

PAMELA PELAEZ HARO

Análise de risco durante a construção de uma planta de energia eólica do ponto de vista securitário

Monografia apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção de título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

São Paulo

2015

PAMELA PELAEZ HARO

Análise de risco durante a construção de uma planta de energia eólica do ponto de vista securitário

Monografia apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção de título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Orientador: Professor Demétrio Cornílios Zachariadis

São Paulo

2015

FICHA CATALOGRÁFICA

RESUMO

A presente monografia discorre sobre o estudo e análise dos riscos mais comuns na construção de uma usina eólica, desde o ponto de vista securitário.

Parte desse processo é identificar e conhecer os principais pontos que são considerados para a análise, como: o mercado da geração de energia elétrica através do vento e suas tendências, parte técnica e construção das usinas, riscos e danos mais frequentes, uso de ferramentas para conhecer as exposições da natureza e simulações de precificação; os quais estão diretamente relacionados com as características dos equipamentos, fabricantes, construtores, particularidades onde os parques estão localizados, entre outros.

Para a realização e entendimento deste estudo, a presente monografia será dividida no estudo da energia eólica, principais partes de uma usina eólica, obras civis e instalação e montagem dos parques eólicos, principais riscos e danos, e a análise de riscos desde o ponto de vista securitário, incluindo as simulações de preços.

Palavras chave: Plantas de Energia Eólica. Obras Civis e Instalação e Montagem. Riscos e Danos. Exposições da Natureza. Simulação da Precificação.

ABSTRACT

The present monograph (final course document) present a study and an analysis of the most common hazards in the construction phase of a wind power plant, from the insured analysis view.

Part of this process is to identify and get knowledge about the most important points that are considered in the analysis such as the wind energy market and their trends, technical characteristics and construction of the plants, frequently damage and risks, use of tools to identify the natural exposures and pricing simulations; which are related to the equipment's characteristics, manufacturers, builders, specific characteristics of the plant location, among others.

In order to understand the present monograph, it will be divided into study of wind energy, the main parts of a wind power plant, civil works and installation, the main risks and damage, and the analysis of risk from the insured view, including pricing simulations.

Keywords: Wind Power Plant. Construction and Erection. Risk and Damage. Natural Hazards. Simulation Pricing.

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1.....	15
Tabela 4.2.....	16
Tabela 5.1.....	53
Tabela 6.1.....	54
Tabela 6.2.....	56
Tabela 6.3.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1	17
Figura 4.2	19
Figura 4.3	20
Figura 4.4	21
Figura 4.5	22
Figura 4.6.	22
Figura 4.7	23
Figura 4.8	25
Figura 4.9.	26
Figura 4.10	28
Figura 4.11	30
Figura 4.12	31
Figura 4.13	34
Figura 4.14.	35
Figura 4.15.	35
Figura 4.16	37
Figura 4.17	38
Figura 4.18	40
Figura 4.19	41
Figura 4.20	42

Figura 4.2143

Figura 4.2245

Figura 5.1.....50

Figura 5.250

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVO	12
3. JUSTIFICATIVA.....	13
4. REVISÃO DA LITERATURA.....	13
4.1. Energia Eólica	13
4.2. Parques Eólicos	18
4.2.1. Partes Principais de um Parque eólico.....	19
4.2.1.1. Aerogeradores e seus componentes:	19
4.2.1.1.1. Pás	21
4.2.1.1.2. Nacele	22
4.2.1.1.2.1. Principais componentes no interior da nacele	23
4.2.1.1.3. Torre.....	24
4.2.1.2. Rede de Distribuição Interna.....	26
4.2.1.3. Subestação Elevadora e Transformador de Potência.....	27
4.2.2. Obras Cíveis e Instalação e Montagem.....	29
4.2.2.1. Fundações	29
4.2.2.2. Torre de Concreto	29
4.2.2.3. Aerogerador, excluindo a torre.....	31
4.2.2.3.1. Nacele:	32
4.2.2.3.2. Rotor:	33
4.2.2.4. Subestação	36
4.2.2.5. Comissionamento	36
4.3. Principais riscos e danos.....	37
4.3.1. Teste e Comissionamento.....	38
4.3.2. Instalação e Montagem:	39

4.3.3.	Incêndio na nacele:	40
4.3.4.	Vendaval:	41
4.3.5.	Descargas atmosféricas:	43
4.3.6.	Perdas em Serie, decorrente de Erro de Projeto ou Risco do Fabricante:	44
4.3.7.	Acessibilidade:	45
4.3.8.	Inundações e Terremotos:	45
4.3.9.	Transformadores de Potência:	46
4.3.10.	Danos Mecânicos.....	46
5.	ANÁLISE DE RISCO	47
5.1.1.	Coberturas de seguro ofertadas.....	47
5.1.2.	Pré-análise:	49
5.1.3.	Identificação de Variáveis	51
	As seguintes variáveis são as que vao alterar o custo da apólice, seja para valores maiores ou menores.....	51
5.1.4.	Pre-precificação:	52
5.1.5.	Simulação:	53
6.	RESULTADOS	54
7.	CONCLUSÕES.....	58
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento de riscos tornou-se nos últimos anos um dos principais tópicos estudados nas empresas, pela sua importância e impacto, tem como objetivo a redução dos níveis de risco existentes a fim de garantir condições de segurança em todas as etapas dos projetos, como afirma Levall (2004): *“Difícilmente pode-se pensar em desenvolvimento se for acompanhado por um aumento nos níveis de risco e conseqüentemente na possibilidade de perdas e danos”*. A transferência de riscos e por conseqüente a contratação de seguros nasce neste ponto, evidentemente existem características nos riscos que não podem ser mitigados e que podem causar grandes perdas, levando as seguradoras levantar uma análise de riscos desde seu próprio ponto de vista.

Segundo a WWEA (2015), a capacidade instalada de energia eólica do mundo se duplicou em 2014, sendo instaladas mais de 50 GW de capacidade (40% maior do que em 2013), o que gera uma nova capacidade mundial de aproximadamente 370 GW. Nesse mesmo ano, os países que lideraram o ranking de capacidade instalada total (conectada ou não na rede) foram China, USA e Alemanha; o Brasil ocupou a décima posição, sendo o único país da América do Sul dentro dos 12 países com maior capacidade instalada no mundo.

Os investimentos em novos projetos focados na produção de eletricidade através da força dos ventos, somados a necessidade do Brasil pela descentralização da matriz energética hídrica e os avanços tecnológicos de estes equipamentos, fazem visualizar uma curva de crescimento em projetos de plantas de energia eólica no país, o qual possui a região com maior potencial eólico na América do Sul. Dada à importância que este segmento energético limpo está adquirindo, os empresários dedicados a este sector precisam dar prioridade na contratação adequada de seguros de cada projeto, a fim de garantir a entrega dos parques e produção de energia elétrica dos mesmos, cumprindo com os contratos estabelecidos. Este interessante tema energético exige o aprofundamento no conhecimento dos

processos de construção das plantas de energia eólica e a análise de riscos necessária.

É importante notar que na construção de um parque eólico existem diferentes características que terão que ser considerados para a análise de riscos, sendo de muita importância à análise da qualidade dos equipamentos, expertise dos fabricantes, construtores, processo de construção e instalação e montagem, riscos naturais na localização dos parques, etc., pois são os fatores que influenciam na probabilidade que uma ameaça possa se transformar em um desastre, prejudicando pessoas, processos e equipamentos. Para identificar adequadamente os riscos se precisa de conhecimento detalhado do processo, mercado e o entorno socioeconômico em que se encontra, De la Cruz (2009).

Os projetos de energia renovável são de grandes investimentos, danos aos ativos podem ter um impacto significativo nos custos globais. A fase de construção é o período mais arriscado de um projeto e acidentes são mais propensos a ocorrer; por exemplo, quando as turbinas eólicas são içadas para a posição final.

A relevância dessas características leva à procura do conhecimento do processo de construção e instalação e montagem, estudo dos riscos e danos mais frequentes, utilização de ferramentas para conhecer as exposições da natureza e simulação da precificação.

2. OBJETIVO

O objetivo da presente monografia é a análise de riscos de uma planta de energia eólica em construção, desde o ponto de vista securitário.

Destacando que o trabalho focou nos principais riscos e danos que possam ocorrer na fase de construção do parque eólico e na simulação de precificação.

3. JUSTIFICATIVA

Ressaltando a importância das empresas na contratação de seguros, visando repassar a exposição a danos materiais e econômicas, na construção de um parque eólico, se torna importante à realização de um estudo focando no crescimento dos projetos de energia eólica, as obras civis e instalação e montagem dos parques eólicos, os principais riscos e danos que possam ocorrer nesta fase e quais são as variáveis mais influentes no custo de um seguro desde o ponto de vista securitário, para uma posterior simulação de precificação.

4. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo é dedicado à revisão literária dos conceitos e características referentes à energia eólica, parques eólicos (estudando as partes principais do parque e as obras civis e instalação e montagem) e principais riscos e danos.

4.1. Energia Eólica

A energia eólica é proveniente do ar em movimento, sendo esta transformação a que gera a energia útil, esta energia eólica faz parte do conjunto de energias renováveis ou também denominadas energias alternativas, sendo um dos tipos de energia limpa mais estendida a nível internacional.

Na terra o movimento das massas do ar é originado pela diferença de pressões existentes se movimentando de alta para baixa pressão com velocidades proporcionais, os ventos são gerados pelo aquecimento não uniforme da superfície terrestre. Durante o dia as massas de ar sobre os oceanos, mares e lagos se mantêm frias em relação às áreas localizadas sobre as massas continentais, os continentes sorvem menos quantidade de luz solar, pelo qual, o ar da terra é

expandido se fazendo menos pesado e se elevando, enquanto o ar mais frio e pesado se movimenta procurando espaço embaixo do ar quente.

“Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para geração de eletricidade, ou cataventos (e moinhos), para trabalhos mecânicos como bombeamento de água”. Segundo ANEEL (2015).

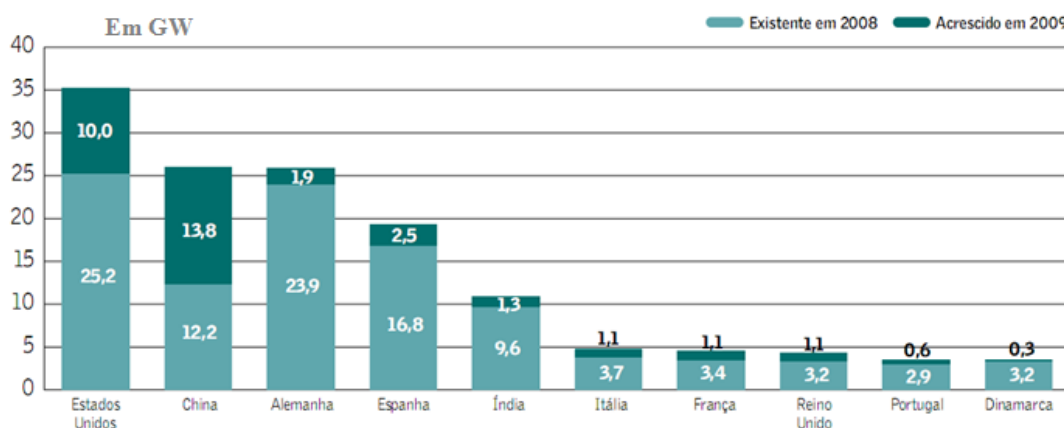
Ao longo da história, foram vivenciadas situações de evolução que mostram a utilização da energia eólica desde muitos anos atrás, por exemplo, durante anos os agricultores precisavam de energia eólica para bombear água usando moinhos de vento, e assim, ao longo da história podemos ver diferentes situações do uso dos ventos como energia para as diferentes atividades do homem. No início da década de 70, com a crise do petróleo, os países europeus e Estados Unidos tiveram a necessidade em desenvolver equipamentos para produção de eletricidade e diminuir a dependência do petróleo e carvão. Até 2008, a indústria de turbinas eólicas acumularam crescimentos anuais de mais de 30%.

Atualmente os ventos são aproveitados para produzir eletricidade, o vento forte pode rodar as lâminas de uma turbina adaptada para o vento. O globo terrestre apresenta locais nos quais os ventos jamais deixam de soprar, pois o aquecimento na linha equatorial e resfriamento nos polos estarão sempre na natureza, o ponto negativo é que os ventos não são constantes, como menciona Bueno (2008). *“A desvantagem desta fonte de energia é que, como ela depende do vento, que é um fenômeno da natureza, e não venta o tempo todo, acontecem interrupções temporárias. Ou seja, se não há vento, não há energia. Outro problema é que, como o vento não é forte como as outras fontes de energia, o processo de produção é mais lento.”* Contudo, o aproveitamento estratégico dessas particularidades da natureza, a crescente necessidade do mundo pela energia elétrica e a evolução

rápida de ideias e conceitos dos produtos de alta tecnológicos originou as concentrações de máquinas de vento para produzir eletricidade, denominados plantas de energia eólica ou parques eólicos, usualmente, localizados em grandes áreas.

Um parque eólico pode estar localizado na terra (*onshore*) ou no mar (*offshore*), sendo o primeiro mais usual e de maior quantidade instalada no mundo, atualmente. O numero de aerogeradores para compor um parque eólico depende principalmente das características do vento na região e do espaço disponível.

Em 2007, segundo o Conselho Mundial de Energia Eólica – GWEC (2008), foram instaladas no mundo uma potência de mais de 20 GW, lideradas pelos Estados Unidos, Espanha e China. Um ano depois, 2008, se registraram um enorme avanço na produção desta energia na Espanha, os ventos que varreram o país chegaram a gerar 28% da eletricidade total vertida à rede, uma cifra que constituiu um novo recorde. Nesse mesmo ano, 2008, 1,3% da energia eólica correspondeu ao consumo global de eletricidade.



Fonte: Revista RENERGY (2011)

Tabela 4.1: Capacidade de produção em 2008 e o acréscimo em 2009 dos dez países com maior geração de energia eólica no mundo, em 2009.

Segundo a WWEA (2015), a capacidade instalada de energia eólica do mundo se duplicou em 2014, sendo instaladas mais de 50 GW de capacidade (40% maior do que em 2013), o que gera uma nova capacidade mundial de aproximadamente 370 GW. Nesse mesmo ano, os países que lideraram o *ranking* de capacidade instalada total (conectada ou não na rede) foram China, USA e Alemanha. O Brasil ocupou a decima posição, sendo o único país da América do Sul. Os 12 primeiros países no *ranking* instalaram 44.8 GW em plantas de energia eólica, a China adicionou 23.3 GW, maior numero na historia; na Alemanha foram instaladas 5.8 GW de capacidade, entre *offshore* e *onshore*; os EUA instalou 4,9 GW; o Brasil adicionou 2.8 GW de capacidade e o Canada e Suécia instalaram 1,9 GW e 1,0 GW, respetivamente.

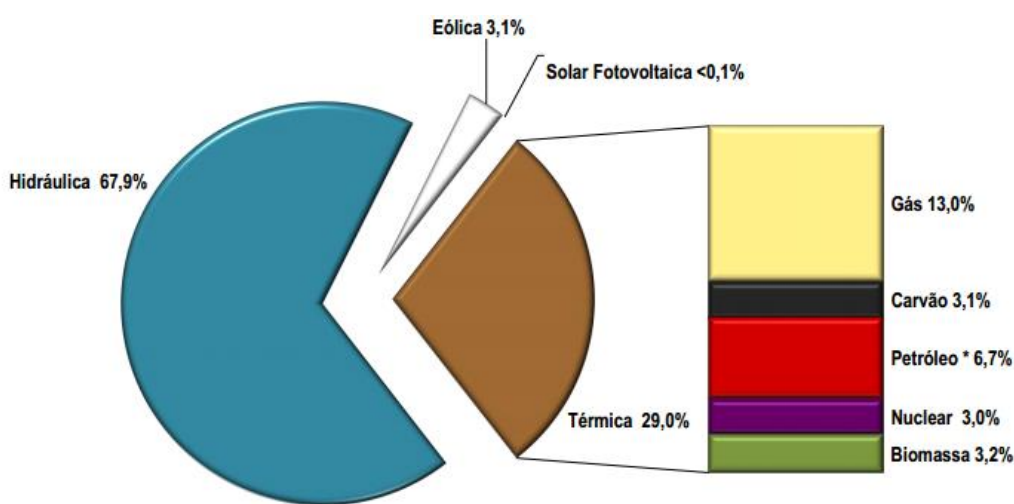
Posição 2013	País	Capacidade Total 2014 [MW]	Capacidade Adicionada 2014 [MW]	Taxa de Crescimento 2014 [%]
1	China	114.763	23.350,0	25,7
2	EUA	65.879	4.854,0	7,8
3	Alemanha	40.468	5.808,0	16,8
4	Espanha	22.987	27,5	0,1
5	India	22.465	2.315,1	11,5
6	Reino Unido	11.998	1.467,0	13,9
7	Canadá	9.694	1.871,0	25,9
8	França	9.296	1.042,0	12,6
9	Itália	8.663	107,5	1,3
10	Brasil	6.182	2.783,0	81,9
11	Suécia	5.425	1.050,0	21,4
12	Dinamarca	4.850	78,0	1,6
	<i>Resto do Mundo</i>	47.300	7.000,0 (estimado)	16,0
	TOTAL	370.000	51.753,1	16,2

Fonte: WWEA (2015)

Tabela 4.2: *Ranking* de energia eólica dos 12 países com maior capacidade instalada no mundo, em 2014.

Na América Latina, a primeira turbina eólica foi instalada no Brasil, em 1992, na ilha de Fernando de Noronha, em Pernambuco. Pode-se afirmar que o Brasil tem

regiões com grandes condições naturais para a produção de energia eólica, fazendo com que o país tenha um forte potencial para ser aproveitado. Ceará, Rio Grande do Norte, Bahia e Rios Grande do Sul são os estados brasileiros que se destacam em geração de energia eólica no Brasil, menciona a RENERGY (2011). Mesmo assim se percebe claramente a centralização da matriz energética brasileira na fonte hidráulica e a necessidade do crescimento das fontes alternativas na geração de energia elétrica do país.



Fonte: CCEE e Eletrobrás (2015)

Figura 4.1: Matriz de produção de energia elétrica no Brasil até Dezembro de 2014 (instalada no sistema), e a participação de 3,1% de energia eólica.

É importante destacar que nos últimos anos a energia eólica adquiriu força, em janeiro de 2015 se teve uma expansão de 2.729 MW de geração eólica em comparação do mesmo mês em 2014, mostrando um importante crescimento do número de parques eólicos, usinas em construção e muitos projetos para serem feitos, ficando com destaque a região do Nordeste e ainda sobrando muito espaço para crescer.

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2015): “A energia eólica apresenta forte crescimento na matriz elétrica brasileira. Em todo o mês de maio, 1.536 GW/h foram gerados pelos ventos, montante 57% superior ao mês de abril. Em um ano, a

produção da energia eólica cresceu 179%, representando 3,5% do total a matriz de energia do Sistema Interligado Nacional”.

Mundialmente a energia eólica ainda não tem participação significativa na geração de energia elétrica, em comparação com outras fontes, mas em alguns países como a Dinamarca, Alemanha, Espanha e Portugal esta fonte de energia alternativa tem ganhado importante representatividade. Em países da América do Sul como no México e Chile esta crescendo o apoio do governo no incentivo dessa energia limpa, no Brasil, claramente, se vivencia um passo a frente, a controvérsia pela descentralização da matriz energética é um dos principais tópicos para incentivar a produção das energias alternativas, neste caso a eólica. Assim, o crescimento globalizado desta área se entrelaça com todo tipo de atividades relacionadas, despertando a necessidade, foco do presente trabalho, do estudo da construção dos parques eólicos.

4.2. Parques Eólicos

A denominação Parque Eólico é também conhecido como Usina Eólica, é uma extensa área (terrestre ou marítima) ocupada por múltiplos aerogeradores, com o fim de transformar energia dos ventos em energia elétrica. É muito importante mencionar que para a construção de um parque eólico é necessário realizar um estudo de impacto ambiental.

A infraestrutura do parque eólico é composta de obras civis, como as estradas e drenagem, fundações para as turbina eólica e os edifícios onde se instalam os aparelhos elétricos, obras elétricas, na instalação de equipamentos nos ponto de conexão, cabos das redes subterrâneas e aéreas, aparelhos de proteção e desconexão dos circuitos de alimentação e dos transformadores. A aparelhagem associada com as turbinas, geralmente estão localizados nas turbinas e são fornecidos pelos próprios fabricantes. As obras civis e elétricas são referidas como

“*balance of plant*” (BOP), usualmente são executados e instalados por um ou vários empreiteiros, separados dos fornecedores de turbinas.



Fonte: Revista RENERGY - Dossiê Eólico (2011)

Figura 4.2: Parque eólico.

4.2.1. Partes Principais de um Parque eólico

4.2.1.1. Aerogeradores e seus componentes:

Estas máquinas são geradores elétricos movimentados por uma turbina eólica acionada pelo vento, os quais podem trabalhar isolados ou agrupados, chamados parques eólicos. As quantidades e tipos de componentes de um aerogerador podem ser diferentes em função ao modelo. No geral, os aerogeradores são de velocidade variável, mas com determinada potência nominal (kW), tensão nominal (kV) e intervalo de frequência (Hz) para geração elétrica.

Os aerogeradores eólicos possuem rotores que podem ser de eixo vertical, a vantagem é que não necessitam de mecanismos de acompanhamento para variações da direção do vento, reduzindo a complexidade do projeto, e os de eixo

horizontal, que são os mais utilizados para a geração de energia elétrica, e são movimentados predominantemente pelas forças de sustentação e forças de arrasto.

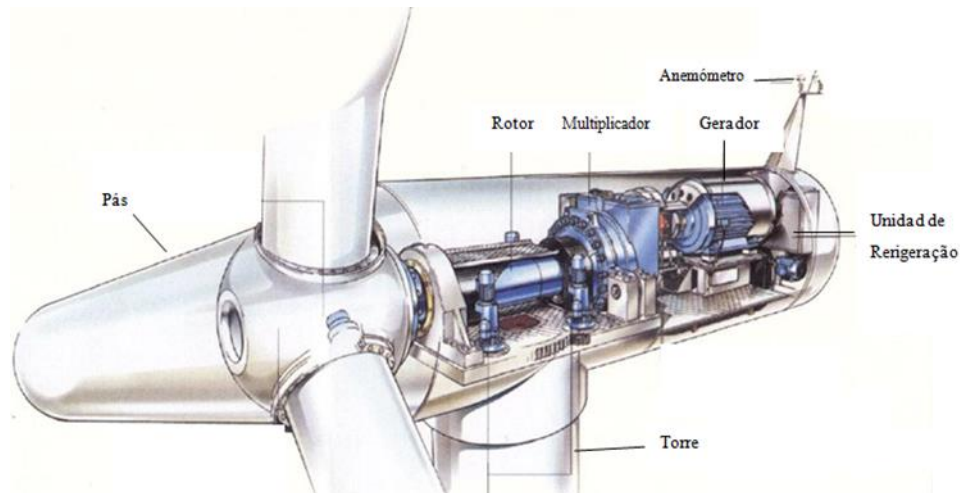
Um aerogerador de eixo horizontal é composto, basicamente, por três pás a barlavento; o rotor e a nacelle estão montados no alto da torre. Geralmente, se movimentam com um sistema de orientação automática, permitindo o alinhando do rotor com a direção do vento e um intertravamento estável na posição adequada de produção, garantindo o robusto sistema de travagem. Também existe um sistema de regulação automática de ângulo de passo (*pitch*) que permite a cada pá girar independentemente e com velocidades diferentes, uma das outras.

Os aerogeradores possuem equipamentos adequados para regular as correntes do rotor e fornecer a energia à rede nas características de voltagem e frequência necessárias. Quando os ventos são fortes, a regulação da potencia é responsabilidade do sistema *pitch*.



Fonte: AW3000 Acciona Windpower (2012)

Figura 4.3: Aerogerador



Fonte: Planeta Neutro (2008)

Figura 4.4: Componentes do Aerogerador

4.2.1.1.1. Pás

As pás das turbinas estão acopladas ao rotor. São fabricadas em fibra de vidro e reforço de poliéster, com recobrimento superficial para proteger os materiais da radiação UV e dar cor as pás, assumindo que serão afetados por inclemências do clima e ventos fortes, são geralmente feitas de materiais com alta resistência estrutural para a operação adequada e durabilidade.

Cada pá esta formada por 2 cortes, as quais estão unidas e suportadas internamente por vigas, são desenhadas aerodinamicamente para minimizar as cargas sobre o resto da estrutura e conseguir capturar eficazmente a força do vento. A longitude das pás varia, dependendo da potencia e características das turbinas eólicas.



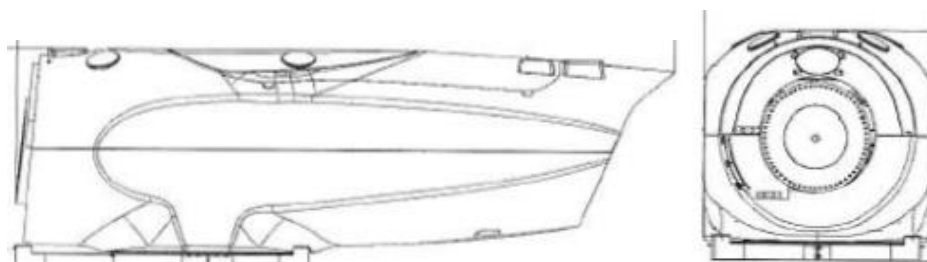
Fonte: Hartford Steam Boiler (2012)

Figura 4.5: Pás

4.2.1.1.2. Nacele

A nacele este localiza no alto da torre e se posiciona segundo a direção do vento, controlada pelo sistema *yaw*. O acesso a nacele é desde o interior da torre, através de escadas e uma porta, este acesso é importante para atividades de comprovação e mantimento, também, pode-se sair ao exterior dela.

A nacele é a estrutura na qual se guardam os elementos básicos do processo de transformação de energia, como o rotor de eixo, o multiplicador, o gerador e os sistemas auxiliares. A nacele contém uma armação, base sobre a qual são montados os mecanismos, e uma carcaça que geralmente é feita com poliéster e fibra de carbono que fixa à armação e protege os mecanismos.



Fonte: AW3000 Acciona Windpower (2012)

Figura 4.6: Vista lateral e vista frontal da nacele.



Fonte: Econoticias.com (2011)

Figura 4.7: Localização da nacele no aerogerador.

4.2.1.1.2.1. Principais componentes no interior da nacele

O **Gerador Elétrico** é uma das partes mais importantes do aerogerador, transforma a energia mecânica em energia elétrica.

O **Controlador Eletrônico** é um computador que controla as condições de vento e o mecanismo de orientação. Em caso de mau funcionamento, automaticamente, o aerogerador chama ao operador através de uma ligação telefônica usando um modem.

A **Unidade de Refrigeração** contém um ventilador elétrico para manter em uma adequada temperatura ao gerador. Também contém uma unidade de refrigeração por óleo utilizada para esfriar o óleo do multiplicador, algumas turbinas têm a geradores refrigerados por água.

O **Mecanismo de Orientação** é ativado por um controlador, a orientação do aerogerador muda dependendo das condições do vento.

O **Multiplicador de Velocidade** é um elemento ligado ao rotor e têm a função de multiplicar a velocidade de rotação do eixo para atingir a elevada velocidade necessária.

Existem dois tipos de multiplicadores, os de polias e os de engrenagem.

- Multiplicadores de polias são utilizados para rotores de baixa potencia.
- Multiplicadores de engrenagem são utilizados para rotores de alta potencia, estão protegidos em caixas blindadas para evitar o desalinhamento.

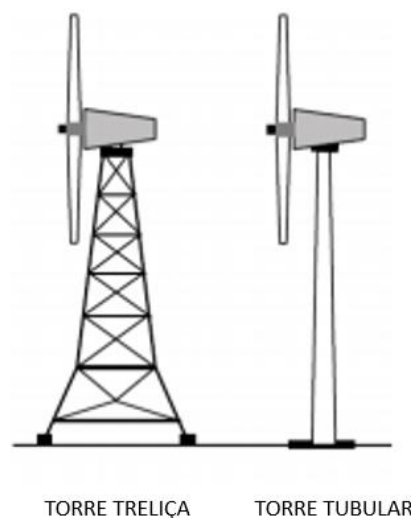
O **Anemômetro**, também chamado “Sensor de Vento”, mede a velocidade do vento. No caso de esta ser muito alta, o rotor é detido automaticamente para evitar danos.

Os **Transformadores** são os responsáveis pela tensão de saída adequada para rede. Estes equipamentos podem estar localizados na nacele, na base da torre ou fora da torre. Atualmente não é comum encontrar transformadores localizados na nacele, pela maior exposição de expandir o fogo em caso de explosão e difícil acesso, o lugar mais adequado para a instalação desses equipamentos é à base da torre ou fora.

4.2.1.1.3. Torre

A torre é a parte do aerogerador que suporta a nacele e o rotor. Normalmente ter uma torre alta é uma vantagem, devido ao fato que a velocidade do vento se acrescenta à medida que se afasta do nível do solo. As torres podem ser tubulares ou de treliça, as tubulares são mais seguras para o pessoal de manutenção devido

ao fato que se pode utilizar uma escadaria ou elevador para aceder ao topo da turbina, e a principal vantagem das torres de treliça é que são mais baratas. A maioria dos aerogeradores modernos são de torres tubulares, tronco-cônicas de aço, conforme menciona Danish Wind Turbine Manufacturer Association (2001): “As torres tubulares possuem maior eficiência em sua rigidez, tem pontos discretos de ligação entre os módulos que facilitam a sua montagem a grandes alturas, facilitando inclusive, a segurança dos montadores”.



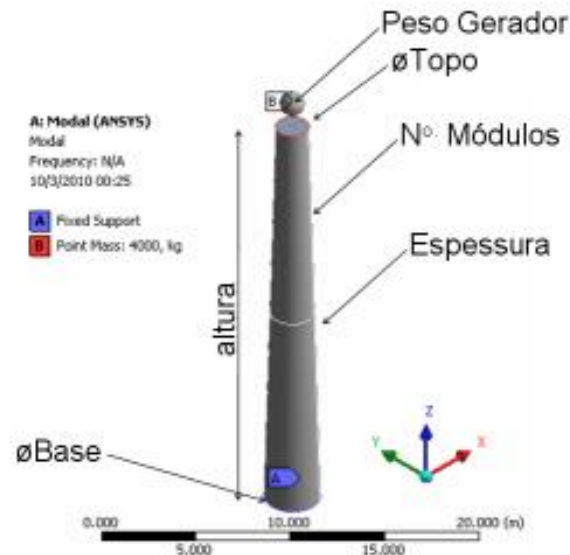
Fonte: Sathyajith (2006)

Figura 4.8: Principais tipos de torres de um aerogerador, os quais são a Torre Treliça e a Torre Tubular.

As torres dos aerogeradores geralmente são projetadas pelo mesmo fabricante das turbinas, pois podem ser comercializadas como uma unidade, no caso de serem projetados e construídos por produtores independentes são específicas de cada fabricante. As torres mais comuns, tubulares, podem estar compostas por dois tipos de materiais:

- Torre de concreto, composto por várias seções ligadas entre si, seladas com argamassa de alta resistência através de seus segmentos.

- Torre de aço, esta parte da torre é uma estrutura tubular cônica, também com varias seções, as quais são parafusadas entre si.



Fonte: Mendes (2010)

Figura 4.9: Principais variáveis para o desenho e construção das torres tubulares para geradores eólicos.

4.2.1.2. Rede de Distribuição Interna

A responsável pelo agrupamento elétrico de todos os aerogeradores é a rede de distribuição interna. O sistema coletor é implantado ao longo dos acessos previstos e é dimensionado com redes de distribuição mista, composto por trechos de rede aérea com estruturas de concreto e cabos; e rede subterrânea, com cabos instalados de forma diretamente enterrados, juntamente com o cabo de fibra óptica e aterramento.

Segundo a ABREDEE (2015), as linhas de transmissão, no Brasil, são classificadas de acordo com o nível de tensão de sua operação em Kilo Volt (kV - milhares de Volts). Para cada faixa de tensão há um código que representa um

conjunto de linhas de transmissão de mesma classe, divididas em função a tensão de fornecimento: A1 (igual ou superior a 230 kV), A2 (de 88 kV a 138 kV) e A3 (69 kV). Também existem quatro tipos de redes de distribuição de energia elétrica:

- Rede de Distribuição Aérea Convencional, os condutores são sem isolamento, sendo mais susceptíveis à defeitos (curto-circuitos).
- Rede de Distribuição Aérea Compacta: os condutores possuem camada de isolamento e a rede ocupa menos espaço.
- Rede de Distribuição Aérea Isolada: rede bastante protegida, os condutores são encapados com isolamento suficiente para serem trançados, utilizada em condições especiais e geralmente mais cara.
- Rede de Distribuição Subterrânea: maior grau de confiabilidade e melhor resultado estético, são mais caras. É comum encontrar-lhas em regiões densas ou onde há restrições para a instalação das redes aéreas.

4.2.1.3. Subestação Elevadora e Transformador de Potência

A subestação é responsável pela elevação da tensão de toda energia gerada no parque eólico, do nível de geração/distribuição para o nível de transmissão.

O equipamento de maior importância nas subestações é o transformador elevador, sendo trifásicos ou monofásicos. Sob cada transformador existe uma bacia de captação com pedra britada para captação de água de incêndio e do óleo que for derramado. Estas bacias drenarão para o tanque separador de água-óleo. Caso exista mais de um transformador, estes podem ser protegidos com paredes corta-fogo ao lado de cada transformador, realizando o isolamento em caso de incêndio. Este equipamento é instalado ao tempo.



Fonte: WEG (2013)

Figura 4.10: Transformador de potência com paredes corta-fogo na subestação elevadora.

Os grandes transformadores são equipados com uma gama de dispositivos de monitoramento e recursos de segurança, importante tanto para os testes e comissionamento como para a operação. Os dispositivos mais comuns, segundo a ABB, são:

- A temperatura central com sensores localizados em uma variedade de pontos nos enrolamentos.
- Temperatura do óleo.
- Nível de óleo.
- Sistema de detecção de gás para unidades seladas.
- Sobrecorrente.
- Respiradores tanque com cristais de absorção de água.

Estas características de segurança e sensores devem estar ligados aos alarmes, além deste monitoramento, os transformadores necessitam de manutenção.

4.2.2. Obras Civis e Instalação e Montagem

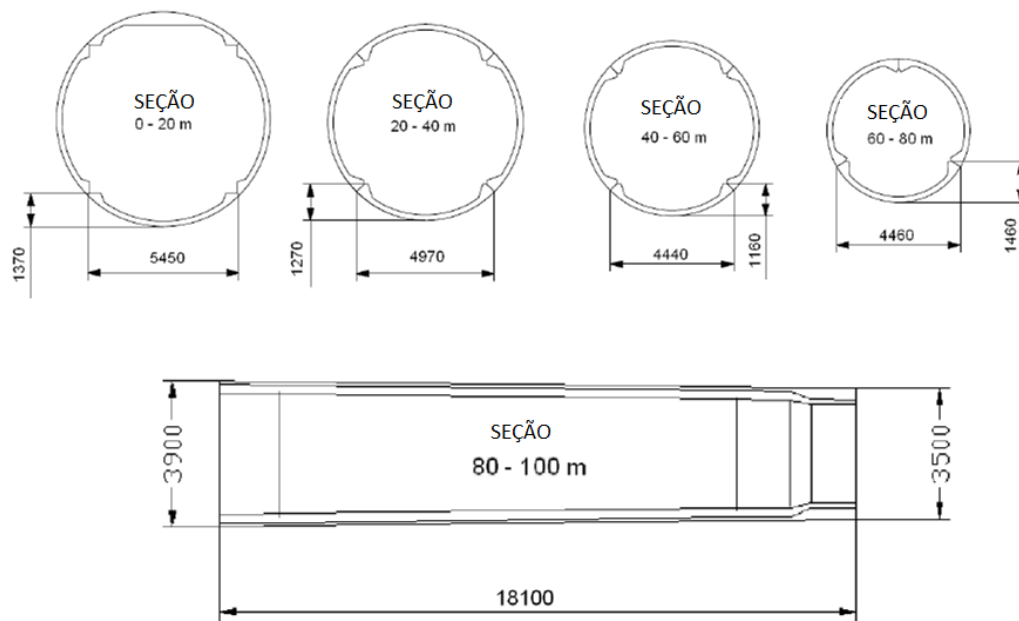
4.2.2.1. Fundações

As fundações devem ser adequadas para apoiar a turbina sobre cargas extremas. Normalmente, o fabricante da turbina fornece uma especificação completa das cargas de fundação como parte de um pacote de propostas. Este trabalho é muito importante, mas o processo e execução do projeto de fundações é uma tarefa relativamente simples da engenharia civil.

Segundo a EWEA (2015), uma fundação típica de, mais ou menos, 13 metros de largura pode ter entre 1 ou 2 metros de profundidade. Será feita a partir de concreto armado num buraco escavado. O tempo de construção pode facilmente ser inferior a uma semana; sem embargo, para parques eólicos situados em turfa ou pântanos, é necessário garantir que as estradas, fundações e drenagem não afetem negativamente a hidrologia.

4.2.2.2. Torre de Concreto

O comprimento da torre depende do modelo do aerogerador, por serem prefabricados, a torre é dividida em seções; a última seção inclui um anel de concreto e adaptador de aço para a união com a nacela. Com a torre de concreto não existe nenhum requisito para instalar a nacela imediatamente após a instalação da última seção, pois não existem frequências naturais associados com o desenho, a diferença das torres metálicas.



Fonte: Acciona Windpower (2012)

Figura 4.11: Torre de concreto de 100 metros, dividido em seções.

As máquinas necessárias para o içamento dos componentes dependem da quantidade e tempo requerido para a montagem. Geralmente essas máquinas são os guindastes e outro tipo de maquinário.

Prévio a montagem é necessária a limpeza da superfície da fundação, eliminando os restos de areia, lama, cimento, etc., e instalação dos elementos da pre-montagem. A ordem da montagem inicia com as instalações internas das seções, incluindo as da seção superior, preparação das fundações e equipamentos de montagem das seções médias, pre-montagem da fundação da seção 1 ou a pre-montagem em cavaletes das seções medias, instalação das barras de reforço nas juntas verticais e instalação dos anéis de fundação e as juntas verticais, se verte com argamassa os anéis da fundação e também se enche as verticais. Dependendo do projeto se pinta as seções da torre mais baixa e seções médias. Após a ereção de todas as seções, se instala as juntas horizontais e se enche de argamassa.

A montagem interna da torre concentra a plataforma de trabalho, escada e/ou elevador, bandejas elétricas, adesivos de segurança, guia dos cabos na penúltima seção, chaves e tomadas, entre outros. Estes elementos são instalados em cada seção.



Fonte: IMPSA (2011)

Figura 4.12: Içamento de uma das seções da torre.

4.2.2.3. Aerogerador, excluindo a torre.

Para dar início na instalação dos aerogeradores, sem considerar as torres, é necessário ter pleno conhecimento das características das pás, da nacele, seja com ou sem gerador e/ou caixa multiplicadora, e do roto, com ou sem o cone. Características como a largura, longitude, altura, peso, modelo e centro de gravidade.

Ao igual que a torre, o número de equipamentos necessários para o içamento deve estar relacionado ao número de aerogeradores a serem instalados e ao ritmo de montagem necessário do projeto, sendo a responsabilidade do empreiteiro, e não

do fabricante, avaliar as máquinas que serão necessárias para a instalação de acordo com os aerogeradores e características do local, em geral essas máquinas podem ser guindastes para à nacela, rotores e pás, entre outros tipo de maquinário para a manipulação de ferramentas e demais componentes do aerogerador.

Para a montagem dos aerogeradores, excluindo a torre, deve-se recolher com antecipação todos os componentes das turbinas, usualmente existem duas ordens:

Opção 1:

- Montagem do rotor na nacela para o içamento conjunto
- Montagem da nacela
- Montagem das pás no rotor

Opção 2:

- Montagem da nacela
- Montagem das pás no rotor
- Montagem do rotor

O aperto final das conexões de parafuso da turbina, excluindo o das pás, deve ser executada antes do tempo determinado (por exemplo, 72 horas) do momento que foi finalizado o acoplamento do rotor com a nacela.

4.2.2.3.1. *Nacela:*

No geral a ordem da montagem mecânica da nacela inicia com a retirada dos toldos do transporte, montagem do suporte e sensor anemométrico na parte superior da nacela, limpeza da área do eixo onde se unirá com o rotor e eliminação da película anticorrosiva. Segundo a indicação de fabricantes, esta superfície não pode estar exposta por mais do intervalo de tempo de aproximadamente 12 horas, pelo

qual esses trabalhos devem que ser realizados dentro de este período. Se a montagem, pelos guindastes, da nacele e o rotor forem em conjuntos, se inicia a montagem do rotor com a parte frontal da nacele.

Finalmente se eleva levemente a nacele do solo para a limpeza da superfície de união com a torre e se inicia o preparo da montagem que será realizado pelos guindastes, ao final desse processo se assegura a união e se desinstala os equipamentos de montagem. Durante o mesmo dia se realiza o ajuste provisório ou ajuste definitivo, caso seja realizado o ajuste definitivo, terá que ser antes do intervalo de tempo (exemplo de 72 horas) de finalizar a montagem total do rotor com a nacele.

4.2.2.3.2. *Rotor:*

O instalação do rotor pode ser de duas formas, a montagem pá a pá e a montagem completa, os procedimentos são bastante similares mas a ordem do acoplamento ou montagem muda.

A montagem pá a pá inicia com a retirada dos toldos de transporte do rotor para instalar o sistema de segurança de elevação e se retira a do transporte. Antes do levantamento do rotor, se une a ponta do cone e se faz a limpeza da parte mecânica que será unida com o eixo da nacele para depois remover a película anticorrosiva. Inicia-se a elevação do rotor, unido com o cone, para o acoplamento com a nacele, ao terminar a instalação se realiza o aperto e se desinstala os equipamentos de elevação.

Durante o mesmo dia que foi realizada a montagem deve-se realizar o aperto provisório ou aperto definitivo. Deve-se aplicar a proteção contra a corrosão com um pincel sobre o perímetro dos parafusos que ligam o cubo com a nacela, após o período de 1 hora de secagem deve ser feita a pintura da superfície.

Para o acoplamento das pás, se instala um suporte e engrenagens motoras sobre a caixa multiplicadora para o giro do disco e freio do eixo, equipamentos para manipulação devem ser instalados previamente. Ativar o sistema de giro, eixo e pitch, para depois limpar a superfície de união da pá com o rotor. Deve-se instalar uma placa de metal para cobrir os buracos do rotor, quando a instalação do rotor esteja completa, será necessário remove-los.

Será necessário instalar um protetor de poeira na raiz da pá e depois o sistema de segurança para a elevação. Ao elevar a pá para o acoplamento com o rotor, a posição 0° da pá deve coincidir com a posição 0° do rolamento do rotor, se ativa o sistema *pitch*, para assim realizar o ajuste provisório ou, também, o ajuste definitivo. Finalmente se retira os suporte e engrenagens motoras que foram instaladas para o giro do disco e freio do eixo. Repetindo este processo com cada pá.



Fonte: Enercon (2007)

Figura 4.13: Montagem pá a pá, de um aerogerador modelo E-101.

A montagem completa segue os mesmos procedimentos da montagem pá a pá, mas o acoplamento das pás ao rotor é realizada antes do levantamento e montagem com a nacele.



Fonte: Enercon (2012)

Figura 4.14: Elevação do rotor junto com as pás, chamada montagem completa.



Fonte: Enercon (2012)

Figura 4.15: Acoplamento do rotor com o junto de pás à nacele, do aerogearador modelo E-82 E2.

4.2.2.4. Subestação

As obras civis se iniciam com os trabalhos preliminares de terraplanagem do terreno, sistemas de aterramento e topografia para nivelamento do terreno. Na construção se realiza as fundações dos equipamentos, paredes corta-fogo, bancos de capacitores, canaletas de cabos, sala de controle, local ou abrigos para os extintores, pavimentação e embritamento de pátios, etc.

A montagem eletromecânica se centra na instalação dos pórticos e vigas, montagem dos reatores, pára-raios, barramentos aéreos, capacitores, selecionadores tripolar, transformadores de potencia e disjuntores; lançamento de cabos e eletrodutos, etc.. Devido às características dos equipamentos a serem montados, nesta etapa de requer mão-de-obra especializada.

Os transformadores de potência são geralmente montados nos fabricantes e transportados para o local em uma só peça onde irão ser ligados à barra de tensão elevada e/ou cabos e óleo adicionado. As fundações no local devem ser capazes de suportar tal peso com facilidade. Todo o equipamento de proteção deve ser instalado antes da primeira ligação à alimentação.

4.2.2.5. Comissionamento

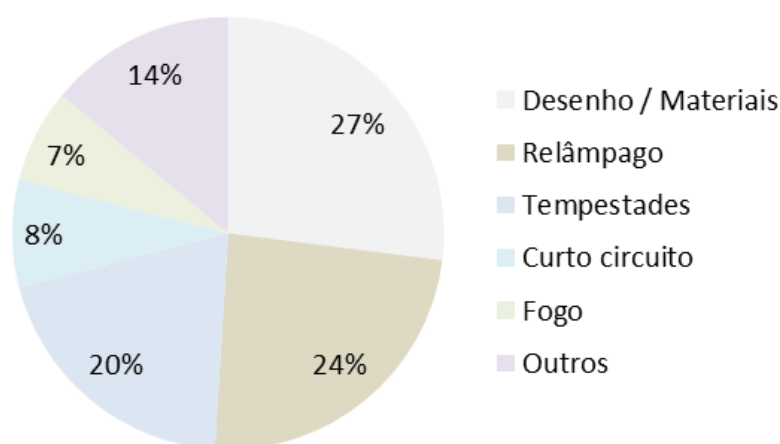
Concluída a construção, o comissionamento começará. Esta etapa cobre todas as atividades após todos os componentes das turbinas serem instalados, o tempo por turbinas pode levar entre dois ou três dias, com uma equipa experiente. Esta etapa geralmente envolve testes padrão para a infra-estrutura elétrica, esta fase é vital para o funcionamento do parque eólico e qualidade de entregue.

No caso das instalações da subestação se realiza um teste prévio, comissionamento, para avaliar se a mesma está de acordo com as normas e se está apta para ser energizada.

4.3. Principais riscos e danos

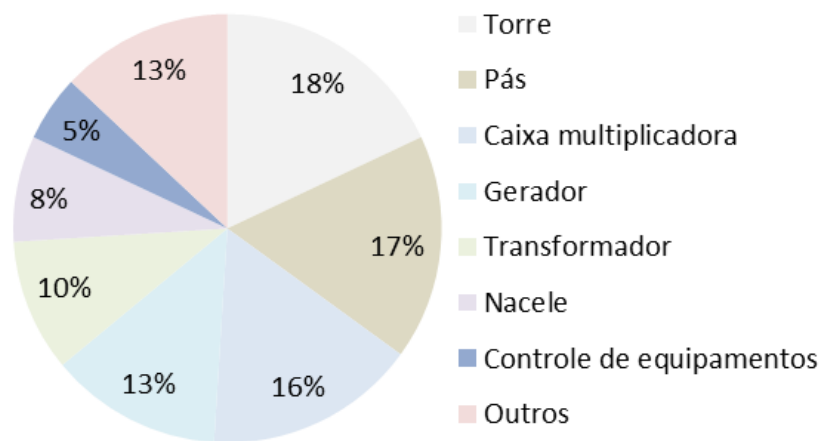
A produção de energia elétrica é o tópico mais importante para o sucesso econômico de um parque eólico. Outro tópico de importância e de significativa participação nos custos é a infraestrutura.

Nas obras civis, não é estranho que grandes atrasos e orçamentos inesperados sejam ocasionados por má compreensão ou eventos inesperados das condições do solo, particularidades do *layout* e características naturais da região. Os equipamentos elétricos, como transformadores e painéis de controle, têm prazos longos de entrega, problemas na montagem dos principais equipamentos, assim como as ligações a rede que podem apresentar significativos riscos, pois depende dos operadores da rede e não do gerenciamento dos parques eólicos, entre outros, são situações que podem gerar tais atrasos.



Fonte: IMIA WGP 45 (2006)

Figura 4.16: Percentual de danos ocasionados por eventos da natureza.



Fonte: IMIA WGP 45 (2006)

Figura 4.17: Percentual de danos nas partes do aerogerador.

A filosofia de proteção contra raios foi alterada a vários anos, atualmente a corrente do raio é conduzido através de toda a construção de uma forma controlada. Esta inovação tem sido bem sucedida e tem beneficiado os custos dos sinistros causados por este fenômeno, a estimada de redução é de 50%, segundo a IMIA Conference (2009).

A seguir serão citados os principais riscos ou danos que podem ocorrer na construção de um parque eólico:

4.3.1. Teste e Comissionamento

A fase de teste e comissionamento centram as correções da coordenação e integração de diferentes sistemas em uma única instalação e concretização do processo de execução do projeto. O não reconhecimento de tais omissões pode resultar em enormes prejuízos materiais e em casos extremos, perda de vidas. Sendo de extrema importância que a equipe de comissionamento, com a sua experiência e ampla visão geral do projeto, assuma o papel de revisor do projeto de instalações, identifique as omissões e elimine os possíveis riscos de segurança.

Outra fonte de erro surge quando os equipamento e sistemas principais foram fornecidos por vários fabricantes, aumentando as dificuldades para estudar e analisar totalmente o procedimento de teste completo e adequado.

Consequentemente, se o comissionamento é contratado para um prestador de serviços que não participou na concepção da instalação, qualquer possibilidade de reconhecer erros importantes na programação do sistema de controle de instalações e de segurança vai ser impossível.

4.3.2. Instalação e Montagem:

Os fabricantes enxergam como caminho crítico esta fase da obra, geralmente os especialistas dos fabricantes trabalham em conjunto com os demais empreiteiros, analisando as características da velocidade do vento, manutenção do guindaste, procedimentos de içamento, etc.



Fonte: Portal Energia (2012)

Figura 4.18: Dano originado durante a montagem de um parque eólico que teve a queda desamparada de uma pá, a qual caiu sobre a cabine do guindaste que estava sendo manobrada pelo operário.

4.3.3. Incêndio na nacela:

Num incêndio, toda a nacela pode ser destruída pelo fogo, originando danos diretos à seção superior da torre e as pás. O custo de reparo das perdas e danos consequentes é estimado em 8 milhões de reais, dos quais aproximadamente 30% são destinados ao aluguel de equipamentos necessário para a realização do reparo.

Segundo a IMIA - *Conference (2002)*, foi estabelecido com grande certeza que a causa de este tipo de dano se origina no momento da instalação, executado pelo empreiteiro na montagem.

As principais características de risco incluem a alta concentração de valores dentro da nacele, concentração de potenciais fontes de ignição que aumenta o risco de um raio, pela altitude não existe a possibilidade de lutar contra o fogo por bombeiros e difícil acesso às turbinas de vento.



Fonte: Portal Energia (2014)

Figura 4.19: Incêndio de um aerogerado, que ficou praticamente destruído, e a queda de duas das três pás, um curto-circuito teria dado origem ao fato.

4.3.4. Vendaval:

A velocidade do vento pode variar de acordo com vários fatores, as velocidades dos ventos registradas em altitudes elevadas são sempre mais rápidas do que a velocidade do vento a baixas altitudes e a topografia, que tem uma influência importante sobre a força que o vento exerce. Movimentos de vento sobre a água aberta e terreno plano, tem característica de velocidade uniforme, em quanto os montes, vales, árvores e estruturas interrompem o movimento do ar e tendem a diminuir a velocidade do vento.

Na avaliação das exposições de vento é necessário seguir algumas normas. Nos Estados Unidos, as médias da velocidade do vento são realizadas ao longo de um período de dois minutos, média de dez minutos é o padrão internacional, os

serviços meteorológicos medem o vento a uma altura padrão de dez metros, também chamado de nível no último piso, e os anemômetros devem ser posicionados em uma área plana e livre de obstruções.

Os relatórios de tempestades de poder destrutivo devem ser lidos atentamente. Relatórios da velocidade do vento às vezes podem ser imprecisos devido à colocação incorreta de anemômetros, erros de leituras ajustado às condições normais ou ventos que excedem o intervalo que o anemômetro foi concebido para medir.



Fonte: Porta de Energia (2014)

Figura 4.20: Parque eólico no sul do país que foi atingido por um vendaval, originando a queda de 8 turbinas eólicas de 136 metros e aproximadamente 600 toneladas, com ventos de aproximadamente 250km/h, dados dos institutos de meteorologia da região, segundo a Eletrosul.

4.3.5. Descargas atmosféricas:

Uma das causas de incêndio é a queda de raios, embora sejam instalados para-raios nos equipamentos, muitas vezes o sistema de proteção contra as descargas atmosféricas não foram corretamente fixadas ou instaladas.



Fonte: HDI/Gerling (2004)

Figura 4.21: Incêndio por uma descarga atmosférica. A pá de uma turbina eólica foi atingida por um raio, durante uma tempestade, e a turbina acionou o desligamento automático. A pá, em fogo, parou em posição vertical e continuo se queimando, partes da pá caíram e causou fogo na nacele. Conforme a figura, a nacele, as pás e o rotor, foram identificados como perda total, e a parte superior da torre foi danificada devido à alta temperatura.

4.3.6. Perdas em Serie, decorrente de Erro de Projeto ou Risco do Fabricante:

As perdas em serie são um problema grave para a indústria eólica, este tipo de sinistro refere-se quando uma ou varias partes de uma turbina eólica foram afetadas pelo mesmo evento, repetitivamente em diferentes aerogeradores. Segundo a *IMIA Conference (2009)*, em menor quantidade, sinistros desse tipo são causados durante a montagem e edificação; a maior quantidade são ocasionado, principalmente, de defeitos na fase de pre-produção. As causas mais comuns são encontradas no material com defeito, defeito de fabricação ou de projeto defeituoso.

Os defeitos são as falhas substanciais nos componentes do produto antes da aceitação do projeto, muitas vezes esses defeitos são escondidos no trabalho final e, eventualmente, podem se manifestar causando danos anos mais tarde da instalação; sendo o sintoma mais comum é o desgaste anormal. Pelo qual, existem danos causados por esses defeitos que em alguns casos não são nem súbito nem imprevisto.

Um dos maiores problemas, na fase civil, são as fundações, vários especialistas relacionam este problema com as cargas dinâmicas. Resultados sinalizam que a fissuração começa na parte inferior da base, onde pode ficar sem ser observado por um longo tempo e quando as primeiras fissuras aparecem na superfície, muitas vezes, são sinalizadas como “fissuras normais”.



Fonte: IMIA Conference (2009)

Figura 4.22: Fissuras nas fundações

4.3.7. Acessibilidade:

Os parques eólicos são muitas vezes construídos em terreno montanhoso ou em áreas remotas, pelo qual é importante considerar a acessibilidade na fase de transporte dos equipamentos para a construção e, futuramente, na operação. Ter uma infraestrutura viária adequada no local pode ajudar a garantir o acesso seguro dos trabalhadores, equipamentos pesados e serviços de emergência.

4.3.8. Inundações e Terremotos:

O local deve ser avaliado para possíveis inundações e terremotos, construir em uma área propensa a esses riscos podem afetar significativamente a construção e operação no longo prazo.

4.3.9. Transformadores de Potência:

Nem todos os transformadores são fabricados com os mesmos padrões. Com o esforço de redução de custos é cada vez mais comum encontrar transformadores fornecidos por fabricantes sem países sem expertise, pode que a qualidade e longevidade dessas unidades não estejam estabelecidas, assim como o fornecimento de suporte do fabricante, reparação e serviço de menor qualidade do que poderia ser esperado.

A maioria das falhas dos transformadores resulta do colapso do sistema de isolamento. O tempo para rebobinar ou reconstruir um grande transformador de potência pode levar de 6 a 12 meses, ou mais. Excluindo as falhas de projeto, fabricação e instalação, segundo a SIEMENS (2015), a idade média em falha é 18-20 anos.

Eletricamente, o excesso de tensão provoca sobrecarga para o isolamento e superaquecimento do núcleo, assim como a exposição a surtos de descargas atmosféricas podem causar danos consideráveis; mecanicamente, uma falha típica resulta na deformação de um enrolamento, dependendo do dano o transformador pode falhar eletricamente; e termicamente, a degradação de um sistema de isolamento de celulose é esperada ao longo do tempo, os fatores mais comuns são a sobrecarga do transformador, falta de um sistema de refrigeração, operação do transformador em condições excessivas de temperatura ambiente, entre outros.

4.3.10. Danos Mecânicos

Os danos às engrenagens são os tipos de danos mecânicos mais frequentes, geralmente se apresentam nos rolamentos, devido à avaria ou desgaste pela corrosão, folga e quebra dente. Originam-se pelos defeitos de material, fadiga, uso errado de óleo ou temperatura, vibrações e sobrecarga. Muitos tipos menores de

danos de engrenagem podem ser reparados no local, quando os danos são mais graves, os que envolvem o levantamento das principais peças para reposição, mais do que a reparação é necessário à troca por um equipamento novo.

As pás do rotor também se vêm afetadas pelos danos mecânicos, os quais são chamados “*edgewise vibrations*”. As vibrações se originam pela indesejada combinação de uma temperatura determinada e certa velocidade do vento, menciona Lindenburg (2015), fazendo com que as pás de rotor ou a turbina eólica inicie agitação, algumas vezes estas vibrações são tão fortes que o resultado pode ser uma perda total. Importante ressaltar que existem sistemas de segurança nas turbinas que permite o desligamento automático quando se registram grandes vibrações.

5. ANÁLISE DE RISCO

Estudaremos quais são os pontos mais importantes que as seguradoras analisam para qualificar, quantitativamente, o risco de construção de um parque eólico, ou seja, custo da apólice nesta etapa. Mencionaremos as coberturas de seguros comumente ofertadas, a pre-análise e identificaremos as variáveis mais influentes da precificação.

5.1.1. Coberturas de seguro ofertadas

As coberturas securitárias são os valores que as seguradoras indenizaram ao segurado em caso de algum dano material, subido e imprevisto, neste caso, no período de obras civis e instalação e montagem.

- Básica, incluindo testes

Garante o interesse do segurado (cliente) contra acidentes, de origem súbita e imprevista, durante o período de obra e instalação e montagem informado. Com exceção de certas exclusões negociadas.

- Manutenção Ampla

Garante os danos físicos, acidentais, ocorridos dentro do período de manutenção (após os testes e comissionamento) e decorrentes do período de construção, causados pela construtora responsável e empreiteira, segurados, nas operações por eles realizadas.

- Erro de Projeto

Garante os danos físicos, acidentais, em consequentes de erro de projeto das obras civis construídas ou em construção.

- Riscos do Fabricante

Garante os danos físicos, acidentais, em consequência de riscos de fabricante para máquinas e equipamentos novos segurados.

- Despesas Extraordinárias

Garante os custos adicionais das horas extras e despesas extraordinárias de frete expresso ou afretamento para transportes nacionais (excluído o afretamento de aeronaves).

- Propriedades Circunvizinhas

Garante danos físicos, acidentais, nas propriedades que não são parte do escopo da obra ou propriedades de terceiros, mas são preexistentes no local do risco e estão sob a guarda ou controle do segurado.

- Despesas de Desentulho

Garante despesas de desentulho necessárias à reparação ou reposição consequente dos danos físicos, acidentais.

- **Honorário de Perito**
Garante as despesas com honorários de serviços prestados para a regulação dos sinistros, serviços prestados por arquitetos, engenheiros, peritos, consultores, com exceção de advogados.
- **Tumultos**
Garante danos físicos causados por tumultos, greve e locaute.
- **Despesas de Salvamento e Contenção de Sinistros**
Garante as despesas para evitar ou conter algum evento que foi identificado como possível dano e que possa ser mitigado, antes de ocorrer, durante o período de cobertura.
- **Franquias**
Valor que o segurado assume. São indenizados pela seguradora, unicamente, os prejuízos superiores a estes.

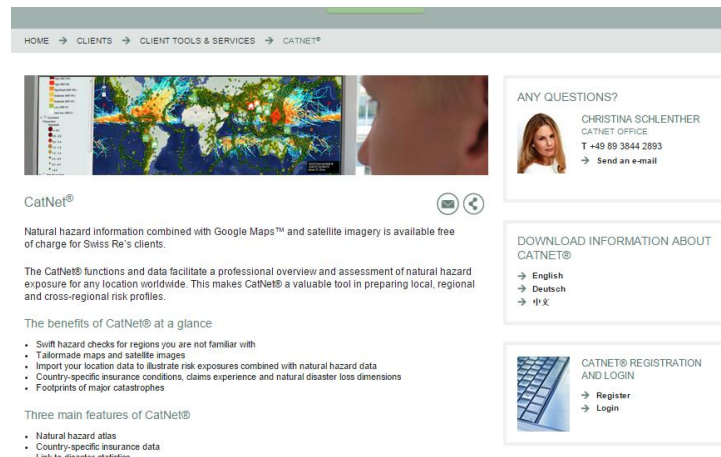
5.1.2. Pré-análise:

- **Exposições da natureza:**

Esta análise se faz necessária para identificar as características da natureza no local onde será instalado o parque eólico. Existem ferramentas que visam mostrar informações sobre os perigos naturais, visualmente, em qualquer coordenada necessária, sendo uma combinação do “*Google Map*” com imagens de satélites.

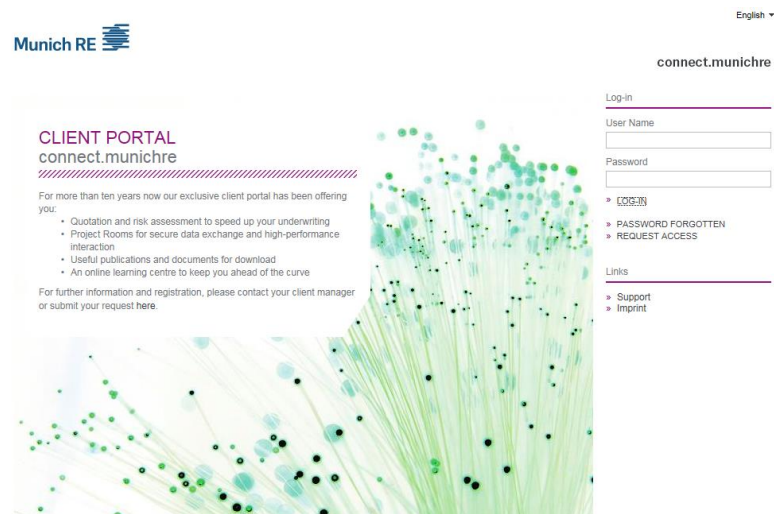
As informações necessárias para análise de risco e simulação da precipitação são: a avaliação geral do local, terremotos, vulcões, tsunamis, tormentas tropicais, ciclones, granizos, tornados, descargas atmosféricas, incêndios

florestais, alagamentos, tormentas, entre outros. Estas informações são mostradas em *ranking*, desde uma classificação baixa até extrema.



Fonte: Swiss RE (2015)

Figura 5.1: Ferramenta de análise de exposições à danos da natureza.



Fonte: Munich RE (2015)

Figura 23: Ferramenta de análise de exposições à danos da natureza.

- Construtores e fabricantes:

Embora a expertise dos fabricantes de turbinas eólica é conhecida a nível mundial, é importante estudar e pesquisar as empresas fornecedoras dos principais equipamentos (aerogeradores, transformadores elevadores, painéis de controle, etc.), assim como o portfolio das construtoras responsáveis pela parte civil e as empresas de instalação.

- Informação técnica:

Estudo e análise do material fornecido pelo cliente, estas informações, geralmente, são: projetos básicos, memorial descritivo, cronograma da obra, valores da obra detalhada, certificação dos aerogeradores, entre outro.

5.1.3. Identificação de Variáveis

As seguintes variáveis são as que vão alterar o custo da apólice, seja para valores maiores ou menores.

- Localização do parque eólico (latitude e longitude)
- Período de obras, em meses
- Exclusão de eventos da natureza
 - *Cobertura de desastres naturais*
 - *Cobertura de alagamento*
 - *Cobertura de vendaval*
- Coberturas adicionais (Limites adicionais por evento)
 - *Despesas Extraordinárias*
 - *Tumultos*
 - *Despesas de Desentulho*
 - *Honorário de Perito*
 - *Despesas de Salvamento e Contenção de Sinistros*
 - *Propriedades Circunvizinhas*
- Testes, em semanas

- Período de manutenção, em meses
- Exposições a danos de natureza (Moderado, médio, severo e extremo)
 - *Vendaval*
 - *Alagamento*
- Qualidade (Excelente, bom, regular, baixo, desconhecido)
 - *Experiência do construtor e fornecedor*
 - *Monitoramento de riscos (visitas técnicas de engenheiros das seguradoras)*
 - *Procedimentos de segurança de riscos*
 - *Experiência dos sub-contratados e fornecedores*
- Franquias

5.1.4. Pre-precificação:

Para realizar a precificação, precisamos ter um ponto de partida ou cálculo base, em porcentagem, com as características do projeto. Este percentual de cálculo será obtida da ferramenta de cálculo. Uma das ferramentas mais conhecidas é a “*Munich Re Engineering Expert Tool*”, fornecida pela empresa Munich Re (2015).

Na ferramenta MR-ET conseguimos introduzir os dados e valores mais importantes necessários para obter uma ideia de custo do parque eólico que esteja sendo analisado, os dados da presente ferramenta tem base e registros mundiais e vem sendo atualizado.

Parque Eólico		
	A	B
Aerogeradores	32	31
Modelo	G97 - 2.0 MW	AW 116/3000
Potencia Nominal	64 MW	93 MW
Transformadores Elevadores	1	2
Localizacao	Trairi - Ceará	Osório - RS
Valor em Risco	R\$ 232.974.539	R\$ 381.446.801
Prazo de Obra	9 meses	13 meses
Testes	30 dias	45 dias

COBERTURAS	Limites de Indenização		Franquias
Básica	R\$ 232.974.539	R\$ 381.446.801	R\$ 200.000
Manutencao Ampla	R\$ 232.974.539	R\$ 381.446.801	R\$ 200.000
Erro de Projeto / Risco do Fabricantes	R\$ 232.974.539	R\$ 381.446.801	R\$ 200.000
Despesas Extraordinarias	R\$ 20.000.000	R\$ 10.000.000	Básica
Tumultos	R\$ 5.000.000	R\$ 25.000.000	R\$ 30.000
Despesas de Desentulho	R\$ 3.000.000	R\$ 10.000.000	Básica
Honorarios de Perito	R\$ 1.000.000	R\$ 1.000.000	Básica
Despesas de Salavamento e Contencao de Sinistros	R\$ 3.000.000	R\$ 4.500.000	20% das despesas
Propiedades Circunvizinhas	R\$ -	R\$ 5.000.000	R\$ 200.000

Tabela 5.1: Características dos parques eólico para realizar a pré-precificação e que usaremos na simulação da precificação na ferramenta MR-ET.

5.1.5. Simulação:

Uma vez feita a pre-simulação na ferramenta de calculo e identificação das principais variáveis que influenciam no preço do seguro de um parque eólico, focaremos como estas variáveis se comportam ao serem alteradas. Para obter os resultados será necessária usar uma segunda ferramenta de calculo, neste caso, ajustada as características do país.

6. RESULTADOS

Parque	Prêmio (Custo)	Taxa
A	R\$ 623.967,00	0,2678%
B	R\$ 1.247.331,04	0,3270%

Tabela 6.1: Custos dos parques eólicos provenientes da tabela 03, resultantes da ferramenta de calculo:

Nas tabelas 6.1 e 6.2 identifica-se os resultados da simulação do parque A e B, respectivamente, os valores e percentuais em vermelho são os resultados das variáveis que influenciam no aumento do preço ou custo do seguros e os de azul na queda de preço.

As três variáveis com maior influencia na queda do preço da apólice são:

- Exclusão da cobertura de danos a natureza.
A não contratação de esta cobertura é um ponto muito importante a ser analisado, devido a que danos ocasionados por eventos da natureza centram maior severidade e quantidade num mesmo local.
- Aumento no valor da franquia.
Ao aumentar a franquia o segurado estaria ampliando a participação na reparação dos danos, o qual beneficia a seguradora para não levantar processos por pequenas perdas e ao segurado na redução do preço do seguro.
- Menor período de testes.
É importante deixar claro o período dos testes, muitas vezes é informado um período maior sem necessidade, afetando diretamente na precificação do seguro.

As três variáveis com maior influencia no aumento do preço da apólice são:

- Falta de informação da experiência do construtor e fornecedor.

Além da importância de informar o fabricante dos principais equipamentos, conhecer quem são os demais empreiteiros e a experiência dos mesmo, gera um ponto positivo na análise geral do risco. Mesmo que os sub-contratados e/ou empreiteiros possuam expertise, o não conhecimento da segurado faz com que a precificação seja mais conservadora do que deveria.

- Maior período de obra.

O período de obras esta diretamente relacionada com o período de exposição, pelo qual, a maior período de obra maior risco de dano e preço.

- Maior período de testes.

Os testes são um dos trabalhos com maior risco nas obras civis e instalação e montagem de um parque eólico, ao igual que o período de obra, o período de teste esta diretamente relacionado com a exposição. A maior período, maior preço.

PARQUE A											
Taxa base MR-ET	0,268%	0,301%	0,219%	0,267%	0,257%	0,287%	0,268%	0,268%	0,285%	0,239%	
Localização do parque eólico (latitude e longitude)	-3,224998 -39,322254										
Período de obras, em meses	9 meses	12 meses									
Exclusão de eventos da natureza											
<i>Cobertura de desastres naturais</i>	Não excluído		Excluído								
<i>Cobertura de alagamento</i>	Não excluído										
<i>Cobertura de vendaval</i>	Não excluído										
Cobertura adicionais											
<i>Despesas Extraordinárias</i>	R\$ 20.000.000			R\$ 10.000.000							
<i>Tumultos</i>	R\$ 5.000.000										
<i>Despesas de Desentulho</i>	R\$ 3.000.000										
<i>Honorário de Perito</i>	R\$ 1.000.000										
<i>Despesas de Salvamento e Contenção de Sinistros</i>	R\$ 3.000.000										
<i>Propriedades Circunvizinhas</i>	R\$ -										
Testes (semanas)	4				3	6					
Manutenção (meses)	12										
Exposições da Natureza											
<i>Vendaval</i>	Medium										
<i>Alagamento</i>	Medium										
Experiência do construtor e fornecedor	Bom						Sem informação				
Monitoramento da obras pela Seguradora	Sim							Não			
Procedimentos de segurança	Bom										
Experiência das sub-contratadas e fornecedores	Bom										
Franquias (geral)	R\$ 200.000								R\$ 100.000	R\$ 500.000	
TAXA (%)	0,1258%	0,1404%	0,1065%	0,1230%	0,1208%	0,1349%	0,1514%	0,1310%	0,1340%	0,1119%	
CUSTO (R\$)	R\$ 293.082	R\$ 327.096	R\$ 248.118	R\$ 286.559	R\$ 281.433	R\$ 314.283	R\$ 352.723	R\$ 305.197	R\$ 312.186	R\$ 260.699	
Diferença		R\$ 34.014 11,61%	-R\$ 44.964 -15,34%	-R\$ 6.523 -2,23%	-R\$ 11.649 -3,97%	R\$ 21.201 7,23%	R\$ 59.641 20,35%	R\$ 12.115 4,13%	R\$ 19.104 6,52%	-R\$ 32.383 -11,05%	

Tabela 6.2: Resultados da simulação do parque A

		PARQUE B									
Taxa base MR-ET	0,327%	0,370%	0,273%	0,327%	0,309%	0,346%	0,327%	0,327%	0,347%	0,294%	
Localização do parque eólico (latitude e longitude)	-29.941647 -50.286851										
Período de obras, em meses	13 meses	16 meses									
Exclusão de eventos da natureza											
<i>Cobertura de desastres naturais</i>	Não excluído		Excluído								
<i>Cobertura de alagamento</i>	Não excluído										
<i>Cobertura de vendaval</i>	Não excluído										
Cobertura adicionais											
<i>Despesas Extraordinárias</i>	R\$ 10.000.000			R\$ 5.000.000							
<i>Tumultos</i>	R\$ 25.000.000										
<i>Despesas de Desentulho</i>	R\$ 10.000.000										
<i>Honorário de Perito</i>	R\$ 1.000.000										
<i>Despesas de Salvamento e Contenção de Sinistros</i>	R\$ 4.500.000										
<i>Propriedades Circunvizinhas</i>	R\$ 5.000.000										
Testes (semanas)	7				5	9					
Manutenção (meses)	12										
Exposições da Natureza											
<i>Vendaval</i>	Medium										
<i>Alagamento</i>	Baixo										
Experiencia do construtor e fornecedor	Bom						Sem informação				
Monitoramento da obras pela Seguradora	Sim							Não			
Procedimentos de segurança	Bom										
Experiencia das sub-contratadas e fornecedores	Bom										
Franquias (geral)	R\$ 200.000								R\$ 100.000	R\$ 500.000	
TAXA (%)	0,1533%	0,1716%	0,1323%	0,1507%	0,1443%	0,1598%	0,1865%	0,1597%	0,162%	0,1374%	
CUSTO (R\$)	R\$ 584.758	R\$ 654.563	R\$ 504.654	R\$ 574.840	R\$ 550.428	R\$ 609.552	R\$ 711.398	R\$ 609.171	R\$ 619.470	R\$ 524.108	
Diferença		R\$ 69.805 11,94%	-R\$ 80.104 -13,70%	-R\$ 9.918 -1,70%	-R\$ 34.330 -5,87%	R\$ 24.794 4,24%	R\$ 126.640 21,66%	R\$ 24.413 4,17%	R\$ 34.712 5,94%	-R\$ 60.650 -10,37%	

Tabela 6.3: Resultados da simulação do parque B

7. CONCLUSÕES

Os danos mais frequentes que afetam um parque eólico no período de construção, baseado em 3200 eventos de danos ocorridos, segundo a IMIA WGP 45 (2006), decorrentes de danos da natureza são: 27% pelo desenho das turbinas e materiais e 24% relâmpagos ou queda de raio, percentual que anos mais tarde (2009) foi reduzido em 50%, e as partes do aerogerados mais afetadas são: 18% a torre, 17% as pás e 16% a caixa multiplicadora.

Identificamos, dos resultados da simulação de precificação, que os itens que afetam de modo mais significativo a redução ou aumento do custo da apólice de um parque eólico são: exclusão da cobertura de danos à natureza, redução entre 13% e 15%; falta de informação da experiência do construtor e fornecedor período de obra, aumento de 20% dos custo; período de testes, menor período origina uma redução entre 4% e 6% e maior período origina um aumento entre 5% e 8%; e franquias aplicadas, maior franquia gera uma redução de 10% e 12% e menor franquia gera um aumento entre 6% e 7%, aproximadamente.

Os projetos em energia eólica vêm crescendo potencialmente e se faz necessário o que os investidores ou clientes estejam cientes de quais são as principais variáveis nos quais a análise das seguradoras focam para qualificar, quantitativamente, o seguro dos projetos eólico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRADEE. **Redes de Energia Elétrica.** Disponível em: <http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/redes-de-energia-eletrica>. Acesso em: 01/09/2015.

Agencia Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Energia Eólica.** Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06-energia_eolica(3).pdf). Acesso em: 27/07/2015.

American Wind Energy Association – AWEA. **The Wind Energy Operations and Maintenance.** Disponível em: https://www.awea.org/files/FileDownloads/pdfs/O-M-PPR_1-pager-3.pdf. Acesso em: 09/08/2015.

Bank, T. **New Challenges for Wind Energy – IMIA WGP 62 (09).** Disponível em: <https://www.google.com/url?q=http://www.imia.com/wp-content/uploads/2013/05/IMIA-WGP-6209-Wind-Energy-final121009-.doc&sa=U&ved=0ahUKEwiikYWF1qHKAhUEZCYKHbqPC58QFggEMAA&client=internal-uds-cse&usq=AFQjCNFH7vICRDrYAw0Zeu8t2SMpwKEgVw>. Acesso em: 09/10/2015

Bueno, Ch. **Energia Eólica 2008.** Disponível em: <http://360graus.terra.com.br/ecologia/default.asp?did=26665&action=geral>. Acesso em: 11/05/2012.

Ciamberlano, F., Nitschke, J., Kragelund, N., Thiede, J., Fusselbaugh, M., Johst, M., Ven de Velde, F.. **Engineering Insurance of Offshore Wind Turbines – IMIA WGP 45 (06).** Disponível em: <http://www.imia.com/wp-content/uploads/2013/05/wgp4506.pdf>. Acesso em: 12/10/2015.

Conselho Geral de Energia Eólica. Global Wind Energy Council – GWEC. **The Global Wind 2008 Report**. Disponível em: <http://www.gwec.net/publications/global-wind-report-2/the-global-wind-2008-report/>. Acesso em: 21/08/2015.

Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Boletim Trimestral de Energia Eólica**. Disponível em: http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Boletim%20Trimestral%20de%20Energia%20E%C3%B3lica/Resenha%20E%C3%B3lica%20Trimestral_n3_v1.pdf. Acesso em: 08/08/2015.

EWEA. **The European Wind Energy Association**. Disponível em: <http://www.ewea.org/>. Acesso em: 07/09/2015.

Fernandes Mendes T., Menezes J.. **Estudo de Sensibilidade e Dimensionamento Estrutural de Torres Tubulares para Geradores Eólicos** / VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - Agosto 2010. Disponível em: <http://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-0747.pdf>. Acesso em: 09/08/2015.

Jakobsen, C., Reymann-Carlsen H., Boogaard J., Martln Martln A.. **IMIA Insurance of Wind Turbines – IMIA – WGP(99)E**. Disponível em: <http://www.imia.com/wp-content/uploads/2013/05/wgp2602E.pdf>. Acesso em: 28/08/2015.

Lindenburt C., Snel H.. **Aero-elastic stability analysis tools for large wind turbines rotor blades**. Disponível em: http://www.researchgate.net/profile/Herman_Snel/publication/228607159_Aero-elastic_stability_analysis_tools_for_large_wind_turbine_rotor_blades/links/5469d11a0cf2397f782da0ce.pdf. Acesso em: 13/09/2015.

Ministério de Minas e Energia. **Produção de Energia Eólica no país bate recorde**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/en/web/guest/pagina-inicial/primeiro->

destaque/-/asset_publisher/iS28XocIOLAj/content/producao-de-energia-eolica-no-pais-bate-recorde.jsessionid=1FF25DE7B701F8585D7E72C12B572B55.srv154?redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fen%2Fweb%2Fquest%2Fpagina-inicial%2Fprimeiro-destaque%3Bjsessionid%3D1FF25DE7B701F8585D7E72C12B572B55.srv154%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_iS28XocIOLAj%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3D_118_INSTANCE_Z6riVXO2ZrIF_column-1%26p_p_col_count%3D1. Acesso em: 08/08/2015.

Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Energia Elétrica, Departamento de Monitoramento do Sistema Elétrico. **Boletim Mensal do Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro**, Janeiro 2015. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256627/--+Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Janeiro-2015_/b6795ba5-2d05-4a27-aafe-cd671b963761. Acesso em: 05/08/2016.

Munich RE – connect munichre. **NATHAN**. Disponível em: <https://register.munichre.com/WEBCRM/LoginSite/login.aspx?Original=https%3a%2f%2fnathan.munichre.com%2f>. Acesso em: 09/10/2015.

Munich RE – Facultative reinsurance – Global Clients and North America. **Civil Engineering and Energy**. Disponível em: http://www.munichre.com/site/corporate/get/documents_E430121852/mr/assetpool.shared/Documents/0_Corporate%20Website/Downloads/Civil-engineering-and-energy.pdf. Acesso em: 13/10/2015.

Portal Energia - Energias Renováveis. **Projeto de Aerogeradores e Fabricação de Torres**. Disponível em: http://www.portal-energia.com/downloads/aulas/Aula07_projetos%20de%20turbinas.pdf. Acesso em: 09/08/2015.

RENERGY – DOSSIÊ EÓLICO, **Revista de Energia do Brasil**, São Paulo 2011.
Disponível em: <http://www.renergybrasil.com.br/inicial>. Acesso em: 21/03/2012.

Renewable Energy World. **Understanding Wind Farm Exposures and Managing Risk** – Fevereiro 2012. Disponível em:
<http://www.renewableenergyworld.com/articles/2012/02/understanding-wind-farm-exposures-and-managing-risk.html>. Acesso em: 14/09/2015.

Sathyajith, M. **Wind Energy – Fundamentals, Resource Analysis and Economics**. Springer - Verlag. Alemanha, 2006. Disponível em:
https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=IWUcd_nQTl8C&oi=fnd&pg=PA89&dq=Wind+Energy+%E2%80%93+Fundamentals,+Resource+Analysis+and+Economics&ots=k0eeK-9LKP&sig=RQrB2fVNCFnq9yPu53csgKgggyk#v=onepage&q=Wind%20Energy%20%E2%80%93%20Fundamentals%2C%20Resource%20Analysis%20and%20Economics&f=false. Acesso em: 05/11/2015.

SIEMENS, **Transformadores de Potência**. Disponível em:
<http://www.energy.siemens.com/br/pt/transmissao-de-energia/transformadores/transformadores-de-potencia/transformadores-media-potencia.htm>. Acesso em: 31/08/2015.

Swiss RE – Client Tool & Service – **CatNet**. Disponível em:
http://www.swissre.com/clients/client_tools/about_catnet.html. Acesso em: 09/10/2015.

World Wind Energy Association - WWEA. **New Record in Worldwide Wind Installations**. Disponível em: <http://www.wwindea.org/new-record-in-worldwide-wind-installations/>. Acesso em: 07/07/2015.