máquinas. Por fim, recomenda-se o acompanhamento das intervenções do fabricante por uma equipe técnica, com a finalidade de fazer o controle de qualidade e obter dados e know-how nas máquinas.

Tabela 4 – Diretrizes e boas práticas para O&M do aerogerador

Diretrizes e boas práticas de O&M em relação ao aerogerador	
A.1	Monitoramento da vida útil das baterias do sistema <i>pitch</i>
A.2	Inspeções visuais nas pás
A.3	Manutenção preditiva e preventiva no sistema hidráulico de <i>pitch</i>
A.4	Contratos <i>full service</i> para manutenção de grandes componentes
A.5	Acompanhamento das intervenções do fabricante

Fonte: Elaboração própria (2020)

Quanto às redes de média tensão, como apresentada em resumo na Tabela 5, recomenda-se utilizar cabos subterrâneos, para evitar impactos e fatores externos. E dado que o principal de ponto de fragilidade da rede são as emendas, assim, sugere-se a utilização de cabos de qualidade e de procedimentos de emenda corretos, utilizando os kits fornecidos pelos fabricantes de cabos elétricos; já para evitar a procura e escavação durante a verificação das emendas, é sugerido a utilização de caixas de inspeção, para facilitar o acesso. Também se sugere deixar sobras de mais de 1 metro de cabo elétrico nos pontos de emenda, para caso seja necessário ser feita outra emenda. Além de tudo, recomenda-se que o projeto seja elaborado por profissionais com experiências na área, para evitar erros do projeto.

Tabela 5 – Diretrizes e boas práticas para O&M da rede de média tensão

Diretrizes e boas práticas de O&M em relação à rede de média tensão	
R.1	Utilização de redes de média tensão subterrâneas
R.2	Utilização de cabos de qualidade e procedimentos de emenda corretos
R.3	Utilização de caixas de inspeção nos pontos de emenda
R.4	Sobra do cabo em pontos de emenda
R.5	Projetos elaborados por profissionais na área

Fonte: Elaboração própria (2020)

As diretrizes e boas práticas para a subestação elevadora, como mostrado na Tabela 6, diz respeito ao fornecimento de proteção às partes energizadas do circuito. Recomenda-se que a parte energizada não esteja em contato do solo, dificultando o acesso e o contato com a fauna local. Ainda, sugere-se a implantação de barreiras de proteção, como muros e grades, com intuito de impedir o acesso a tais partes.

Tabela 6 – Diretrizes e boas práticas para O&M da subestação elevadora

Diretrizes e boas práticas de O&M em relação à subestação elevadora	
S.1	Distância das partes energizadas do circuito e o solo
S.2	Barreiras de proteção às partes energizadas do circuito

Fonte: Elaboração própria (2020)

Por fim, são indicadas diretrizes e boas práticas gerais para um bom funcionamento e aumento da disponibilidade das máquinas, como mostra a Tabela 7. Sugere-se que caso ocorra falha ou mau funcionamento de equipamentos, estes sejam substituídos rapidamente, diminuindo o tempo sem produção. Também é recomendado a inspeção e intervenções frequentes nos equipamentos, como medida de manutenção preventiva.

Há um destaque para a qualificação e conhecimento dos colaboradores, assim, recomenda-se treinamentos e requisitos mínimos para equipe técnica. Também se recomenda a participação dos cursos fornecidos ou recomendados pelos fabricantes, principalmente a equipe responsável pelo acompanhamento das intervenções das máquinas. E, enfim, é ressaltado a importância dos treinamentos sobre as Normas Regulamentadoras,

Tabela 7 – Diretrizes e boas práticas de O&M gerais

Diretrizes e boas práticas de O&M gerais	
G.1	Rápida substituição de equipamentos
G.2	Inspeções e intervenções frequentes
G.3	Treinamentos para equipe técnica
G.4	Cursos fornecidos pelos fabricantes
G.5	Treinamentos sobre Normas Regulamentadoras (NRs)

Fonte: Elaboração própria (2020)

6. Considerações finais

A expansão da indústria eólica no Brasil, principalmente em Estados do nordeste (RN, BA e CE), revelou a necessidade do conhecimento detalhado dos processos desse setor. Cerca de 80% dos custos são para operação e manutenção da usina em uma vida útil de 20 anos, assim, devido aos altos custos, as atividades de O&M das usinas tornaram-se objeto de atenção das

empresas, com a finalidade de diminuir os custos com manutenção e aumentar a disponibilidade.

Diante da importância da gestão da manutenção para disponibilidade dos equipamentos, a pesquisa, através de entrevistas realizadas com 5 empresas do setor, elencou as principais falhas encontradas em parques eólicos. No aerogerador viu-se a falha de captação ineficiente de energia nas pás, de falta de força para alterar o ângulo de ataque nos motores de *pitch* e a descarga das baterias do sistema de *pitch*. Observou-se ainda, o vazamento do óleo do sistema hidráulico de *pitch* e o desprendimento de camadas das pás.

A falhas encontradas na rede de média tensão foram o rompimento de emendas nos condutores, a explosão na câmara de extinção de arcos elétricos e o desligamento do circuito do transformador. Já na subestação elevadora foi detectado o desligamento pelo sistema de proteção nos barramentos.

Através da ferramenta FMEA, foi possível analisar e classificar as prioridades de ação de correção, e, então, sugerir 17 diretrizes e boas práticas para a gestão de manutenção de usinas eólicas *onshore*.

Por último, salienta-se que a pesquisa teve dificuldade em acessar representantes dos fabricantes de turbinas eólicas e se limitou a estudar usinas na região nordeste do país. Sugere-se para estudos posteriores a pesquisa com outras regiões, como sul e sudeste, que apresentam condições ambientais distintas da estudada. Também é recomendada a aplicação da entrevista com os fabricantes de turbina, tendo assim uma perspectiva de outro integrante da cadeia de suprimentos.

7. Agradecimentos

Este artigo foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) e por meio do Grupo de Pesquisa CRIAÇÃO da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

REFERÊNCIAS

AKBARI, Negar.; IRAWAN, Chandra. A.; JONES, Dylan. F; MENACHOF David. **A multi-criteria port suitability assessment for developments in the offshore**. Wind Industry. Renewable Energy, 2017.

ARAÚJO, Maria Vitoria Medeiros de; SILVA, Luciana Alice de Araújo; ARAÚJO, Maria Creuza Borges de. **Aplicação do FMEA como suporte para a gestão da manutenção de placas fotovoltaicas**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 39., 2019, Santos, São Paulo. Anais [...] . Santos, São

Paulo: Abepro, 2019. p. 1-15. Disponível em:

http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_290_1636_38927.pdf. Acesso em: 18 maio 2020.

ABEEOLICA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. **InfoVento 15**. 2020. Disponível em:

http://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2020/04/Infovento-15_PT.pdf. Acesso em: 18 maio 2020.

BIRK, Igor Paulo Lunkes; ANDRADE, Jairo José de Oliveira. **Planejamento da manutenção com base na análise de falhas: aplicação em um equipamento da indústria de transporte vertical**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 38., 2018, Maceió. Anais [...] . Maceió: Abepro, 2018. p. 1-20. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_258_483_36504.pdf. Acesso em: 18 maio 2020.

CAMPOS, Leonardo Lopes de; FERRO, Newton José. **Aplicação da análise de modo e efeitos da falha (FMEA) para aumento de produtividade: um estudo para revisão da manutenção de uma linha de galvanização a quente**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 38., 2018, Maceió. Anais [...] . Maceió: Abepro, 2018. p. 1-17. Disponível em:

http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_258_483_35808.pdf. Acesso em: 18 maio 2020.

CRESWELL, Jonh. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DEMO, Pedro. **Metodologia do conhecimento científico**. São Paulo: Atlas, 2000

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOVEIA, Paulo Ricardo Selhorst; MISSIAS, Willian Cesar. **Integração de geração eólica e fotovoltaica: análise sob aspectos de fluxo de potência e curto-circuito**. 2018. 111 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/11899/1/CT_COELE_2018_1_21.pdf. Acesso em: 18 maio 2020.

IRENA - INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050**. 2020. ed. Abu Dhabi: Irena, 2020. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>. Acesso em: 18 maio 2020.

LEMONS, Mateus Albernaz; ALBERNAZ, Claudia Marcia R. Machado; CARVALHO, Rogério Atem de. **Qualidade na manutenção**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 31., 2011, Belo Horizonte. Anais [...] . Belo Horizonte: Abepro, 2011. p. 1-11. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_STO_135_859_18052.pdf. Acesso em: 18 maio 2020.

MÁRQUEZ, Fausto. Pedro., TOBIAS, Andrew. Mark., PÉREZ, Jesús. María., PAPAELIAS, Mayorkinos.

Condition monitoring of wind turbines: techniques and methods. Renewable Energy, 2012.

PALAFY, Paul. **FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram.** Instituto IMAM, 2004.

PINTO, Milton. **Fundamentos de energia eólica.** Rio de Janeiro: Ltc, 2013.

SANTOS, Lucas Oliveira; SANTOS, Matheus Fernandes Souza; CASTRO, João Paulo do Prado; SOUZA, Wiliam Santos; CARDOSO, Johnatha Pinto. **Análise dos modos de falha e seus efeitos (FMEA): uma avaliação das publicações em periódicos nacionais e internacionais.** In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE SERGIPE, 9., 2017, Sergipe. Anais [...]. Sergipe: Ufs, 2017. p. 81-93. Disponível em: <https://www.acervo.ufs.br/bitstream/riufs/7580/2/AnaliseModosFalha.pdf>. Acesso em: 18 maio 2020.

SECCO, Gustavo Prado. **Procedimento para estudo de coordenação das proteções elétricas em centrais de geração eólica.** 2015. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sistemas de Potência, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-12072016-142252/publico/GustavoPradoSecco2015.pdf>. Acesso em: 18 maio 2020.

SOUTO, Marcus Eduardo. **Proposta de diretrizes e boas práticas para a operação e manutenção de usinas eólicas do Brasil.** Natal: UFRN, 2018. 178 p. Tese (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

YIN, Robert. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001