

# DESENVOLVIMENTO DE SERVIÇOS CLIMÁTICOS PARA ANÁLISE DE RISCO EM INFRAESTRUTURA DE LINHA DE TRANSMISSÃO EM SANTA CATARINA

## Relatório 1/5 - Plano de Trabalho e Revisão Bibliográfica

Francisco Lima

Elaborado por: **Francisco Lima**

Essa publicação foi realizada por uma equipe formada por consultores independentes sob a coordenação da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio do projeto Ampliação dos Serviços Climáticos para Investimentos em Infraestrutura (CSI).

Este projeto foi pactuado no âmbito da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da parceria entre o Ministério do Meio Ambiente do Brasil e a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), no âmbito da Iniciativa Internacional para o Clima (IKI, sigla em alemão), do Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU, sigla em alemão).

Participaram desse processo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a Empresa Eletrosul/ Eletrobrás e a Defesa Civil de Santa Catarina.

Todas as opiniões aqui expressas são de inteira responsabilidade dos autores, não refletindo necessariamente a posição da GIZ e do MMA. Este documento não foi submetido à revisão editorial.

#### **EQUIPE TÉCNICA - MMA**

Hugo do Valle Mendes (coordenação)  
Adriana Brito da Silva  
Jaqueline Leal Madruça

#### **EQUIPE TÉCNICA - GIZ**

Ana Carolina Câmara (coordenação)  
Eduarda Silva Rodrigues de Freitas  
Pablo Borges de Amorim

#### **EQUIPE TÉCNICA - DEFESA CIVIL/ SANTA CATARINA**

Flavio Rene Brea Victoria  
Frederico Moraes Rudorff

#### **INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

Chou Sin Chan

#### **EQUIPE TÉCNICA - ELETROSUL**

Diego Luis Tedesco Dandolini (coordenação)  
André Luis Padovan  
Jacira Prichula  
Rogério Parrela de Amorim  
Marisa Bender  
Loriane Silveira

Giancarlo Maffezzoli  
Mércio Antonio Pavanati  
Marcelo Kotani  
Julian Luis Reis  
Claudia Teresa Pillatti  
Raquel Carolina Chinchilla Cartagena

#### **Ministério do Meio Ambiente**

Esplanada dos Ministérios, Bloco B, Brasília/DF, CEP  
70068-901  
Telefone: + 55  
61 2028-1206

#### **Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH**

Sede da GIZ: Bonn e Eschborn  
GIZ Agência Brasília  
SCN Quadra 01 Bloco C Sala 1501  
Ed. Brasília Trade Center - 70.711-902 Brasília/DF  
T + 55-61-2101-2170  
E [giz-brasilien@giz.de](mailto:giz-brasilien@giz.de)  
[www.giz.de/brasil](http://www.giz.de/brasil)

A encargo de:

**Ministério Federal do Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) da Alemanha**

BMU Bonn:  
Robert-Schuman-Platz 3  
53175 Bonn, Alemanha  
T +49 (0) 228 99 305-0

Diretora de Projeto:

**Ana Carolina Câmara**  
T:+55 61 9 99 89 71 71  
T +55 61 2101 2098  
E [ana-carolina.camara@giz.de](mailto:ana-carolina.camara@giz.de)



## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	2
LISTA DE TABELAS .....	2
1. INTRODUÇÃO.....	3
I. Ampliação dos Serviços Climáticos (WP 1) .....	4
II. Introdução dos Serviços Climáticos aos processos de planejamento (WP 2).....	4
III. Avaliação dos riscos climáticos de infraestruturas (WP 3) .....	5
IV. Intercâmbio de Experiências entre os países e as instituições participantes (WP 4).....	5
1.1 Objetivos.....	9
1.2 Atividades.....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	11
2.1 Importância dos Ventos Extremos .....	11
3. MATERIAL E MÉTODO .....	15
3.1 Metodologia.....	15
4. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO .....	18
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	20

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** (a) – Velocidade de rajada do vento obtidas da PCD do INMET localizada no município de Dom Pedrito a aproximadamente 80 km de distância. As imagens de radar foram obtidas do Radar de Santiago (RS) pertencente ao DECEA; (b) Turbinas eólicas do Parque Eólico de Cerro Chato, no município de Santana do Livramento (RS), destruídas após o vento atingir a velocidade de aproximadamente 29 m/s ocorridas entre as 19 e 21 horas do dia 20 de dezembro de 2014 ..... 7

**Figura 2.** Relação entre a intensidade da turbulência  $I$ , da velocidade do vento e o parâmetro de forma  $k$  da função de Weibull. O termo  $\sigma_{\text{vento}}$  representa o desvio padrão da velocidade do vento.....15

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Escala de vento de Beaufort. .... 14

**Tabela 2.** Cronograma de atividades para o projeto.....18

## 1. INTRODUÇÃO

Adaptação, como está definida na Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) instituída pela Lei nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009, é o conjunto de “iniciativas e medidas para reduzir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos frente aos efeitos atuais e esperados da mudança do clima”. Atualmente, admite-se que, mesmo com os esforços de mitigação dos gases de efeito estufa (GEE) adotados pelo Brasil e por outros países, as alterações no planeta em decorrência da mudança do clima são inevitáveis, com efeitos relevantes sobre os ecossistemas, a sociedade e a economia.

Tendo em conta que os efeitos da mudança do clima afetarão a população de modo distinto e com intensidades variáveis, tanto o diagnóstico dos impactos observados e esperados das vulnerabilidades nacionais quanto a resposta do país à mudança do clima devem ser abrangentes, integrados, coordenados e, ao mesmo tempo, sensíveis às particularidades de cada sistema, setor e região.

Nos últimos anos, o Brasil vem integrando a adaptação na agenda nacional de mudança do clima com iniciativas concentradas na identificação dos impactos, no mapeamento de vulnerabilidades, na estruturação de um sistema de monitoramento e alerta de desastres naturais e o tema vem ganhando relevância com a instituição do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA) e sua inclusão na Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil (NDC – do inglês *Brazilian Nationally Determined Contribution*) junto à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC – do inglês *United Nations Convention on Climate Changes*).

Para a implementação da Agenda Nacional de Adaptação, o Brasil tem como um dos principais parceiros a Alemanha, que oferta projetos de

cooperação através da Iniciativa Internacional para o Clima (IKI – do inglês *International Climate Initiative*) do Ministério do Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear da Alemanha. No âmbito dessa iniciativa, destaca-se o projeto Ampliação dos Serviços Climáticos para Investimentos em Infraestrutura – CSI, que vem sendo implementado por meio da *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ) e tem como objetivo principal aumentar a utilização dos serviços climáticos nacionais no planejamento e na avaliação dos riscos climáticos nos investimentos em infraestrutura, no âmbito da implementação dos processos da Política Nacional sobre Mudança do Clima.

O projeto encontra-se estruturado em quatro componentes, ou pacotes de trabalho, que definem melhor o seu escopo, sendo eles:

### **I. Ampliação dos Serviços Climáticos (WP 1)**

Nessa fase, será feito um estudo da linha de base nacional da atual utilização dos Serviços Climáticos (SC) e um inventário deverá ser elaborado. Também serão propostas medidas para inclusão do uso desses SC na avaliação de risco climático nos processos de planejamento dos investimentos de infraestruturas.

### **II. Introdução dos Serviços Climáticos aos processos de planejamento (WP 2)**

No segundo pacote de trabalho, as atividades encontram-se focadas na introdução dos Serviços Climáticos aos processos de planejamento, ou seja, na aquisição de experiência em análise de risco climático para a integração sistemática de riscos climáticos no planejamento de investimentos de infraestrutura.

### III. Avaliação dos riscos climáticos de infraestruturas (WP 3)

O terceiro componente tem como objetivo discutir os resultados dos itens 1 e 2 com os tomadores de decisão e atores-chave nas políticas de clima, assim como definir qual será a infraestrutura a ser utilizada para o desenvolvimento de um estudo de caso visando a análise de risco de acordo com a vulnerabilidade à qual a mesma encontra-se exposta.

### IV. Intercâmbio de Experiências entre os países e as instituições participantes (WP 4)

O quarto e último pacote de trabalho está relacionado à troca de experiências entre os *stakeholders* do projeto, inclusive dos países parceiros. Essa fase de intercâmbio de conhecimentos acontecerá durante todo o andamento do projeto, porém um dos objetivos é que, ao final do projeto, todo o conhecimento adquirido seja exposto em forma de “produtos de conhecimento” por meio de eventos internacionais, webinários, etc.

#### 1.1 Os desafios do setor de Linhas de Transmissão em Santa Catarina

Eventos extremos são parte integrante da variabilidade climática. De modo que, alterações no clima futuro, de origem antropogênica ou não, podem ter um impacto mais significativo sobre a frequência de extremos do que sobre o valor médio de uma variável ambiental em si. Eventos extremos de vento (ou rajadas) causam prejuízos diversos à sociedade, tais como: destelhamentos, danos a coberturas, prédios, pontes, queda de árvores e eventualmente torres de transmissão de energia, o que implica em perdas econômicas e riscos à infraestrutura e à segurança pública. Um detalhamento sobre eventos extremos no Brasil pode ser encontrado em (Pinto, 2012).

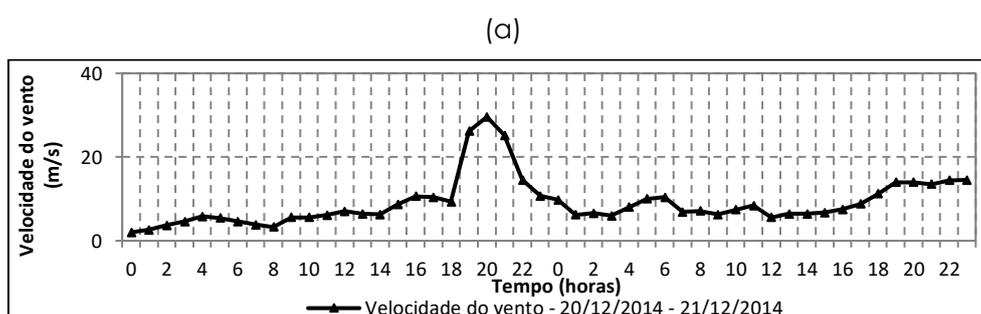
Visando minimizar o impacto desta ameaça foi estabelecida uma normatização técnica específica para cálculo de cargas de vento sobre estruturas civis, denominada NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações (NBR 6123, 1988), a qual deve ser utilizada para definição de projetos no Brasil. Nesta norma, a fonte primária de informação para os cálculos é chamada velocidade básica do vento ( $V_0$ ), a qual é definida pela velocidade de rajada de vento a 10 metros de altura para um período de retorno de 50 anos. Por se tratar de uma variável que representa um extremo de uma distribuição de probabilidades, torna-se muito suscetível a mudanças devido a alterações do clima. Se considerarmos, ainda, que as isopletas de velocidade básica do vento foram definidas na década de 70 e 80 fica evidente a importância que eventuais serviços climáticos de quantificação de período de retorno de ventos extremos pode representar neste campo.

As normas técnicas têm como objetivo a padronização da execução de diversos tipos de serviços e produtos, garantindo ao consumidor satisfação e segurança. Tanto para projetos quanto para construções de Linhas de Transmissão (LT) no Brasil, o que garante a qualidade dos serviços são as Normas Brasileiras (NBR's), criadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A NBR que rege os projetos de LT's é a NBR5422.

Adicionalmente, eventos extremos resultantes de uma combinação entre calmaria e altas temperaturas do ar (calmarias quentes) afetam a taxa de dissipação de calor das linhas de transmissão limitando sua capacidade de despacho. Estes eventos apresentam um impacto negativo na operação do sistema elétrico, de forma que, uma avaliação de tendências de aumento ou diminuição de sua probabilidade futura pode auxiliar na adaptação da infraestrutura elétrica ao clima futuro.

Quantificar o risco futuro que ventos extremos podem ocasionar ao setor de energia, especificamente sobre linhas de transmissão, como é o caso da Eletrosul, passa por compreender melhor as relações entre as projeções climáticas e o comportamento do vento sobre nosso território, conforme discutido em diversos trabalhos (GILLILAND; KEIM, 2018; MARTINS; PEREIRA, 2011; PES et al., 2017). Especificamente sobre eventos extremos de vento (Pes et al., 2017) mostra indícios de alterações na frequência de ocorrência com base na avaliação de dados de mais de 50 anos para diversos aeroportos do Brasil.

Um caso recente de danos estruturais causados por vento extremo ocorreu no parque eólico de Cerro Chato, em Santana do Livramento, no Rio Grande do Sul, no dia 20 de dezembro de 2014 em que ventos com velocidade em torno de  $29 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ou  $106 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  (Figura 1.a) medidos a 10 metros de altitude causaram danos ao parque eólico. A ocorrência desse caso de vento extremo causou a perda total de oito aerogeradores de 2 kW (Figura 1.b). A operação comercial dos EOLs Cerro Chato IV, V e VI e da EOL Cerro dos Trindade foi suspensa pela ANEEL (Diário Oficial da União 5 de outubro de 2015, Seção 1, pag. 700) e 54 MW de potência deixaram de ser fornecidos a rede.



**Figura 1.** (a) – Velocidade de rajada do vento obtidas da PCD do INMET localizada no município de Dom Pedrito a aproximadamente 80 km de distância. As imagens de

radar foram obtidas do Radar de Santiago (RS) pertencente ao DECEA; (b) Turbinas eólicas do Parque Eólico de Cerro Chato, no município de Santana do Livramento (RS), destruídas após o vento atingir a velocidade de aproximadamente 29 m/s ocorridas entre as 19 e 21 horas do dia 20 de dezembro de 2014. Fotos: Marcelo Pinto, Jornal A Plateia. Disponível em: <<http://fotospublicas.com/temporal-causa-estragos-no-parque-eolico-de-santana-livramento-no-rio-grande-sul/>>. Acesso em: 15/01/2015.

Dessa forma, o fator motivador deste projeto é que o Brasil não possui um mapeamento das áreas de maior risco de ocorrência de ventos extremos. Com isso, o projeto visa fazer o mapeamento de ventos extremos a fim gerar informações que contribuam para o planejamento dos atuais e futuros investimentos em Linhas de Transmissão, no Brasil e, em especial, Santa Catarina. Com a informação dos máximos de vento que ocorrem no local, o investidor pode dimensionar seu investimento e determinar, por exemplo, a carga que este recebe mediante a ocorrência desses extremos, estimando a fadiga estrutural das linhas de transmissão. Além disso, essas informações podem também auxiliar o planejamento e operação de setores como o de distribuição de energia elétrica, energia eólica, aviação e construção civil.

Conhecer o regime de ventos extremos é um dos fatores a serem estudados identificando a magnitude e frequência com que esses eventos ocorrem. Identificar as características dos ventos extremos possibilita aos tomadores de decisão e administradores das linhas de transmissão mais subsídio para o planejamento de infraestruturas. Além disso, os ventos extremos têm grande influência sobre o despacho de carga na rede de distribuição elétrica, já que os ventos regulam a temperatura dos fios das linhas de alta-tensão. Além disso, existem outras áreas de aplicações que dependem dessas informações, tais como engenharia civil, agricultura, aeroportos, defesa civil entre outras (DUKES; PALUTIKOF, 1995; GONÇALVES, 2007).

## 1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é estudar a ocorrência de ventos extremos máximos e mínimos próximos à superfície, utilizando séries climatológicas de dados de vento observados, e as projeções derivadas de modelos climáticos para identificar as características dos ventos extremos em Santa Catarina, região do Brasil, e os fatores climáticos e meteorológicos associados aos mesmos, a fim de gerar conhecimento que auxilie no planejamento de projetos em linhas de transmissão.

O objetivo deste Termo de Referência é um estudo de análise de tendência quanto a frequência de ocorrência de eventos extremos de velocidades de vento que possam causar impactos em uma infraestrutura de linha de transmissão em Santa Catarina, a ser definida pela Eletrosul. Adicionalmente, objetiva a análise de tendência na frequência de ocorrência de eventos combinados de calma e altas temperaturas, os quais limitam a capacidade de despacho das linhas de transmissão.

Serão utilizados métodos numéricos para a geração dessas informações de modo confiável sobre a ocorrência de eventos extremos de velocidade de vento no território do Estado de Santa Catarina, tomando como ponto de partida as projeções climáticas produzidas com uso de modelos climáticos globais e regionalizados sobre o Brasil, especificamente regionalizados pelo modelo Eta-20km (forçado pelos modelos globais HadGEM2-ES, MIROC5 e CanESM), Eta-5km-SC (forçado pelos modelos globais HadGEM2-ES) e HadRM3P-25km (UK Met. Office).

## 1.2 Atividades

Este trabalho envolve as seguintes etapas de execução:

- Obtenção dos valores extremos máximos de vento para períodos de retorno de 25 e 50 anos a partir de séries temporais de aeroportos (METAR) e do INMET, representativos para o estado de Santa Catarina;
- Obtenção dos valores de frequência de ocorrência de eventos combinados de calmaria e altas temperaturas para o território de Santa Catarina a partir das séries temporais provenientes de estações de superfície do INMET e/ou EPAGRI;
- Obtenção dos mapas de valores extremos de vento para períodos de retorno de 25 e 50 anos para o território de Santa Catarina a partir das séries temporais provenientes de rodadas históricas dos modelos climáticos regionais Eta-CPTEC e HadRM3P.
- Obtenção dos mapas de frequência de ocorrência de eventos combinados de calmaria e altas temperaturas para o território de Santa Catarina a partir das séries temporais provenientes de rodadas históricas dos modelos climáticos regionais Eta-CPTEC e HadRM3P.
- Comparação entre os períodos de retorno observados e modelados a partir das rodadas históricas. Conforme necessário, podem-se adotar métodos de correção dos parâmetros das distribuições de vento modeladas (fator de forma e escala de Weibull) de modo a prover maior consistência à quantificação do impacto futuro. No caso dos eventos combinados de calmaria e altas temperaturas um outro tipo de ajuste estatístico será necessário uma vez que se trata de uma distribuição discreta.
- Cálculo da fração de risco atribuível através do índice FAR (*fraction attributable risk*) conforme (HERRING et al., 2018; STOTT et al., 2016) referente a alteração na frequência de eventos extremos e episódios combinados de calmarias e altas temperaturas em cenários futuros.
- Geração de mapas de alteração de risco (índice FAR), para as projeções, associado à ocorrência de eventos extremos de vento

para períodos de retorno de 25 e 50 anos e episódios combinados de calmarias e altas temperaturas para o estado de Santa Catarina.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Importância dos Ventos Extremos

O número de trabalhos acadêmicos que abordam o tema ventos extremos no Brasil é bastante escasso, principalmente ao compararmos com as publicações internacionais. Publicações recentes de (DE OLIVEIRA et al., 2011; GONÇALVES, 2007; PES et al., 2017; SILVA, 2013) estudaram os ventos extremos no Brasil.

(GONÇALVES, 2007) realizou a análise de frequência regional de ventos extremos para o estado do Paraná utilizando dados de velocidade do vento provenientes do radar meteorológico do Instituto Tecnológico SIMEPAR e das 37 (trinta e sete) estações meteorológicas operadas pelo SIMEPAR com séries históricas de até nove anos.

(DE OLIVEIRA et al., 2011) estudou a distribuição dos ventos extremos na América do Sul sobre o oceano Atlântico utilizando dados de reanálise do *National Centers for Environmental Prediction* – NCEP e do *National Center for Atmospheric Research* – NCAR e obteve como resultado os parâmetros da distribuição estatística do vento e o período de retorno para aquela região. As series climatológicas utilizadas compreendem o período de climatológico de 32 anos (1975–2006).

(SILVA, 2013), também estudou os ventos extremos na zona costeira brasileira voltada a atividade petrolífera, portuária e pesqueira utilizando dados de reanálise e o modelo de mesoescala BRAMS.

O trabalho publicado por (LARSÉN; KRUGER, 2014) desenvolveu uma metodologia para o estudo de ventos extremos para o setor de energia eólica. Os autores testaram três metodologias: método de *downscaling* dinâmico, dividido em: 1- método seletivo dinâmico e 2 - método dinâmico estatístico; 3 - método de modelo estatístico.

No método seletivo dinâmico, identificam-se as tempestades ocorridas dentro da base de dados de reanálise (NCPE/NCAR) utilizando-se as variáveis vento a 10 metros. As tempestades foram simuladas utilizando o modelo de mesoescala WRF usando como condições de contorno a reanálise *NCEP Final Analysis* (NFL) e como pós-processamento, as saídas do modelo WRF foram preparadas para alimentar o modelo de microescala WAsP para corrigir os efeitos de topografia e rugosidade da superfície para cada caso de tempestade.

(PES et al., 2017) examinou futuros cenários de ventos extremos no Brasil aplicando técnicas de análise de tendências em uma série histórica de 50 anos de velocidade observacional do vento a 10 m de altura no Brasil. Utilizando técnicas de análise de agrupamentos foi possível caracterizar seis principais regiões com similaridades macro climáticas. Depois de avaliar a distribuição de frequência da velocidade do vento, o melhor resultado para a distribuição de frequência da velocidade máxima do vento é o modelo de Gumbel. A análise das tendências climáticas realizada pelo teste de Mann-Kendall revelou que em séries mínimas de velocidade do vento não é conclusivo, pois apresenta resultados díspares entre regiões homogêneas. Por outro lado, a análise das tendências climáticas da velocidade máxima do vento apresenta 100% de tendências positivas no Grupo 1, um número igual de estações com tendências não significativas e tendências positivas para o Grupo 2, 36,8% mais estações com tendências positivas do que negativas para o Grupo 3 e 20% das estações com tendências mais negativas do que as estações com tendências positivas para o Grupo 4. Dessa forma, com

base nesses resultados, é possível afirmar que há um aumento no vento extremo máximo no Brasil, principalmente em latitudes médias.

Eventos raros ou extremos têm grande relevância na climatologia e suas estimativas probabilísticas são imprescindíveis para o planejamento e desenvolvimento das atividades sujeitas aos seus efeitos adversos, especialmente estruturas de engenharia civil e agricultura (KATZ; PARLANGE; NAVEAU, 2002; SANSIGOLO, 2008).

Em termos meteorológicos ou climatológicos, grandes desvios de um estado climático moderado ocorrem em escalas que podem variar desde dias até milênios. Mais importantes para as atividades humanas, entretanto, talvez sejam os eventos extremos em curto prazo (relacionados à meteorologia) e em médio prazo (relacionados ao clima), devido a seu potencial de impactos significativos. Os eventos climáticos e meteorológicos extremos também são um aspecto integrante da variabilidade climática, e sua frequência e intensidade podem variar de acordo com a mudança climática (PINTO, 2012).

De acordo com o 4º Relatório do IPCC – *Intergovernmental Panel Climate Change*, um evento extremo é um evento raro em um determinado lugar e época do ano. Por definição, as características do que é chamado extremos climáticos podem variar de lugar para lugar em um sentido absoluto. Quando um padrão de clima extremo persiste por algum tempo, como uma temporada, pode ser classificado como um evento climático extremo, especialmente se ele produz uma média ou total, que é em si extremo (e.g. seca, ou chuvas fortes ao longo de um período).

Casos de ventos extremos podem ser originados a partir de sistemas meteorológicos com diferentes características, principalmente os sistemas meteorológicos convectivos de mesoescala e de grande

escala. Os sistemas convectivos de mesoescala produzem ventos fortes com curta duração sobre regiões com escalas inferiores a 10 km, enquanto os sistemas convectivos de grande escala atuam sobre regiões maiores que 50 km. Além disso, características de vegetação e relevo podem acentuar os efeitos desses sistemas (GONÇALVES, 2007).

A Organização Meteorológica Mundial adota a escala de vento de Beaufort (Tabela 1) para associar a velocidade do vento a fenômenos meteorológicos. Essa escala foi sugerida por Francis Beaufort em 1805, para associar a agitação das águas do mar à velocidade do vento, e posteriormente foi adaptada para o vento no continente.

**Tabela 1.** Escala de vento de Beaufort.

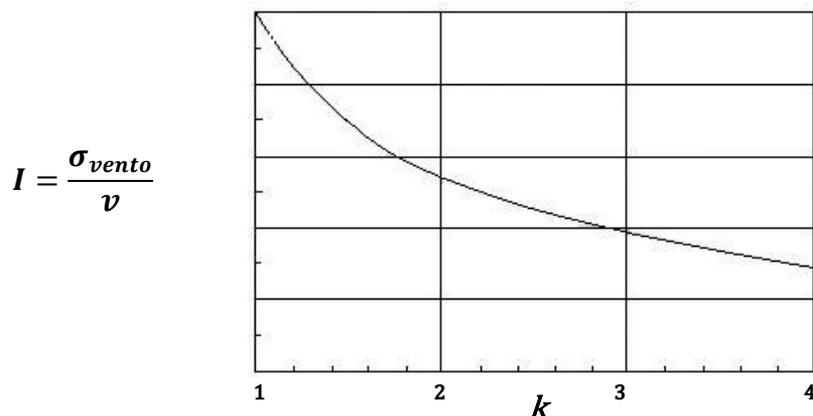
<b>Escala de Beaufort</b>	<b>Velocidade média do vento</b> <i>ms<sup>-1</sup></i>	<b>Limites da velocidade do vento</b> <i>ms<sup>-1</sup></i>	<b>Termo descritivo do vento</b>
<b>0</b>	0	<b>&lt; 1</b>	Calmaria
<b>1</b>	1	<b>1-2</b>	Aragem
<b>2</b>	3	<b>2-3</b>	Brisa leve
<b>3</b>	5	<b>4-5</b>	Brisa fraca
<b>4</b>	7	<b>6-8</b>	Brisa moderada
<b>5</b>	10	<b>9-11</b>	Brisa fresca
<b>6</b>	12	<b>11-14</b>	Brisa forte
<b>7</b>	15	<b>14-17</b>	Ventania fraca
<b>8</b>	19	<b>17-21</b>	Ventania
<b>9</b>	23	<b>21-24</b>	Ventania severa
<b>10</b>	27	<b>25-28</b>	Tempestade
<b>11</b>	31	<b>29-32</b>	Tempestade violenta
<b>12</b>	-	<b>33+</b>	Furacão

Fonte: Adaptado de Met Office. Disponível em: <http://www.metoffice.gov.uk/weather/marine/guide/beaufortscale.html>

A velocidade do vento influencia no despacho de carga das linhas de transmissão, uma vez que, ele contribui para regular a temperatura das redes.

Na distribuição de Weibull, o fator  $k$  determina a forma da curva da distribuição. Na geração eólica, por exemplo, quanto maior o fator  $k$ , maior é o aproveitamento das turbinas eólicas. No que tange a variação

da magnitude do vento, esta apresenta comportamento inversamente proporcional ao fator  $k$ , que determina a forma da curva do histograma de distribuição de frequência da velocidade do vento. Quanto menores as variações na velocidade do vento, menor é o desvio padrão e a turbulência, e dessa forma o gráfico de distribuição de frequência é mais concentrado e maior é o valor de  $k$  (Figura 2).



**Figura 2.** Relação entre a intensidade da turbulência  $I$ , da velocidade do vento e o parâmetro de forma  $k$  da função de Weibull. O termo  $\sigma_{vento}$  representa o desvio padrão da velocidade do vento. Fonte: Adaptado de (GASCH; TWELE, 2012).

Dessa forma, a ocorrência de ventos extremos causa maior variação da velocidade do vento em torno da sua média, e altera o valor de  $k$ . Podemos definir evento extremo como sendo uma ocorrência que apresenta uma incidência rara, se distanciando da média, variando em sua magnitude.

### 3. MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1 Metodologia

Para o estudo de ventos extremos, serão utilizadas séries climatológicas de vento em superfície ao nível de 10 metros de altura, com séries históricas de dados superiores a trinta anos, no aeroporto de Florianópolis, bem como estações meteorológica no Instituto Nacional de

Meteorologia – INMET e da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – Epagri (se disponível).

A proposta desse trabalho está dividida em quatro partes distintas, sendo a primeira o estudo detalhado dos ventos extremos em superfície a partir de dados observados, incluindo a qualificação dos dados de estações, correção das séries históricas utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov, análise de tendências das séries climatológicas, aplicação dos testes de distribuição de probabilidade de ventos extremos e análise da variação de frequência dos ventos, ou seja, tabela de estações contendo valores extremos de vento para períodos de retorno de 25 e 50 anos obtidos a partir de observações em superfícies. O algoritmo de qualificação dos dados observacionais empregado é o mesmo utilizado pelo Projeto SONDA – Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais, coordenado pelo Centro de Ciências do Sistema Terrestre – CCST/INPE. Para estudar as tendências climáticas nas séries de dados, ou seja, buscar identificar nas longas séries de dados aumentos ou diminuições da velocidade do vento, o que poderia identificar tendências relativas às mudanças climáticas, confirmando o que alguns modelos climáticos vêm apontando, será utilizado um teste não paramétrico denominado Teste de Kendall (SNEYERS, 1990). Este teste é o mais adequado para identificar mudanças climáticas a partir de séries observacionais (GOOSSENS; BERGER, 1986). Após realizar o estudo de tendência das séries, será feita a análise das distribuições de probabilidade de ventos extremos. Para isso, serão utilizadas as distribuições GEV, Gumbel e Weibull escolhidas com base nas bibliografias consultadas.

A segunda etapa consiste em corrigir o modelo Eta-HadGEM2 para o período baseline (1961-2005) que foi rodado com as condições de contorno do modelo global inglês HadGEM2, utilizando os dados observados. Serão gerados mapas contendo valores extremos de vento

para o período de retorno de 25 e 50 anos obtidos a partir de rodadas históricas do modelo Eta-CPTEC corrigidas por observações de superfície. Na terceira etapa, serão aplicadas as técnicas estatísticas obtidas na primeira etapa para os cenários futuros de vento, obtendo assim séries futuras para cada uma das estações em particular, e mapas de tendência e frequência de vento, ou seja, análise dos resultados da aplicação dos valores extremos de vento para períodos de retorno de 25 e 50 anos para cenários futuros e mapas de alterações de risco futuro (índice FAR) para o Estado de Santa Catarina. Após esse processamento, serão identificadas as variáveis do modelo que estão associadas aos períodos em que ocorreram ventos extremos nos dados observados, para entender qual será a frequência com que esses ventos extremos tendem a ocorrer no clima futuro.

Na última etapa, será realizada a análise dos resultados da aplicação dos dados e mapas que contêm os valores alteração de risco (índice FAR) associado à ocorrência de episódios combinados de calmarias e altas temperaturas para o estado de Santa Catarina, oriundas das projeções climáticas (Eta-CPTEC e/ou HadRM3P) corrigidas por observações de superfície.

#### 4. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

**Tabela 2.** Cronograma de atividades para o projeto. Um cronograma mais detalhado encontra-se no arquivo “Modelo\_cronograma\_francisco.xlsx” enviado junto com o plano de trabalho.

Descrição do produto/ serviço	Estimativa de dias de trabalho	Prazo de entrega	Formato do documento
<b>Produto 2:</b> Relatório contendo a base de dados com as tabelas de estações e os valores extremos de vento para períodos de retorno de 25 e 50 anos obtidos a partir observações de superfície em aeroportos, estações INMET e EPAGRI (se disponíveis).	40	30.11.2018	Relatório em formato doc/docx. Tabela de estações contendo os ventos extremos observados para períodos de retorno de 25 a 50 anos.
<b>Produto 3:</b> Relatório contendo a análise dos resultados provenientes dos valores extremos de vento para períodos de retorno de 25 e 50 anos obtidos a partir de rodadas históricas de modelos climáticos regionalizados (Eta-CPTEC e/ou HadRM3P) corrigidas por observações de superfície.	40	30.01.2019	Relatório em formato doc/docx. Mapas em formato shape e netcdf com resolução de 20 ou 25 km contendo as variáveis de interesse.
<b>Produto 4:</b> Relatório contendo a análise dos resultados da aplicação dos valores extremos de vento para períodos de retorno de 25 e 50 anos para cenários futuros (Eta-CPTEC e/ou HadRM3P) e mapas de alteração de risco futuro (índice FAR) associado a estes eventos para o estado de Santa Catarina.	40	25.03.2019	Mapas em formato shape ou netcdf com resolução de 20 ou 25 km contendo as variáveis de interesse.
<b>Produto 5:</b> Relatório contendo a análise dos resultados da aplicação dos dados e mapas que contêm os valores alteração de risco (índice FAR) associado à ocorrência episódios combinados de calmarias e altas temperaturas para o estado de Santa Catarina oriundas das projeções climáticas (Eta-CPTEC e/ou HadRM3P) corrigidas por observações de superfície.	40	30.05.2019	Relatório em formato doc/docx. Mapas em formato shape ou netcdf com resolução de 20 ou 25 km contendo as variáveis de interesse.
<b>Total de dias de trabalho</b>	165		

#### 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversos trabalhos baseados em modelos climáticos vêm apontando mudanças climáticas no regime dos ventos em diferentes regiões do planeta em detrimento das mudanças climáticas. Dessa forma, é importante para o setor de infraestruturas conhecer a tendência dos regimes de ventos no futuro. Além disso, o Brasil não possui um estudo

mais detalhado sobre o regime de ventos extremos atuais e futuro e sobre seus efeitos ao setor de energia.

Portanto, a presente proposta visa estudar os ventos extremos a partir de dados observados em superfície distribuídos ao longo de todo o território brasileiro e dados de modelo climático Eta-HadGEM2. Para as análises serão utilizados diferentes métodos estatísticos visando identificar a distribuição dos ventos extremos, análise de tendência nas séries climáticas, estudo da frequência dos ventos extremos e ajuste dos dados de modelo. O intuito desse trabalho é gerar um conhecimento que até então não está disponível para o planejamento de infraestrutura e tomadores de decisão na área de energia no Estado de Santa Catarina.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DE OLIVEIRA, M. M. F. et al. Generalized extreme wind speed distributions in South America over the Atlantic Ocean region. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 104, n. 3–4, p. 377–385, 2011.
- DUKES, M. D. G.; PALUTIKOF, J. P. **Estimation of Extreme Wind Speeds with Very Long Return Periods** *Journal of Applied Meteorology*, 1995.
- GASCH, R.; TWELE, J. **Wind Power Plants**. [s.l.: s.n.].
- GILLILAND, J. M.; KEIM, B. D. Surface wind speed: trend and climatology of Brazil from 1980–2014. **International Journal of Climatology**, 2018.
- GONÇALVES, R. C. **Análise de Frequência Regional de Ventos Extremos no Paraná**. [s.l.: s.n.].
- GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**, v. 4, n. 4, p. 385, 1986.
- HERRING, S. C. et al. Explaining Extreme Events of 2016 from a Climate Perspective. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 2018.
- KATZ, R. W.; PARLANGE, M. B.; NAVEAU, P. Statistics of extremes in hydrology. **Advances in Water Resources**, 2002.
- LARSÉN, X. G.; WIND, D. T. U. WP5 Extreme Winds : Calculating the extreme winds Why do we need to know the extreme wind ? n. April, 2014.
- MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. Enhancing information for solar and wind energy technology deployment in Brazil. **Energy Policy**, v. 39, n. 7, p. 4378–4390, 2011.
- NBR 6123. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 1988.
- PES, M. P. et al. Climate trends on the extreme winds in Brazil. **Renewable Energy**, v. 109, p. 110–120, 2017.
- PINTO, H. S. Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. **Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável**, 2012.
- SANSIGOLO, C. A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917-2006). **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2008.
- SILVA, N. P. Extremos de Vento Sobre o Oeste do Oceano Atlântico Sul: Análise Direcional das Ocorrências. 2013.

SNEYERS, R. **On the statistical analysis of series of observations**. [s.l.] Secretariat of the World Meteorological Organization, 1990.

STOTT, P. A. et al. Attribution of extreme weather and climate-related events. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 7, n. 1, p. 23–41, 2016.