

ANÁLISE DE RISCOS PARA PROJETOS DE AEROGERADORES

Altevir Marquezini Palmas Junior, altevirj@terra.com.br¹
Leandro Cardoso Da Silva, Leandro.cardoso@sp.senai.br¹
Antonio Carlos Lemos Carvalho, acarvalho@sp.senai.br¹
Carlos César Pestana, carlos.pestana@sp.senai.br¹

¹Faculdade Senai Roberto Simonsen

Resumo: O desenvolvimento tecnológico e da sociedade incorpora equipamentos e máquinas que ajudam a melhorar a qualidade de vida; e o consumo de energia per capita cresce cada vez mais rápido, e uma das principais é a eletricidade - convertida em luz, calor, movimento, etc. para usos residenciais, comerciais e industriais. Veículos urbanos movidos a eletricidade aparecem como alternativa aos veículos com combustíveis fósseis assim necessitando de mais fontes geradoras menos poluentes. Nesse contexto, a produção de energia para atender às demandas exigirá explorar todas as matrizes energéticas conhecidas e a serem desenvolvidas. O Brasil gera 45% de energia renovável e lidera transição energética no Brics, e ainda de acordo com os dados, a matriz energética brasileira, em 2019, foi formada por 45% de fontes renováveis e 54% de fontes fósseis. Por outro lado, a sociedade desenvolve a consciência sobre sustentabilidade e pressão pela ampliação da utilização de matrizes energéticas com menor impacto ambiental, destacando-se a energia eólica e solar. Investimentos na construção e manutenção dos parques eólicos (wind farm) compostos por aerogeradores (também conhecidos como turbinas eólicas) seguem expandindo, pelo que ganham importância as pesquisas e desenvolvimento da gestão dos riscos envolvidos. Alguns exemplos incluem as catástrofes naturais (gelo, granizo, ventos com velocidades bem acima de projeto); clima (falta de vento); política e condições regulatórias (podem mudar de acordo com os governantes e interesses políticos); riscos cibernéticos (invasão da central operacional por hackers); risco da localização (problemas com linhas de transmissão, fornecimento de peças e serviços); quebra de máquina e danos elétricos com potencial de perda total; incêndio (causados por falhas mecânicas ou elétricas); além de prejuízos por danos a terceiros (pessoas e propriedades), dependendo da localização vizinhos podem ser atingidos por partes dos equipamentos, trabalhadores que mantêm os equipamentos podem ser ferir ou morrer; danos à fauna (colisão de aves); segurança patrimonial (furto de componentes); transporte (transporte e instalação da torre e partes do aerogerador). Por meio de dados estatísticos esse estudo tem objetivos de apresentar frequências de eventos que provocaram danos ou acidentes em aerogeradores, analisar as causas, e apresentar soluções para redução e/ou mitigação de riscos de quebra de máquina e de incêndio.

Palavras-chave: acidentes, falhas, riscos, mitigação

1. INTRODUÇÃO

A confiabilidade das turbinas eólicas é um pré-requisito importante para garantir a geração de energia elétrica pelo maior tempo possível durante o ano.

Mesmo havendo protótipos e equipamentos certificados por organismos internacionais, ainda se depende muito das experiências de suas instalações para estudos de melhorias. Em princípio são projetadas turbinas eólicas menores, em sequência nos novos projetos tem aumentado as capacidades de geração desses equipamentos.

Dessa forma é importante as análises e avaliações de riscos para entender quais as principais vulnerabilidades das turbinas eólicas.

2. ANÁLISE E AVALIAÇÃO DE RISCOS

2.1. Riscos

Segundo a NFPA 551 (2019) a percepção do risco e, portanto, a aceitação de risco, é influenciada pelos valores das partes interessadas. Então, os valores das partes interessadas devem ser estabelecidos nas métricas de riscos, que podem incluir segurança de vida, propriedade, interrupção de negócios, e intangíveis. As métricas associadas a esses valores podem ser de pessoas afetadas, perda financeira, entre outras. A expressão da métrica geralmente é baseada em taxa (por exemplo, frequência ou probabilidade de ocorrência ao longo de um tempo especificado período). As partes interessadas podem atribuir pesos diferentes a um determinado risco, com base em sua perspectiva.

De acordo com a norma Australian and New Zealand Standard (AS/NZS) 4360 (1999) apud Palmas (2012) risco é a medida de perdas materiais e/ou de danos à vida humana, devida à combinação entre as frequências de ocorrências e a dimensões das perdas ou danos (consequências), conforme Equação (1):

$$R = f(FxC) \quad (1)$$

Onde:

R = risco;

F = frequência de ocorrência;

C = consequências (perdas e/ou danos).

O perigo é uma condição (intrínseca), física ou química, com potencial para causar danos às pessoas, às propriedades, ao meio ambiente ou à combinação de todos eles.

Diferentemente do perigo, o risco pode ser gerenciado por meio de medidas para redução de suas frequências de ocorrências, ou nas consequências ou em ambas.

2.2. Gestão de Riscos

Segundo a AS/NZS 4360 (1999) apud Palmas (2012) os principais elementos do processo de gestão de riscos:

a) Estabelecimento dos contextos

O estabelecimento do contexto estratégico, do contexto organizacional e do contexto da gestão de riscos nos quais os riscos serão avaliados definirá a estrutura de análise.

b) Identificação de risco

A identificação do que pode acontecer, por que e como, servem de base para futuras análises.

c) Análise de risco

A análise deve considerar as várias consequências potenciais e a probabilidades de tais consequências ocorrerem. Consequências e probabilidades podem ser combinadas, a fim de se produzir o nível estimado de risco.

d) Avaliação de risco

Ao se comparar os níveis estimados de risco com critérios preestabelecidos, torna-se possível a classificação dos riscos, a fim de identificar as prioridades da gestão. Se os níveis de risco estabelecidos forem baixos, os riscos poderão cair em uma categoria aceitável, o que poderá tornar desnecessário o tratamento dos mesmos.

Para a construção da matriz de riscos a NFPA 551 (2019), Figura 1, adaptou as Tabelas 1 e 2 da norma MIL-STD-882E.

Tabela 1 Níveis de probabilidade.

Probabilidade	Descrição
Frequente	Provável de ocorrer com frequência, ocorrência ($p > 0,1$)
Provável	Ocorrerá várias vezes durante a vida útil do sistema ($p > 0,001$)
Ocasional	Improvável de ocorrer em uma determinada operação do sistema ($p > 10^{-6}$)
Remoto	Tão improvável, pode-se supor que este perigo não tem ocorrência ($p < 10^{-6}$)
Improvável	Probabilidade de ocorrência não distinguível de zero ($p \sim 0,0$)

Tabela 2 Categorias de severidade.

Severidade	Impacto
Insignificante	O impacto da perda será tão pequeno que não têm nenhum efeito discernível sobre a instalação, suas operações ou o meio ambiente.
Marginal	A perda terá um impacto na instalação, que poderá ter de suspender algumas operações brevemente. Alguns investimentos financeiros podem ser necessários para restaurar a instalação para a plenas operações. Lesões pessoais leves podem ser envolvidas. O fogo pode causar localizada dano ambiental.
Crítico	A perda terá um grande impacto na instalação, que pode ter de suspender as operações. Investimentos financeiros significativos podem ser necessários para restaurar as operações completas. Lesões pessoais e possivelmente mortes podem estar envolvidas. O fogo pode causar danos ambientais reversíveis significativos.
Catastrófico	O fogo produzirá morte ou múltiplas mortes, ou ferimentos, ou o impacto desastroso nas operações, resultando em longo prazo para retomada das atividades ou fechamento permanente. A instalação deixaria de operar imediatamente após o incêndio. O fogo pode causar danos irreversíveis ambientais.

Utiliza-se as Tabelas 1 e 2 para a construção da matriz de riscos conforme Figura 1:

Frequente				
Provável				
Ocasional				
Remoto				
Improvável				
	Insignificante	Marginal	Crítico	Catastrófico

Figura 1 – **Matriz de riscos.**

De acordo com a NFPA 551 (2019) o método da matriz de risco foi desenvolvido na década de 1960 como uma técnica de segurança de sistemas para sistemas militares e atualmente é documentado como MIL-STD-882E. Nesta abordagem, cada perigo é atribuído um nível de probabilidade e uma categoria de gravidade.

Para melhorar o projeto deve-se observar a estrutura da matriz de riscos, onde quanto mais o projeto estiver posicionado para esquerda e para cima piores serão suas condições de riscos. Assim os contratantes precisam solicitar para que os projetistas elaborem seus trabalhos para que o projeto tenha o menor risco de acidente possível.

3. TURBO GERADOR EÓLICO

Segundo B. S. Nivedh Associate Project Engineer, Wind Services, UI India Pvt Ltd (2014) os componentes como caixa de velocidades, ou de engrenagens, e o gerador são os que tem maior parada de operação e também que causam mais perdas econômicas para o operador do parque eólico.

A Figura 2 apresenta os principais componentes de uma nacele.

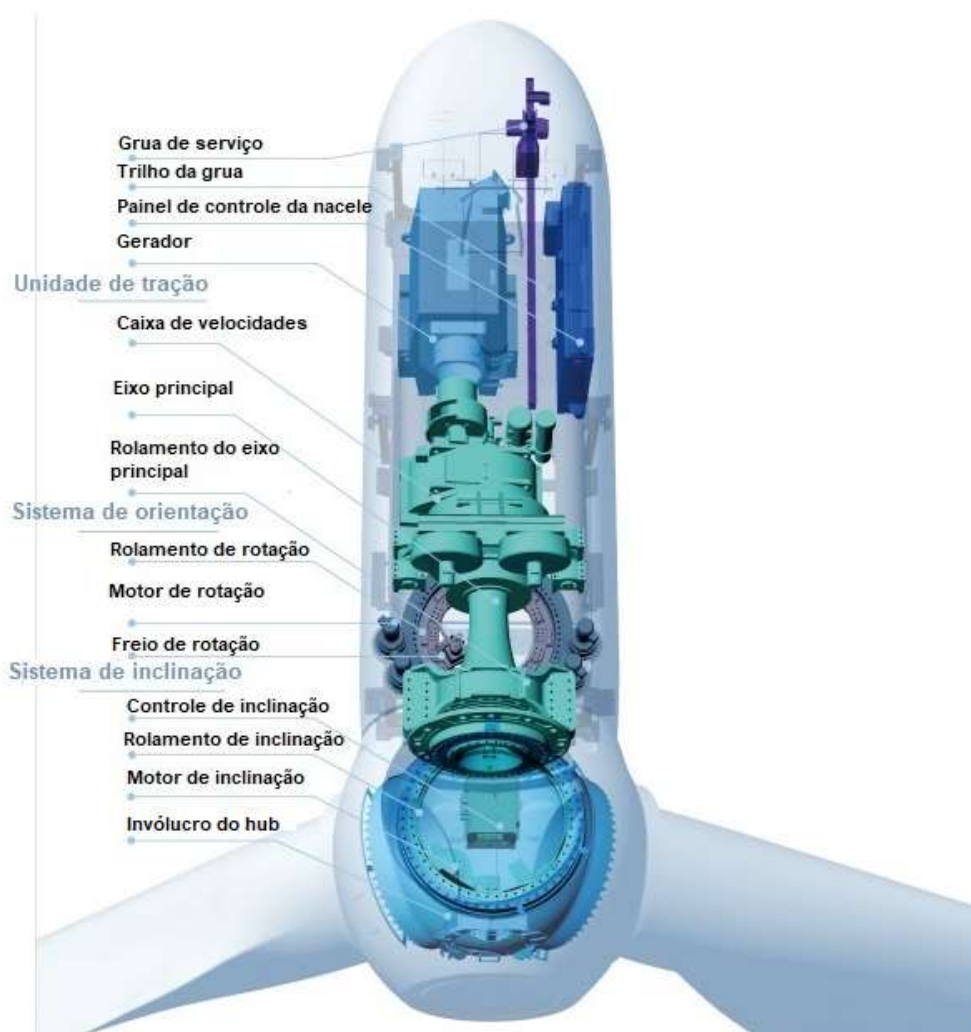


Figura 2 – **Componentes de nacele.** Fonte: Hitach (2022)

4. RISCOS EM TURBO GERADOR EÓLICO

De acordo com B. S. Nivedh Associate Project Engineer, Wind Services, Ul India Pvt Ltd (2014) as razões para essas falhas são variadas e podem ser atribuídas a lapsos de qualidade de fabricação quando não controlando o fornecimento de materiais e atividades de produção, decisões de projeto inadequadas ou condições climáticas extremas. Estatisticamente, em uma turbina eólica, a caixa de engrenagens é substituída a cada 5 a 7 anos.

Com as necessidades de mais potências, os componentes de turbinas eólicas, como caixa de engrenagens, gerador e pás do rotor passam a serem mais solicitados. Esses componentes são vistos como itens com necessidades substanciais de manutenções preventivas e preditivas, ou mesmo *retrofits*.

Mas mesmo assim, ainda ocorre grande número de falhas que podem levar a total perda da turbina eólica e consequentemente de sua torre. Uma causa frequente de danos graves é incêndio. O fogo é bastante crítico para uma nacele, pois em geral, no Brasil, os parques eólicos estão distantes de corpos de bombeiros, elas estão instaladas em torres que podem ter mais de 100m de altura, com acesso por escada de serviço e elevador, e em caso de incêndio nenhum desses pode ser utilizado, dessa forma prejudicando o combate ao incêndio.

4.1. Falhas na Caixa de Velocidades (ou Caixa de Engrenagens)

De acordo com B. S. Nivedh Associate Project Engineer, Wind Services, Ul India Pvt Ltd (2014) as razões para essas falhas são variadas e podem ser atribuídas a lapsos de qualidade de fabricação quando não controlando o fornecimento de materiais e atividades de produção, decisões de projeto inadequadas ou condições climáticas extremas. Estatisticamente, em uma turbina eólica, a caixa de engrenagens é substituída a cada 5 a 7 anos.

As falhas mais comuns na caixa de engrenagens são falhas de rolamento, as várias razões são cargas pesadas/cargas leves, desalinhamento, pacote incorreto de efeitos térmicos e lubrificação deficiente. As outras falhas que ocorrem na caixa de engrenagens são trincas/rupturas nos dentes da engrenagem e as fraturas superficiais. As razões para esses tipos de falhas são devido ao carregamento excessivo e à vibração.

4.2. Falhas no Gerador

Conforme B. S. Nivedh Associate Project Engineer, Wind Services, Ul India Pvt Ltd (2014), as principais falhas no gerador são:

- Falha no enrolamento pode ser resultado de sistemas de isolamento defeituosos, ou projeto de enrolamento deficiente, e também a qualidade do isolamento é afetada ao longo dos anos devido ao estresse funcional;
- Falha mecânica devido à fadiga precoce do rolamento que pode ser resultante de lubrificação inadequada.

4.3. Perigos de Fluidos Hidráulicos

A maioria dos equipamentos operados hidráulicamente usam (fluidos) óleos minerais. Exceto pelo risco de incêndio, o óleo é um fluido hidráulico ideal. Não é corrosivo, não afeta as vedações, tem boas propriedades lubrificantes, pode ser obtido em várias faixas de viscosidade e está prontamente disponível. Os pontos de fulgor variam de 300 a 600°F (150 a 315°C) e as temperaturas de auto-ignição de 500 a 750°F (260 a 400°C).

Geralmente, cada item do equipamento hidráulico possui seu próprio sistema de óleo independente. Quer sejam utilizados sistemas individuais ou centralizados, existem alguns elementos comuns. Estes incluem um tanque de armazenamento de óleo (com volume variado); uma ou mais bombas de alta pressão, geralmente acionadas eletricamente; um ou mais acumuladores de alta pressão; filtros de óleo; resfriadores de óleo e a tubulação de distribuição e retorno de óleo (que às vezes inclui mangueiras flexíveis).

Tubos de alta pressão com juntas soldadas e aparafusadas, tubos de aço e cobre e mangueiras de borracha reforçadas com metal são usados para conduzir o óleo para as várias unidades a diversas pressões. Falha de tubulação, particularmente nas seções rosqueadas, falha de válvulas e gaxetas ou conexões, remoção da tubulação das conexões e ruptura da mangueira flexível são as principais causas da liberação de óleo do sistema. A falta de suportes ou ancoragens adequadas para evitar vibração ou movimento da tubulação é muitas vezes um fator dessas falhas. A flexão repetida e a abrasão de uma mangueira de borracha contra outra mangueira ou peças de máquinas cria pontos fracos, que eventualmente resultam em falha.

Quando o óleo hidráulico mineral em alta pressão é liberado por falha do equipamento sob pressão, o resultado comum é um spray atomizado ou névoa de gotículas de óleo que podem se estender até 12 m a partir do ponto de ruptura. O spray de óleo é imediatamente inflamado por superfícies quentes, um quadro elétrico aberto pode ser uma fonte de ignição. O fogo resultante geralmente é semelhante a uma tocha com uma taxa muito alta de liberação de calor.

Fluidos menos perigosos, que são normalmente chamados de fluidos resistentes ao fogo, foram desenvolvidos para substituir os fluidos à base de petróleo em aplicações onde há uma fonte potencial de ignição de fluido. Embora esses fluidos representem um risco de incêndio menor do que o óleo de petróleo, todos irão inflamar sob algumas condições,

como por exemplo as condições fora de projeto do fluido, falta de fluido, falta de acompanhamento das características do fluido.

Um incêndio que se inicia na nacela, normalmente construída com materiais combustíveis, pode se espalhar para as pás que também são construídas com materiais combustíveis e levar a uma perda completa da turbina eólica.

5. ACIDENTES COM GERADORES EÓLICOS

De acordo com Scotland Against Spin (2022) a Tabela 3 inclui casos documentados de acidentes e incidentes relacionados a turbinas eólicas que podem ser encontrados e confirmados por meio de relatórios de imprensa ou comunicados oficiais até 31 de dezembro de 2021 (total: 3165).

Tabela 3. Acidentes ocorridos em turbinas eólicas.

Ano	Antes 2000	2000 2005	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
No.	109	316	83	126	136	132	125	173	176	182	169	163	166	187	198	235	316	174

Os acidentes foram registrados conforme as seguintes ocorrências:

- Número de acidentes fatais: 161. Eram trabalhadores da indústria eólica e de apoio direto (mergulhadores, construção, manutenção, engenheiros, etc.), ou proprietários/operadores de pequenas turbinas, e mortes públicas, incluindo trabalhadores não diretamente dependentes da indústria eólica (por exemplo, trabalhadores do transporte, ecologistas).
- Ferimentos em seres humanos: 342. Trabalhadores da indústria eólica ou da construção/manutenção ficaram feridos, e outros do público ou trabalhadores não diretamente dependentes da indústria eólica (por exemplo, bombeiros, trabalhadores dos transportes).
- Afetaram a saúde humana: 202. Desde 2012, os incidentes de saúde humana e o impacto adverso sobre a saúde humana foram incluídos. Estes foram anteriormente computados em “diversos”, mas acredita-se que eles merecem uma categoria própria. Os incidentes incluem relatos de problemas de saúde e efeitos devido ao ruído das turbinas, sombras, etc. Prevê-se que esses relatórios aumentem significativamente à medida que as turbinas são cada vez mais aprovadas e construídas em locais inadequados, perto das casas das pessoas.
- Falhas das pás: 484. São documentados que pedaços de lâminas atingirá até 1,6km. Na Alemanha, pedaços de lâminas atravessaram telhados e paredes de prédios próximos. É por isso que se acredita que deve haver uma distância mínima de pelo menos 2 km entre as turbinas e as habitações ou locais de trabalho ocupados, a fim de abordar adequadamente a segurança pública e outras questões, incluindo ruído e cintilação de sombras.
- Incêndio: 439. O maior problema com incêndios em turbinas é que, por causa da altura da turbina, a brigada de incêndio pode fazer pouco além de vê-la se queimar. Embora isso possa ser aceitável em condições razoavelmente calmas, em uma tempestade isso significa que detritos em chamas são espalhados por uma ampla área, com consequências óbvias. Em tempo seco há, obviamente, um risco de incêndio em áreas mais amplas, especialmente para aqueles construídos em ou próximos a áreas florestais e/ou próximos a moradias ou locais de trabalho.
- Falha estrutural: 237. Embora a falha estrutural seja muito mais prejudicial (e mais cara) do que a falha da pá, as consequências do acidente e os riscos para a saúde humana são provavelmente menores, pois os riscos estão confinados a uma distância relativamente curta da turbina. No entanto, como turbinas menores estão sendo instaladas em prédios e em torno deles, incluindo escolas, espera-se que a frequência de acidentes aumente.
- Arremesso de gelo: 46. O arremesso de gelo foi relatado para 140m. Alguns sites canadenses de turbinas têm placas de alerta pedindo às pessoas que fiquem a pelo menos 305 metros das turbinas durante condições de gelo. Estas são, de fato, apenas uma fração muito pequena das incidências reais – um relatório publicado por Durstewitz (2003) apud Scotland Against Spin (2022) relatou 880 eventos de formação de gelo entre 1990 e 2003 somente na Alemanha. 33% deles estavam nas planícies e no litoral. Além disso, um relatório listado para 2005 inclui 94 incidências separadas de lançamento de gelo e dois relatórios de 2006 incluem mais 27 dessas incidências. A entrada de 2014 refere-se a vários vídeos do YouTube e a confirmação de que os sensores de gelo não funcionam.
- Transporte: 270. Entre os acidentes relatados se inclui uma seção de turbina de 45m colidindo com uma casa durante o transporte, um transportador derrubando um poste de serviço público através de um restaurante e várias peças de turbina caindo e bloqueando as principais rodovias. Fatalidades de transporte e lesões humanas são incluídas separadamente. A maioria dos acidentes envolve seções de turbinas caindo de transportadores, embora seções de turbinas também tenham sido perdidas no mar, juntamente com uma barcaça de £ 50 milhões. O transporte é a maior causa isolada de mortes e lesões públicas.
- Danos ao meio ambiente (incluindo pássaros): 328. Todos envolviam danos ao próprio local, ou danos relatados ou morte de animais selvagens. 106 incidentes relatados aqui incluem mortes confirmadas de espécies protegidas de aves. As mortes, no entanto, são conhecidas por serem muito maiores. Na Alemanha, 32 águias de cauda branca protegidas foram encontradas mortas por turbinas eólicas (registros do estado de Brandemburgo), e um total de 158 águias do mar morto foram encontradas entre 2002 e 2019 como vítimas de colisões com turbinas

eólicas. Na Austrália, 22 águias da Tasmânia criticamente ameaçadas foram mortas por um único parque eólico (Woolnorth). Estima-se que 600.000 morcegos foram mortos por turbinas eólicas dos EUA somente em 2012. Estima-se 1,4 milhão de mortes de aves por ano se os EUA atingirem sua meta de 20% para geração eólica. Estima-se que 1.500 aves sejam mortas por ano pelo parque eólico MacArthur na Austrália, 500 dos quais são aves de rapina.

- Outros: 656. Isso inclui violações de planejamento, suborno, violações de consentimento e outras que não podem ser facilmente atribuídas a outras categorias. Falha de componente ou mecânica foi relatada aqui se não houver danos estruturais consequentes. Também estão incluídos a falta de manutenção, falha elétrica (não levou a incêndio ou eletrocussão), etc. Acidentes de construção e de apoio à construção também estão incluídos, também descargas atmosféricas quando um choque não resultou em danos à lâmina ou incêndio. Há um relatório separado de Durstewitz (1996) apud Scotland Against Spin (2022) que cita 393 relatórios de descargas atmosféricas entre 1992 a 1995 somente na Alemanha, 124 deles direto para a turbina, o restante é para a rede de distribuição elétrica.

O número de acidentes apresentados pela Scotland Against Spin (2022) representa parte dos eventos ocorridos, pois eles não contabilizaram os eventos ocorridos no Brasil, por exemplo. Ou seja, os números de acidentes são bem maiores em relação aos que foram apresentados. É importante que esse racional leve os donos (contratantes) de obras para instalação de uma turbina eólica, ou de um parque eólico, assim como projetistas realizem trabalhos de análise e avaliação de riscos.

O grupo com maior frequência apresentado por Scotland Against Spin (2022) é os danos nas pás, para redução desse tipo de evento são necessários mais estudos sobre materiais e estudos por elemento finito.

A segunda maior frequência de acidentes é a de incêndios, que levam a total perda da nacelle. Para esse tipo de evento é importante a discussão sobre sistemas de prevenção e combate a incêndio.

6. SISTEMAS DE PREVENÇÃO E COMBATE A INCÊNDIO EM TURBINAS EÓLICAS

A FM Global (2013) não considera que atualmente existem métodos adequados de proteção contra incêndio para proteger uma nacelle. Além disso, a resposta do serviço de bombeiros pode ser limitada devido à natureza remota dos parques eólicos, e a falta de abastecimento água, o uso de sistemas de proteção contra incêndio à base de água é improvável, segundo a NFPA 850 (2020).

É, portanto, crítico o controle das fontes de ignição e implementar outras medidas passivas para evitar que um incêndio ocorra dentro da nacelle.

Dessa forma esse trabalho propõe que nos projetos deve-se:

- utilizar fluidos resistentes ao fogo, nesse caso é importante a especificação no projeto da vida útil dele conforme manual do fabricante;
- instalar dutos incombustíveis para fluidos, e sistemas para que esses dutos não se rompam;
- aplicar o mínimo possível de materiais combustíveis na nacelle;
- projetar sistemas de controle e desligamento de máquina por vibração mais eficazes;
- as bombas dos sistemas hidráulicos devem ser desligadas automaticamente em caso de qualquer irregularidade nos sistemas, como por exemplo, excesso de vibração, nessa situação os sistemas devem ser intertravados e o sistema de desligamento em cascata, para não ocorrerem danos graves;
- aplicar estudos mais rigorosos de fadiga das estruturas e das máquinas;
- melhorar o índice de proteção (IP) de máquinas, instalações e painéis elétricos, para que sejam capazes de evitar a penetração de fluido hidráulico em casos de vazamento;
- melhorar a blindagem com relação a descargas atmosféricas.

Determinar a necessidade de instalação de detecção automática de incêndio, supressão e desligamento seguro da turbina eólica mediante a presença de fogo ou fumaça.

O sistema de alarme e detecção automática de incêndio deve seguir os requisitos da norma NFPA 72 (2019).

Para a supressão de incêndio recomendamos que ocorram estudos para instalação de bolas extintoras (*fire extinguishing ball*). Esses equipamentos já estão disponíveis no mercado, sendo praticamente padronizadas com 150mm de diâmetro, assim podendo ser facilmente instaladas em várias partes da nacelle, sua condição para ativação é o contato com chama pelo período entre 3 à 10s, o pó do tipo A, B e C, tipos conforme as classes de fogo/incêndio segundo NFPA10 (2018), massa em torno de 1,3kg, área de extinção em torno de 3m³. O principal desafio é que não há norma NFPA para esse tipo de dispositivo. Enquanto não há elaboração da norma NFPA para esse dispositivo, é importante que ocorram os ensaios em laboratórios, além da aprovação desse equipamento pela FM Global (FM) e certificação pela Underwriters Laboratories (UL).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há vezes que os projetos são avaliados apenas pelos custos, onde se entregam o necessário para seu funcionamento nominal, mas esquecem do período de retorno dos investimentos, ou fazem uma projeção equivocada por não entenderem os riscos. Dentro dessa ideia, os equipamentos sinistrados apresentados nesse trabalho, podem não terem dado o retorno financeiro esperado pelos donos dos empreendimentos, além de agravamento nos prêmios dos seguros para essas plantas

(usinas) que possivelmente ocorreu. Se um projetista, utilizasse a matriz de riscos, Figura 1, ele poderia posicionar, por exemplo, como prováveis e catastróficos os riscos de danos às pás e a incêndio na nacela, e, portanto, empregar esforços para que os projetos fossem viáveis e seguros ao mesmo tempo.

8. REFERÊNCIAS

- B. S. Nivedh Associate Project Engineer, Wind Services, Ul India Pvt Ltd, 2014. News. Índia.
- Durstwitz, M, 2003. A Statistical Evaluation of Icing Failures in Germany's 250 MW Wind Program – Update 2003, Boreas VI 9-11 April 2003 Pyhänturi, Finlândia.
- Durstwitz, M, et al 1996. Data from WMEP database: taken from report External Conditions for Wind Turbine Operation – Results from the German '250 MW Wind' Programme, European Union Wind Energy Conference, Goeteborg, Suécia.
- FM Global Property Loss Prevention Data Sheets, 2013. 13-10: Wind Turbines and Farms. Estados Unidos, 66p.
- Hitachi. Consulta geral a homepage oficial. Disponível em: <https://www.hitachi.com/products/energy/wind/products/htw2000_80/nacelle/index.html>. Acesso em: 9 mar. 2022.
- National Fire Protection Association, 2018. NFPA 10 Standard for Portable Fire Extinguishers. Estados Unidos, 35p.
- National Fire Protection Association, 2019. NFPA 72 National Fire Alarm and Signaling Code. Estados Unidos, 419p.
- National Fire Protection Association, 2019. NFPA 551 Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments. Estados Unidos, 35p.
- National Fire Protection Association, 2020. NFPA 850 Recommended Practice for Fire Protection for Electric Generating Plants and High Voltage Direct Current Converter Stations. Estados Unidos, 35p.
- Palmas Junior, A.M. Proposta de modelo para análise e avaliação de riscos de alagamento e inundação para fins de seguro. 107p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2012.
- Scotland Against Spin. Consulta geral a homepage oficial. Disponível em: <<https://scotlandagainstspin.org/turbine-accident-statistics/>>. Acesso em: 9 mar. 2022.

9. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

RISK ANALYSIS FOR WIND POWER PROJECTS

Altevir Marquezini Palmas Junior, altevirj@terra.com.br¹

Leandro Cardoso Da Silva, Leandro.cardoso@sp.senai.br¹

Antonio Carlos Lemos Carvalho, acarvalho@sp.senai.br¹

Carlos César Pestana, carlos.pestana@sp.senai.br¹

¹Faculdade Senai Roberto Simonsen

Abstract. Technological and societal development incorporates equipment and machines that help improve the quality of life; and energy consumption per capita is growing faster and faster, and one of the main ones is electricity - converted into light, heat, movement, etc. for residential, commercial and industrial uses. Electricity-powered urban vehicles appear as an alternative to fossil fuel vehicles, thus requiring more less polluting generating sources. In this context, the production of energy to meet the demands will require exploring all energy matrices known and to be developed. Brazil generates 45% of renewable energy and leads the energy transition in the Brics, and according to the data, the Brazilian energy matrix, in 2019, was formed by 45% from renewable sources and 54% from fossil sources. On the other hand, society develops awareness of sustainability and pressure to expand the use of energy matrices with less environmental impact, especially wind and solar energy. Investments in the construction and maintenance of wind farms composed of wind turbines continue to expand, which is why research and development in the management of the risks involved are gaining importance. Some examples include natural disasters (ice, hail, winds with speeds well above design); climate (lack of wind); policy and regulatory conditions (may change according to rulers and political interests); cyber risks (invasion of the operational center by hackers); location risk (problems with transmission lines, supply of parts and services); machinery breakdown and electrical damage with the potential for total loss; fire (caused by mechanical or electrical failures); in addition, damage to third parties (people and property), depending on the location neighbors can be hit by parts of the equipment, workers who maintain the equipment can be injured or killed; damage to fauna (bird collision); property security (component theft); transport (transport and installation of the tower and parts of the wind turbine). Through statistical data, this study aims to present frequencies of events that caused damage or accidents in wind turbines, analyze the causes, and present solutions to reduce and/or mitigate the risks of machinery breakdown and by fire.

Keywords: accidents, failures, risks, mitigation