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

Relatório 2/5 - Tabelas das Estações com os Ventos Extremos dos Parâmetros das Distribuições de Frequência e Período de Retorno de 25 e 50 Anos

Francisco Lima

Por ordem do Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear da República Federal da Alemanha
Por meio da giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
INPE
DEFESA CIVIL SANTA CATARINA
Eletrobras Eletrosul
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
PÁTRIA AMADA BRASIL GOVERNO FEDERAL

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 Madruga

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 Maffezzolli
Márcio 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
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

Brasília, Janeiro de 2020

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS 2

LISTA DE TABELAS 4

1. INTRODUÇÃO 6

1.1. Objetivos 7

1.2. Atividades 8

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 8

2.1. Importância dos Ventos Extremos 8

3. MATERIAL E MÉTODO 10

3.1. Metodologia 10

3.2. Área de Estudo e Dados Observacionais 11

3.3. Controle de Qualidade dos Dados 13

3.4. Distribuição de Probabilidade de Frequência das Séries de Vento Máximo 16

3.4.1. Distribuição de Gumbel 17

3.4.2. Distribuição GEV 18

3.4.3. Distribuição Weibull 20

3.5. Período de Retorno – T 21

3.6. Análise de Tendência - Teste de Kendall 22

4. RESULTADOS 25

4.1. Resultado da Qualificação dos Dados Observados 25

4.2. Resultados Distribuição de Frequência 28

4.3. Resultados do Período de retorno – T 37

4.4. Resultado do Teste de Tendência para as Estações com mais de 30 anos de dados. 41

5. CONCLUSÕES 43

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudo e a localização das estações automáticas do INMET e METAR. 13

Figura 2. Fluxograma representativo do algoritmo empregado para qualificação dos dados de direção e velocidade do vento. 16

Figura 3. Representação do resultado da qualificação das séries temporais de velocidade do vento, a 10m de altura, de 9 estações meteorológicas do METAR. As barras azuis correspondem ao total de dados submetidos ao código de qualificação e as barras vermelhas correspondem aos dados sinalizados como suspeitos..... 27

Figura 4. Representação do resultado da qualificação das séries temporais de velocidade do vento, a 10m de altura, de 18 estações meteorológicas do INMET. As barras azuis correspondem ao total de dados submetidos ao código de qualificação e as barras vermelhas correspondem aos dados sinalizados como suspeitos..... 28

Figura 5. Distribuições de Weibull, GEV e Gumbel ajustada para a velocidade do vento observado a 10m de altura (Estações do METAR)..... 29

Figura 6. Distribuições de Weibull, GEV e Gumbel ajustada para a velocidade do vento observado a 10m de altura (Estações do INMET). 31

Figura 7. Distribuições de Weibull, GEV e Gumbel ajustada para a rajada do vento observado a 10m de altura (Estações do INMET). 31

Figura 8. Distribuições de Weibull, GEV e Gumbel ajustada para a velocidade do vento, máximo diário, observado a 10m de altura (Estações do METAR). 33

Figura 9. Distribuições de Weibull, GEV e Gumbel ajustada para a velocidade do vento, máximos diários, observado a 10m de altura (Estações do INMET). 35

Figura 10. Distribuições de Weibull, GEV e Gumbel ajustada para a rajada do vento, máximo diários, observado a 10m de altura (Estações do INMET). 35

Figura 11. Período de retorno da velocidade máxima anual do vento (METAR). 37

Figura 12. Período de retorno da velocidade máxima anual do vento (INMET). 38

Figura 13. Período de retorno da rajada máxima anual do vento (INMET)..... 40

Figura 14. Variabilidade dos valores máximos anuais de velocidade do vento (m/s) para as estações de SBCT, SBFL, SBLO, SBPA e SBSM, apresentando o valor máximo anual, a inclinação e magnitude da tendência pelo método Sen, significância estatística pelo teste de Mann-Kendall. 42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Escala de vento de Beaufort. 10

Tabela 2. Localização das estações do METAR e INMET e período de aquisição dos dados. As estações de SBCT, SBFL, SBLO, SBPA e SBSM os dados anteriores a 1999 são oriundos do DECEA. 26

Tabela 3. Valores dos parâmetros de distribuição, GEV, WEIBULL e GUMBEL das séries temporais de velocidade horária do vento a 10m, onde k é o parâmetro de forma, β é o parâmetro de escala, a é o parâmetro de posição. 30

Tabela 4. Valores dos parâmetros de distribuição, GEV, WEIBULL e GUMBEL das séries temporais de velocidade horária do vento a 10m, onde k é o parâmetro de forma, β é o parâmetro de escala, a é o parâmetro de posição. 32

Tabela 5. Valores dos parâmetros de distribuição, GEV, WEIBULL e GUMBEL das séries temporais horárias de rajada do vento a 10m, onde k é o parâmetro de forma, β é o parâmetro de escala, a é o parâmetro de posição. 32

Tabela 6. Valores dos parâmetros de distribuição, GEV, WEIBULL e GUMBEL das séries temporais de velocidade máxima diária do vento a 10m, onde k é o parâmetro de forma, β é o parâmetro de escala, a é o parâmetro de posição..... 34

Tabela 7. Valores dos parâmetros de distribuição, GEV, WEIBULL e GUMBEL das séries temporais de velocidade máxima diária do vento a 10m, onde k é o parâmetro de forma, β é o parâmetro de escala, a é o parâmetro de posição..... 35

Tabela 8. Valores dos parâmetros de distribuição, GEV, WEIBULL e GUMBEL das séries temporais de rajada máxima diária do vento a 10m, onde k é o parâmetro de forma, β é o parâmetro de escala, a é o parâmetro de posição. 36

Tabela 9. Período de retorno da velocidade máxima anual do vento.....38

Tabela 10. Período de retorno da rajada máxima anual do vento (INMET).....39

Tabela 11. Período de retorno da rajada máxima anual do vento (INMET).....41

1. INTRODUÇÃO

Eventos extremos são parte integrante da variabilidade climática. As 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. Dentre estes impactos, eventos extremos de vento causam prejuízos diversos à sociedade, tais como destelhamentos, danos a coberturas, prédios, pontes, queda de árvores e eventualmente até mesmo as 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. A rajada do vento é o valor máximo de vento com duração mínima de 3s, porém é feito a média móvel a cada 10 minutos, sendo que os dados disponibilizados pelos INMET são as medias horarias (METEREOLOGIA, 2011). Por se tratar de uma variável que representa um extremo de uma distribuição de probabilidades, torna-se muito suscetível a variações devido a alterações do clima. Se considerarmos, ainda, que as isopletas de velocidade básica do vento foram definidas na década de 70 e 80, onde as séries de dados de vento eram mais escassas e espaçadas entre si, fica evidente a importância que eventuais serviços climáticos de quantificação de período de retorno de ventos extremos podem representar neste campo.

Quantificar o risco futuro que ventos extremos podem ocasionar ao setor de energia, especificamente sobre linhas de transmissão, no caso linhas de transmissão da Eletrosul, passa a 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) mostram indícios de alterações na frequência de ocorrência com base na avaliação de dados de mais de 50 anos para diversos aeroportos do Brasil.

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, identificando a magnitude e frequência com que esses eventos ocorrem é um dos fatores a serem estudados. 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, 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 produto é investigar a frequência de ventos extremos máximos próximos à superfície, utilizando séries históricas de ventos observados em estações meteorológicas, no estado de Santa Catarina,

região Sul do Brasil, a fim de gerar conhecimento que auxilie no planejamento de projetos em linhas de transmissão no estado.

1.2. Atividades

Este relatório envolve as seguintes etapas de execução:

- Obtenção, manipulação e qualificação dos dados observados;
- Calculo dos parâmetros das distribuições de frequências a partir dos dados observados do *Meteorological Aerodrome Report* - METAR e Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Os dados do METAR incluem a base pública divulgada pela ICAO (International Civil Aviation Organization) complementadas por parâmetros extraídos da base climatológica do Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA gerados no âmbito de cooperação técnica conforme resultados descritos em (PES, 2015);
- 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.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Importância dos Ventos Extremos

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, 2008a).

Em termos meteorológicos ou climatológicos, grandes desvios de um estado de tempo ou clima 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 4° Relatório do IPCC – *Intergovernamental 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.

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

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

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Metodologia

Para o estudo de ventos extremos serão utilizadas séries históricas de vento em superfície ao nível de 10 metros de altura, com período de dados superiores a trinta anos. Isto inclui o aeroporto de Florianópolis, e em alguns aeroportos próximos, bem como algumas estações meteorológicas no Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

Este produto constitui a primeira parte desse trabalho, e trata do estudo detalhado dos ventos extremos em superfície a partir de dados observados, incluindo a qualificação dos dados de estações, as análises de tendências das séries históricas, a aplicação das distribuições de probabilidade de ventos extremos e análise da variação de frequência

dos ventos. Os resultados serão resumidos na forma de 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 Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais - SONDA, coordenado pelo Centro de Ciência do Sistema Terrestre – CCST/INPE. Foi realizada a análise das distribuições de probabilidade de ventos extremos a partir das distribuições GEV, Gumbel e Weibull escolhidas com base nas bibliografias consultadas.

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).

3.2. Área de Estudo e Dados Observacionais

Na região Sul e Sudeste o regime dos ventos próximos a superfície é influenciado pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), pela entrada de massas de ar e a Depressão do Nordeste da Argentina – um centro de baixa pressão a leste dos Andes. As variações de mesoescala e microescala que ocorrem em função das propriedades da superfície podem influenciar nos perfis de vento, criando condições de ventos locais que podem diferir significativamente do perfil de larga escala da circulação atmosférica (COMPAGNUCCI; SALLES, 1997; MINISTÉRIO DE MINAS ENERGIA, 2001).

Parte dos dados utilizados neste trabalho serão observações médias horárias de velocidade do vento e rajada do vento para um período de nove anos, compreendendo janeiro de 2009 a dezembro de 2017, coletados em estações meteorológicas automáticas operadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Estas estações dispõem de sensores para medição de parâmetros meteorológicos como pressão atmosférica, temperatura, precipitação, radiação solar, entre outras. A localização das estações utilizadas pode ser verificada na Figura 1.

Uma outra fonte de dados observacionais utilizados nesse produto são os dados pertencentes ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). Como mencionado anteriormente uma parte desses dados ainda é inédita, pois estavam arquivados em fichas meteorológicas de papel sendo digitalizados recentemente. Contudo, os dados foram obtidos por meio de um longo processo de negociação através de uma parceria de cooperação técnico-científica entre o DECEA e o INPE. Dessa forma, apenas os produtos/resultados gerados poderão ser disponibilizados para fins científicos.

Os dados do DECEA são dados coletados em aeródromos nacionais e internacionais distribuídos no território brasileiro (Figura 1). Porém neste trabalho serão utilizados dados do SBFL, localizado em Florianópolis, e as estações de SBLO, SBCT, SBPA e SBSM, que apesar de não estarem localizados no estações de Santa Catarina, tendem a apresentar semelhança em virtude da proximidade com a região e desta forma podem contribuir com os resultados. As demais estações como SBJV, SBNF, SBCH e SBFI foram adquiridas diretamente do banco de dados do CPTEC/INPE e tem um período, no máximo, de 1999 a 2017 e são oriundas da base pública do METAR. As séries históricas de dados do DECEA são superiores a trinta anos (registros de aeródromos entre os anos de 1951 e 2017), com resoluções temporais que variam de uma a três horas.

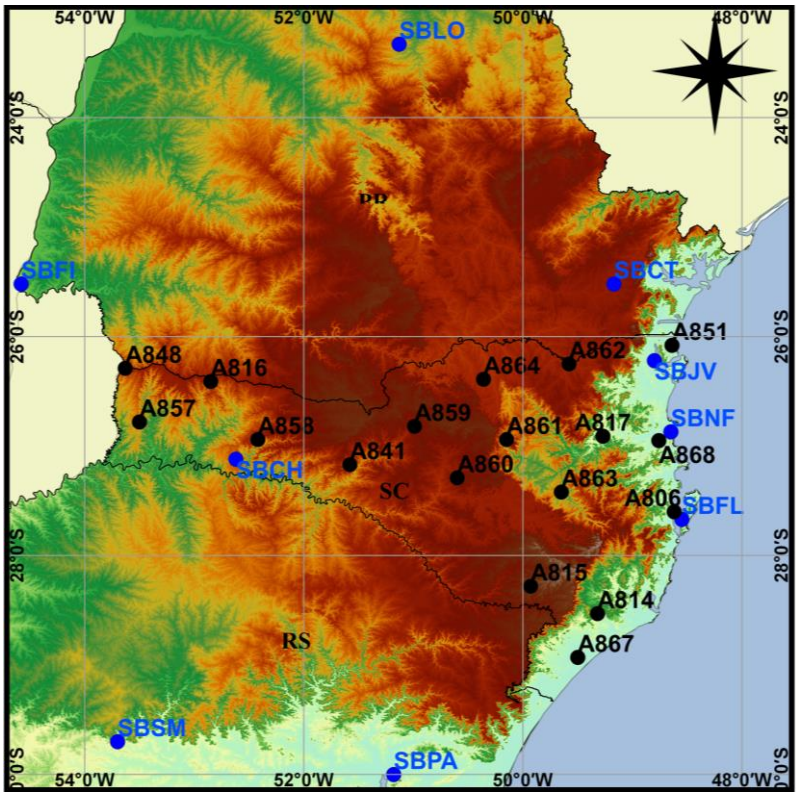

Figura 1. Área de estudo e a localização das estações automáticas do INMET e METAR.

3.3. Controle de Qualidade dos Dados

O primeiro passo deste relatório é o controle de qualidade dos dados de direção e velocidade dos ventos das estações utilizadas. Esse controle é necessário a fim de minimizar a possibilidade de análises tendenciosas devido à baixa confiabilidade dos dados.

O processo de controle de qualidade consiste em sinalizar e retirar dados duvidosos, de acordo com os critérios adaptados da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos e disponíveis via WebMET – *The Meteorological Resource Center*. Este controle consiste em testes de intervalo, testes de relação e testes de tendência, e possui os seguintes critérios de avaliação:

a) Testes de Intervalo

A velocidade do vento deve ser maior que zero m/s e menor que 25 m/s;

- Teste de intervalo de desvio padrão da velocidade do vento

O desvio padrão deve ser maior que zero m/s e menor que 3 m/s;

- Rajada máxima - Velocidade do vento

A velocidade da rajada máxima deve ser maior que o *offset* (sinal de saída do equipamento quando todos os sinais de entrada são iguais à zero) do equipamento e menor que 30 m/s. Por não haver informações sobre os *offsets* dos equipamentos nos aeródromos, considerou-se o *offset* igual à zero. Este critério procura por valores de rajada fora do intervalo aceitável de rajada máxima do vento.

- Teste de intervalo da direção do vento

O valor em graus da direção do vento deve ser maior que 0° e menor que 360°;

- Teste do intervalo de desvio padrão da direção do vento

O intervalo de desvio padrão da direção do vento deve ser maior que 3° e menor que 75°. Calcula o desvio padrão da direção do vento da série e compara com cada amostra horária;

b) Testes de relação

Se o valor da velocidade do vento for maior que zero, então o valor da rajada máxima deve ser maior que zero e vice-versa;
A velocidade do vento para um mesmo momento deve ser menor que a rajada do vento;

- Rajada máxima diária vs. média diária da velocidade do vento

Velocidade da rajada máx. <= 2,5 * média da velocidade do vento;
Velocidade da rajada máx. <= 5 * média da velocidade do vento;

É importante ressaltar que se aplica o teste de relação para os dados de um dia, calculando a média diária e comparando com os valores horários do mesmo dia.
Parte dos testes de relação previstos na qualificação de dados de vento não pôde ser aplicada, pois é necessário ter informações da velocidade e direção do vento em duas ou mais altitudes diferentes para serem relacionadas através da Lei perfil logarítmica ou Lei de Potência.

c) Testes de tendência

- Teste de tendência na variação da velocidade e direção do vento

Variação em 1 hora < 5,0 m/s;

Na Figura 3 está representada a estrutura do teste empregado nas séries históricas de vento utilizadas neste trabalho.

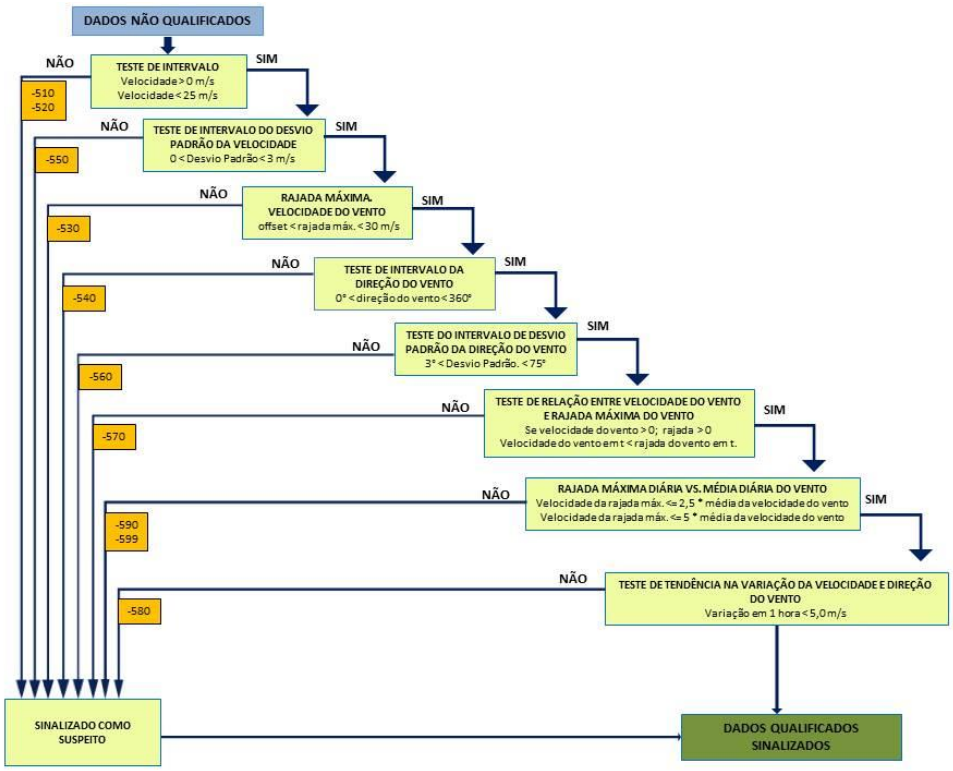

Figura 2. Fluxograma representativo do algoritmo empregado para qualificação dos dados de direção e velocidade do vento.

3.4. Distribuição de Probabilidade de Frequência das Séries de Vento Máximo

A análise de valores extremos é empregada rotineiramente para estudo de enchentes, ciências ambientais, finanças e seguros (REISS; THOMAS, 2007). Diferentes métodos de distribuição de probabilidade de eventos extremos são utilizados atualmente para dados observados e causam discussões entre os estatísticos de qual seria o melhor a ser empregado. No entanto, alguns deles estão bem consolidados na bibliografia e geram resultados satisfatórios quando comparados entre si.

Alguns autores consideram que o método de análise de extremos mais indicado é a distribuição GEV (*Generalized Extreme Value*), que considera três diferentes métodos de distribuição: Gumbel, Fréchet e Weibull. Já Hershfield e Kohler, (1960), analisando os dados de milhares de estações pluviométricas nos Estados Unidos, concluíram que a distribuição de GUMBEL (1954) é a mais adequada para estimar as probabilidades de ocorrência de eventos extremos de precipitação de diversas durações. Há ainda, o trabalho publicado por Sansigolo, (2008) que mostrou que o método de distribuição que mais se ajustou aos dados de vento foi a distribuição de (WEIBULL, 1951).

Dessa forma, com base nas diferentes bibliografias consultadas, serão adotados os três métodos que mais se ajustam ao estudo de ventos extremos para analisar os dados observados das estações meteorológicas do INMET, METAR e DECEA. Usando diferentes testes podemos minimizar os erros de distribuição, tendo em vista que teremos três resultados. Isto possibilita comparar os testes entre si e identificar qual obteve o melhor desempenho.

Para obter as funções de distribuições de probabilidade (PDF), foram usados os modelos de Gumbel, Weibull e GEV. A determinação dos parâmetros das distribuições foi obtida através do método da máxima verossimilhança (REISS; THOMAS, 2007).

3.4.1. Distribuição de Gumbel

A distribuição de Gumbel pode ser descrita como uma função de densidade de probabilidade, da seguinte forma:

$$f(x) = \frac{1}{\beta} e^{-\frac{x-\propto}{\beta}} e^{-e^{-\frac{x-\alpha}{\beta}}} \qquad (01)$$

e a função cumulativa de probabilidade (CDF) é dada por

$$F(x) = e^{-e^{\pm\frac{x-\alpha}{\beta}}} \tag{02}$$

$$X(F) = \alpha - \beta ln(-lnF) \tag{03}$$

onde a e β são os parâmetros de posição e escala, respectivamente. O sinal de mais e menos no segundo expoente é referente aos sinais de máximo (positivo) e mínimo (negativo) dos valores extremos.

3.4.2. Distribuição GEV

A distribuição de probabilidade generalizada de valores extremos (GEV) foi introduzida por (JENKINSON, 1955). Esse método combina os três possíveis tipos de distribuição de valores extremos em uma única forma e vem sendo utilizado para representar a distribuição de valores extremos em diferentes campos, principalmente para modelar uma extensa variedade de extremos naturais, como cheias, chuvas, velocidade do vento, temperaturas e outros extremos (QUEIROZ; CHAUDHRY, 2006).

Segundo SANSIGOLO, (2008a), a teoria GEV - fundamental para a modelagem de eventos extremos - foi desenvolvida por Fisher e Tippett (1928), que definiram os três tipos possíveis de distribuições assintóticas de valores extremos, conhecidas como de Gumbel (Tipo I), Fréchet (Tipo II) e Weibull (Tipo III), casos especiais da Distribuição Generalizada de Valores.

$$F(x) = exp\left[-\left(1 - k\frac{x-\propto}{\beta}\right)^{\frac{1}{k}}\right] \text{ para } k \neq 0 \quad (04)$$

$$F(x) = exp\left[-exp\left(-\frac{x-\propto}{\beta}\right)\right] \text{ para } k \equiv 0 \quad (05)$$

sendo,

$-\infty < x < +\infty, k = 0$ Distribuição tipo I (Gumbel)

$\varepsilon \leq x < +\infty, k < 0$ Distribuição Tipo II (Fréchet)

$-\infty < x \leq \omega, k > 0$ Distribuição Tipo III (Weibull)

A distribuição generalizada de valores extremos (GEV) de três parâmetros: *a* parâmetro de posição com $-\infty < \alpha < +\infty$, β parâmetro de escala com $0 < \beta < +\infty$ e *k* parâmetro de forma com $-\infty < k < +\infty$.

Quando $k > 0$, o limite superior da distribuição assintótica Tipo III torna-se $\omega = \alpha + \frac{\beta}{k}$, e quando $k < 0$ o limite inferior da distribuição assintótica Tipo II torna-se $\varepsilon = \alpha + \frac{\beta}{k}$.

O p-ésimo quantil da distribuição GEV é dado pela seguinte relação, decorrente da Equação 01:

$$X(F) = \alpha + \frac{\beta}{k}\left[1 - \left(-ln(p)\right)^{k}\right], 0 < p < 1 \quad (06)$$

Combinando a distribuição de Gumbel com a sua variável reduzida z (DE QUADROS; DE QUEIROZ; BOAS, 2011), temos:

$$z = \frac{(x-\alpha)}{\beta} \quad (07)$$

Obtendo-se $F(x) = exp[-exp(-z)]$ que resulta na equação:

$$z = ln\left[-ln\left(F(x)\right)\right] \tag{08}$$

Assim a Função 05 pode ser usada para definir z com respeito às distribuições Tipo I, II e III. Em um gráfico de intensidade z *versus* x, pode-se observar o comportamento das três formas de distribuição de valores extremos.

3.4.3. Distribuição Weibull

A distribuição de Weibull é amplamente usada no setor de energia eólica para avaliar a viabilidade do vento na geração de energia elétrica (SANSIGOLO, 2005; VAN DER AUWERA; DE MEYER; MALET, 1980). Essa distribuição fornece dois parâmetros denominados parâmetro de forma *k* e um fator de escala β.

A partir dos dados de velocidade do vento são determinados histogramas expressando as frequências de ocorrência de cada faixa de velocidade. A forma geral para a distribuição de Weibull é a seguinte:

$$f(x) = \frac{k}{\beta}\left(\frac{x}{\beta}\right)^{(k-1)} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{k}} \tag{09}$$

e sua forma como função de densidade de probabilidade acumulada é dada por:

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left\{\frac{(x-\alpha)}{\beta}\right\}^{k}\right],\ \alpha \leq x < \infty \tag{10}$$

O quantil da distribuição de Weibull é dado por:

$$X(F) = \alpha + \beta[-\ln(1-F)]^{\frac{1}{k}} \tag{11}$$

Onde x representa a velocidade do vento. Os fatores de escala β e o de forma *k* são os parâmetros que estão relacionados, respectivamente à velocidade média do vento e à forma da curva (MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2008).

3.5. Período de Retorno – T

Um dos maiores objetivos da análise de valores extremos é a estimativa do período de retorno *T* (REISS; THOMAS, 2007), sendo ele o período de tempo médio em que um determinado evento é igualado ou superado pelo menos uma vez. Esse parâmetro estatístico é empregado no estudo de eventos extremos, amplamente utilizado em hidrologia, principalmente na prevenção de inundações.

A análise de período de retorno é mais interessante se as observações forem feitas em intervalos equidistantes de tempo, como é o caso da meteorologia estatística. Dessa forma, o tempo de retorno são tempos, e para observações anuais, número de anos (GUMBEL, 2004). Seja x um evento e *T* o tempo entre os eventos consecutivos x, o valor médio da variável *T* é denominado período de retorno da variável x.

O período de retorno é determinado através da seguinte função:

$$T(x) = \frac{1}{1-P(x)} \quad (12)$$

Onde *P* é a probabilidade de um valor qualquer de uma variável x ocorrer novamente ou ser superada ao menos uma vez.

3.6. Análise de Tendência - Teste de Kendall

O teste de Kendall é usado em séries históricas foi proposto por (SNEYERS, 1990) para identificar as possíveis tendências climáticas existentes nas séries de dados. O teste de (KENDALL, 1948a) considera que, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (BACK, 2001).

Segundo (GOOSSENS; BERGER, 1986), o teste de Kendall é o método mais apropriado para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas e permite também a detecção e localização aproximada do ponto inicial de determinada tendência.

Em síntese, o teste criado originalmente por (MANN, 1945) e reformulado por (KENDALL, 1948b) consiste em comparar cada valor da série de dados com o número de vezes em que os termos restantes são maiores que o valor analisado. O teste não paramétrico é usado para avaliar a existência de uma tendência monotônica crescente ou decrescente e é o método mais apropriado para analisar alterações climáticas em séries de dados meteorológicos (GOOSSENS; BERGER, 1986). O teste estatístico de Mann-Kendall é determinado da seguinte forma:

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & se \quad S > 0 \\ 0 & se \quad S = 0 \\ \dfrac{S+1}{VAR(S)} & se \quad S < 0 \end{cases} \tag{13}$$

em que,

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} sign(x_j - x_k) \tag{14}$$

onde x_j e x_k são valores (anuais/sazonais/mensais) nos anos *j* e *k* (para *j* > *k*), respectivamente; *n* é o tamanho da série de dados; e a função *sign* é a variância de *S*, denotada por [*VAR(S)*], assume o valor de 1 quando $x_j - x_k > 0$; 0 quando $x_j - x_k = 0$; e -1 quando $x_j - x_k < 0$, e é definida por:

$$VAR(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \tag{15}$$

e quando há repetições de dados, a variância assume a expressão:

$$VAR(S) = \frac{1}{18}[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{g}(t_p - 1)(2t_p + 5)] \tag{16}$$

onde *g* é o número de grupos com dados repetidos e t_p é o número de dados no p-ésimo grupo. Para análise da tendência utiliza-se o valor de Z, no qual, o valor positivo (Z > 0) refere-se a uma tendência crescente e o valor negativo (Z < 0) refere-se a uma tendência decrescente.

Este estudo também estimará a inclinação e magnitude da tendência dos dados observados, utilizando o método não paramétrico de Sen (SEN, 1968; SNEYERS, 1990). Trata-se de um método não-paramétrico que

será utilizado por ser insensível aos valores de *outliers*, provendo uma medida mais realística das tendências em uma série temporal de dados, o que o torna mais rigoroso que a usual regressão linear. O método é determinado por:

$$f(t) = Qt - B \tag{17}$$

onde Q é o valor referente a inclinação da reta e *B* é uma constante.
Para obter a estimativa de inclinação Q, primeiro calculam-se as inclinações de todos os pares de dados, definidos por:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \tag{18}$$

para $j > k$.
Caso a série temporal seja composta por *n* valores x_j, obtêm-se $N=n(n-1)/2$ estimativas de inclinação *Qi*. Deste modo, a inclinação estimada pelo método Sen é a mediana dos valores *N* de *Qi* de forma que a estimativa Sen é dada por:

$Q = Q_{[(N+1)/2]}$, se *N* for impar e

$$Q = \frac{1}{2}(Q_{[N/2]} + Q_{[(N+2)/2]}), \text{ se } N \text{ for par.} \tag{19}$$

Para obter uma estimativa de *B* na Equação 5, são considerados *n* valores da diferença x_i-Q_{ti}. Alguns trabalhos apresentam resultados utilizando os métodos de Mann-Kendall e da estimativa de inclinação Sen (SANTOS et al., 2017; FAN; WANG, [s.d.]; SILVA; DERECZYNSKI, 2014).

4. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados do controle de qualidade dos dados observados, as estações aprovadas no pré-processamento, no teste de qualificação e o total de dados sinalizados como suspeitos.

Em seguida, são apresentadas as distribuições de frequência de probabilidade do vento observado a 10m, bem como o ajuste dos modelos de distribuição para escolher aquele que melhor representa a distribuição de frequência de cada série temporal. Identificado o melhor ajuste de distribuição do vento para cada uma das estações, calcula-se com base nesse modelo, o período de retorno dos máximos de velocidade do vento com um nível de significância de 95%.

4.1. Resultado da Qualificação dos Dados Observados

Os dados observados disponibilizados pelo DECEA, METAR e INMET correspondem a séries provenientes de 27 estações meteorológicas em superfície, com sensores de medida de velocidade e direção do vento a 10 metros de altura. Destas, 9 estações são do METAR, com 5 estações proveniente do DECEA e 4 estações diretamente do METAR e 18 estações oriundas do INMET.

Por terem um papel importante em relação às condições de voo civil e militar, as estações de coleta de dados meteorológicos do DECEA, localizadas em aeródromos, são uma das melhores fontes de dados climatológicos do país em termos de representação espacial, tempo de amostragem e controle de qualidade das séries. No entanto, é fundamental em um estudo científico, usar critérios que busquem garantir a confiabilidade dos resultados em relação ao objeto do estudo, utilizando meios para reduzir a presença de dados espúrios.

Assim sendo, como parte do pré-processamento dos dados, as séries temporais consideradas ideais para análise devem ter registros de dados de pelo menos 9 anos para o INMET e 19 anos para o METAR. Como resultado dessa primeira etapa, foram aprovados um total de 27 estações (Figura 1), as quais foram submetidas ao algoritmo de qualificação descrito na metodologia deste relatório.

Na Tabela 2 são apresentadas as latitudes e longitudes das estações utilizadas, bem como informações como sua altitude em relação ao nível do mar e período das séries temporais. O início das observações varia significativamente entre as estações, sendo que algumas delas têm registros a partir de 1951, enquanto as estações do INMET, o início das observações, na maioria das estações, são a partir de 2009.

Tabela 2. Localização das estações do METAR e INMET e período de aquisição dos dados. As estações de SBCT, SBFL, SBLO, SBPA e SBSM os dados anteriores a 1999 são oriundos do DECEA.

Estações	Nomes	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)	Período
SBCH	Chapecó	-52,62	-27,12	679	2004 - 2017
SBCT	São José dos Pinhais	-49,17	-25,52	908	1951 - 2017
SBFI	Foz do Iguaçu	-54,58	-25,52	180	1999 - 2017
SBFL	Florianópolis	-48,55	-27,67	5	1951 - 2017
SBJV	Joinville	-48,80	-26,22	4	2004 - 2017
SBLO	Londrina	-51,13	-23,33	570	1962 - 2017
SBNF	Navegantes	-48,65	-26,87	5	2002 - 2017
SBPA	Porto Alegre	-51,18	-30,00	3	1951 - 2017
SBSM	Santa Maria	-53,70	-29,70	85	1960 - 2017
A806	FLORIANOPOLIS	-48,62	-27,60	2	2009 -2017
A814	URUSSANGA	-49,32	-28,53	48	2009 -2017
A815	SÃO JOAQUIM	-49,93	-28,28	1000	2009 - 2017
A816	NOVO HORIZONTE	-52,85	-26,41	960	2009 - 2017
A817	INDAIAL	-49,27	-26,91	86	2009 - 2017
A841	JOAÇABA	-51,58	-27,17	776	2009 - 2016
A848	DIONÍSIO CERQUEIRA	-53,63	-26,29	810	2009 - 2017
A851	ITAPOÁ	-48,64	-26,08	2	2009 - 2017
A857	SÃO MIGUEL DO OESTE	-53,50	-26,78	665	2009 - 2017
A858	XANXERÊ	-52,42	-26,94	889	2009 - 2017
A859	CAÇADOR	-50,99	-26,82	952	2009 - 2017
A860	CURITIBANOS	-50,60	-27,29	982	2009 - 2017
A861	RIO DO CAMPO	-50,15	-26,94	592	2009 - 2017

A862	RIO NEGRINHO	-49,58	-26,25	869	2009 - 2017
A863	ITUPORANGA	-49,65	-27,42	484	2009 - 2017
A864	MAJOR VIEIRA	-50,36	-26,39	808	2009 - 2016
A867	ARARANGUA	-49,50	-28,93	12	2009 - 2017
A868	ITAJAI	-48,76	-26,95	18	2010 - 2017

As Figura 3 e 4 representam o total do número de elementos das observações e o total de elementos sinalizados como suspeitos após o processo de qualificação. Para os dados do DECEA a validação foi feita nos dados de 1999 a 2017, os dados anteriores a essa data, já foram validados em Pes et al., 2015.

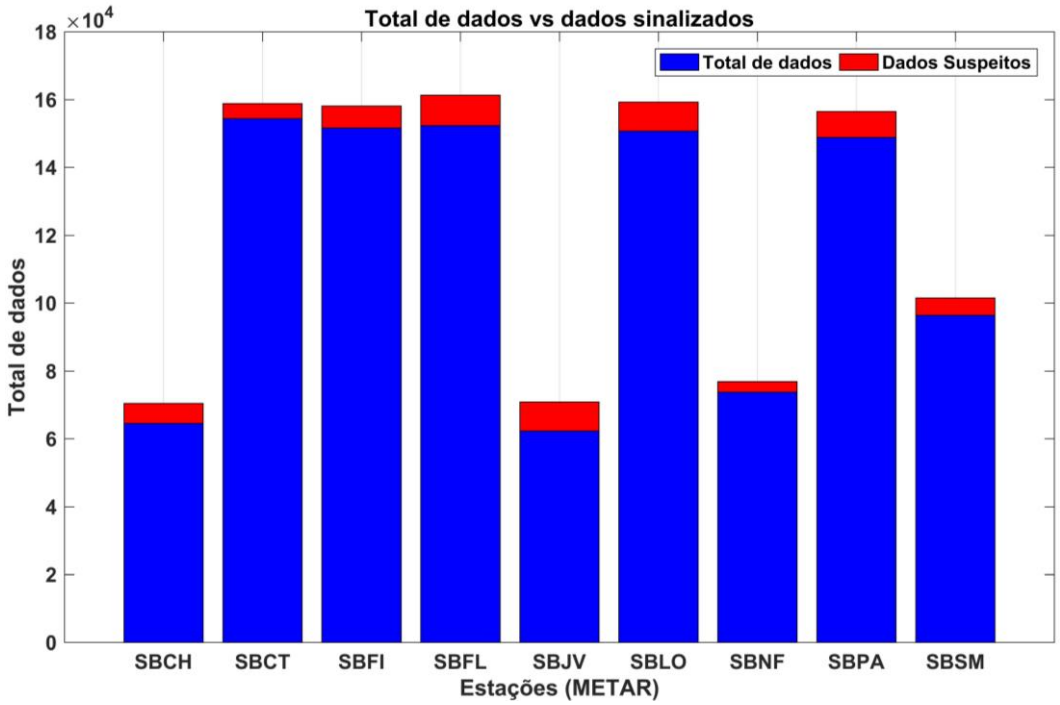

Figura 3. Representação do resultado da qualificação das séries temporais de velocidade do vento, a 10m de altura, de 9 estações meteorológicas do METAR. As barras azuis correspondem ao total de dados submetidos ao código de qualificação e as barras vermelhas correspondem aos dados sinalizados como suspeitos.

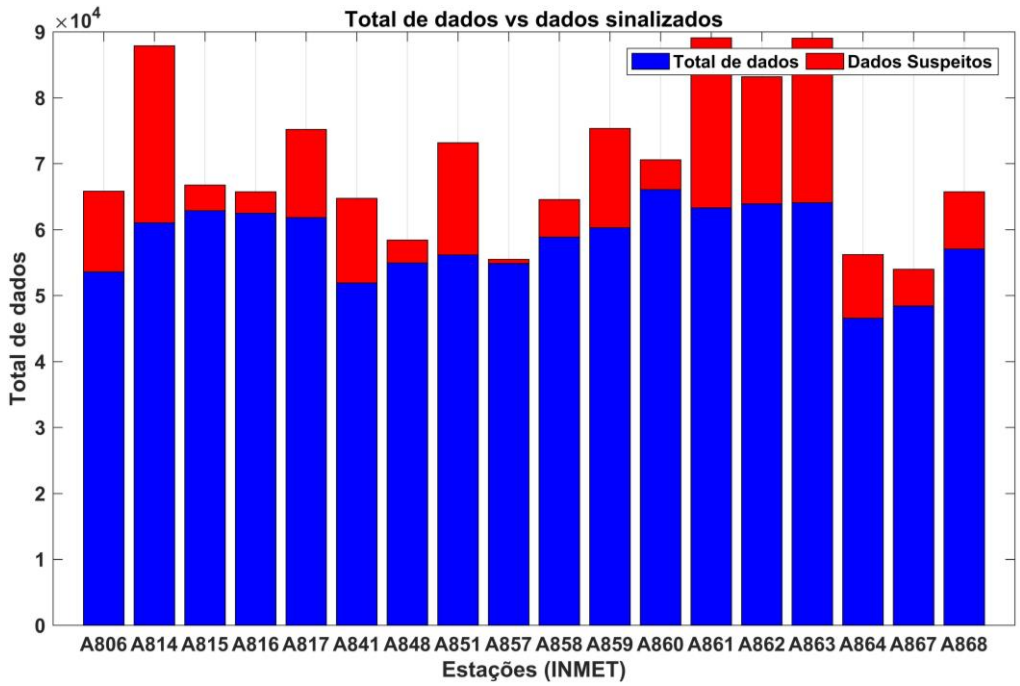

Figura 4. Representação do resultado da qualificação das séries temporais de velocidade do vento, a 10m de altura, de 18 estações meteorológicas do INMET. As barras azuis correspondem ao total de dados submetidos ao código de qualificação e as barras vermelhas correspondem aos dados sinalizados como suspeitos.

Estes serão os dados usados no restante deste produto e em trabalhos futuros e, portanto, os dados sinalizados como suspeitos foram retirados das análises. O algoritmo de qualificação comprova uma melhor qualidade dos dados do METAR em relação aos dados do INMET, porém com um processo de qualificação consistente, foram mantidas diversas estações na região de estudo com qualidade nos dados observados, tanto nas estações do METAR, quanto nas estações do INMET.

4.2. Resultados Distribuição de Frequência

A análise de extremos foi desenvolvida a partir dos métodos de distribuição de Gumbel, GEV e Weibull, descritos na metodologia deste relatório. Em todos os casos, os parâmetros das distribuições foram estimados com um intervalo de confiança de 95%. Nesta seção são

apresentadas as distribuições de extremos por estações. Os histogramas das séries estão nas Figuras a seguir.

A Figura 5 representa as distribuições das séries de velocidade média horária do vento a 10m. Nessas distribuições podemos identificar uma concordância entre as séries de Weibull e GEV e uma discordância entre a Gumbel, porém observa-se que a distribuição GEV foi a que melhor se ajustou as séries de dados horários do METAR.

Na Tabela 3 são apresentados os valores dos parâmetros de distribuição de frequência das séries temporais observadas de velocidade do vento a 10m obtidos a partir dos métodos de distribuição de GEV, Weibull e Gumbel para as estações do METAR. Sempre na ordem do melhor para o pior ajuste. Em relação a resolução horária, a distribuição GEV e Weibull foi que melhor se ajustou aos dados das estações do METAR.

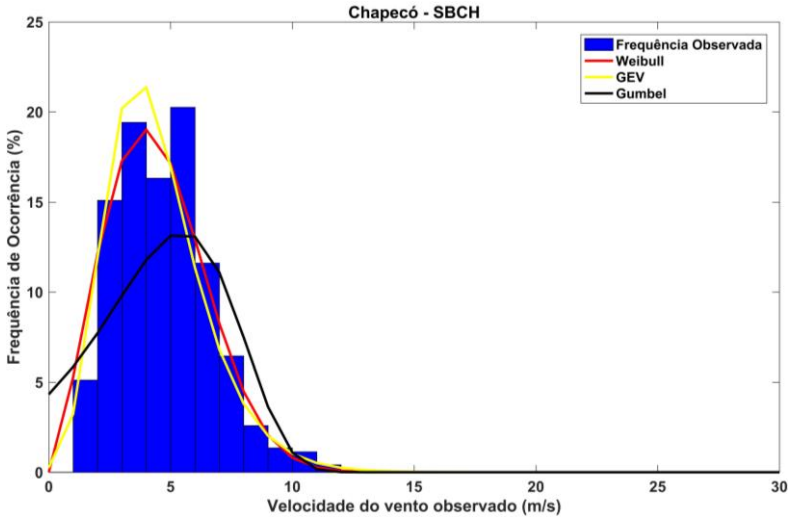

Figura 5. Distribuições de Weibull, GEV e Gumbel ajustada para a velocidade do vento observado a 10m de altura. Exemplo para estação de Chapecó do METAR.

Tabela 3. Valores dos parâmetros de distribuição, GEV, WEIBULL e GUMBEL das séries temporais de velocidade horária do vento a 10m, onde k é o parâmetro de forma, β é o parâmetro de escala, a é o parâmetro de posição.

	GEV			WEIBULL		GUMBEL	
Estação	k	β	a	β	k	a	β
SBCH	-0,05	1,69	3,55	5,03	2,33	5,49	2,76
SBCT	0,05	1,41	2,56	3,91	1,95	4,43	2,57
SBFI	0,13	1,15	2,16	3,38	1,91	3,85	2,55
SBFL	-0,04	1,52	2,83	4,15	2,11	4,57	2,62
SBJV	0,17	0,94	1,61	2,63	1,74	3,03	2,37
SBLO	0,07	1,08	2,00	3,06	1,95	3,43	2,42
SBNF	-0,06	1,38	2,78	3,97	2,27	4,37	1,93
SBPA	0,07	1,54	2,57	4,03	1,80	4,70	2,65
SBSM	0,06	1,38	2,32	3,62	1,81	4,22	2,51

As Figuras 6 e 7 apresentam as distribuições das séries de velocidade média horária do vento a 10m para as estações do INMET; já a Figura 6 apresenta as velocidades médias, enquanto que a Figura 7 apresenta as rajadas do vento. Nessas distribuições podemos identificar uma concordância entre as séries de Weibull e GEV e uma discordância entre a Gumbel. Porém, observa-se que a distribuição GEV foi a que melhor se ajustou a séries de dados horários do INMET. Uma parte inédita desde relatório é o ajuste de uma distribuição dos dados de rajada do vento, que ficou bem ajustada as distribuições GEV e Weibull. Em vários trabalhos citados na literatura (ANGELI SANSIGOLO, 2005; SANSIGOLO, 2008b; SILVA et al., 2002; VAN DER AUWERA; DE MEYER; MALET, 1980) é mencionado que a distribuição de Weibull é a que melhor se ajusta aos dados de vento, porém neste trabalho pode-se dizer que a distribuição GEV também se ajusta adequadamente aos dados de velocidade e rajada de vento, em todas as estações em estudo.

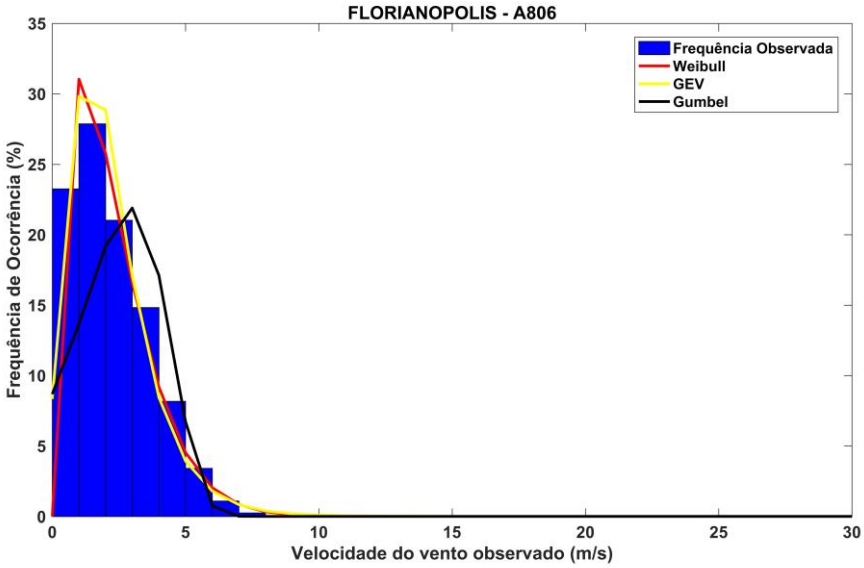

Figura 6. Distribuições de Weibull, GEV e Gumbel ajustada para a velocidade do vento observado a 10m de altura. Exemplo para estação de Florianópolis do INMET.

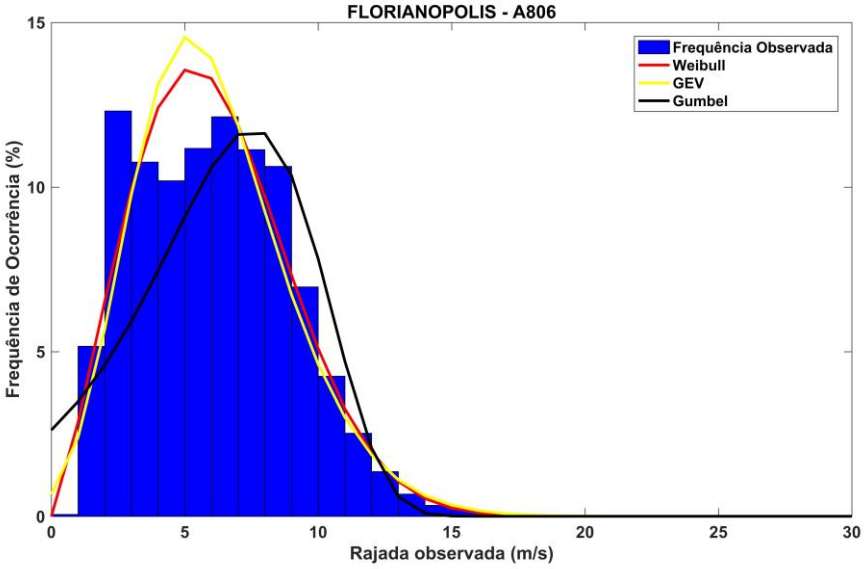

Figura 7. Distribuições de Weibull, GEV e Gumbel ajustada para a rajada do vento observado a 10m de altura. Exemplo para estação de Florianópolis do INMET.

Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados os valores dos parâmetros de distribuição de frequência das séries temporais observadas de velocidade e rajada do vento a 10m, obtidos a partir dos métodos de distribuição de GEV, Weibull e Gumbel para as estações do INMET - sempre na ordem do melhor para o pior ajuste. Em relação a resolução

horária a distribuição GEV e Weibull foram as que melhor se ajustaram aos dados das estações do INMET.

Tabela 4. Valores dos parâmetros de distribuição, GEV, WEIBULL e GUMBEL das séries temporais de velocidade horária do vento a 10m, onde k é o parâmetro de forma, β é o parâmetro de escala, a é o parâmetro de posição.

	GEV			WEIBULL		GUMBEL	
Estação	k	β	a	β	k	a	β
A806	0,04	1,14	1,46	2,38	1,44	2,94	1,68
A814	0,23	0,63	0,72	1,34	1,27	1,77	1,20
A815	-0,09	1,31	2,21	3,22	1,94	3,66	1,79
A816	-0,08	1,54	2,70	3,92	2,00	4,42	2,18
A817	0,26	0,58	0,71	1,33	1,28	1,78	1,52
A841	-0,06	1,37	2,12	3,18	1,76	3,71	1,90
A848	-0,12	1,74	3,00	4,30	2,01	4,84	2,11
A851	0,11	0,81	0,98	1,68	1,36	2,13	1,28
A857	-0,03	1,15	2,25	3,26	2,12	3,65	1,83
A858	0,00	1,56	2,29	3,56	1,64	4,24	2,39
A859	-0,02	0,90	1,31	2,02	1,63	2,41	1,39
A860	-0,12	1,43	2,58	3,66	2,11	4,08	1,85
A861	0,22	0,70	0,79	1,46	1,25	1,93	1,33
A862	0,00	0,96	1,33	2,09	1,55	2,53	1,53
A863	0,35	0,64	0,68	1,36	1,15	1,90	1,46
A864	0,00	1,20	1,72	2,68	1,60	3,21	1,96
A867	0,20	1,10	1,43	2,52	1,40	3,21	2,06
A868	0,06	0,92	1,25	2,03	1,51	2,49	1,54

Tabela 5. Valores dos parâmetros de distribuição, GEV, WEIBULL e GUMBEL das séries temporais horárias de rajada do vento a 10m, onde k é o parâmetro de forma, β é o parâmetro de escala, a é o parâmetro de posição.

	GEV			WEIBULL		GUMBEL	
Estação	k	β	a	β	k	a	β
A806	-0,12	2,54	4,85	6,86	2,26	7,54	3,13
A814	0,08	1,67	3,11	4,77	1,96	5,37	3,75
A815	-0,07	2,47	5,88	8,05	2,60	8,67	3,63
A816	-0,07	2,75	6,32	8,71	2,54	9,40	4,19
A817	0,19	1,37	2,64	4,21	1,82	4,95	3,53
A841	0,04	2,18	4,75	6,91	2,24	7,66	3,86
A848	-0,11	2,67	6,04	8,27	2,59	8,90	3,47
A851	0,03	1,75	3,04	4,65	1,93	5,29	2,81
A857	0,05	2,03	4,66	6,71	2,28	7,42	3,84
A858	0,00	2,51	5,68	8,07	2,38	8,84	3,91
A859	0,02	2,00	3,97	5,86	2,16	6,51	3,31
A860	-0,06	2,30	5,36	7,39	2,57	7,91	3,83

A861	0,13	1,56	3,05	4,72	1,93	5,41	3,67
A862	-0,01	1,90	4,21	5,97	2,34	6,56	3,18
A863	0,11	1,63	2,71	4,34	1,74	5,12	3,44
A864	0,09	1,83	3,92	5,83	2,11	6,54	3,99
A867	0,20	1,93	3,34	5,50	1,76	6,46	3,87
A868	0,10	1,51	3,30	4,92	2,16	5,40	3,60

Com foco nos valores extremos, foi calculado o valor máximo diário de cada dia, ao longo das séries para verificar qual distribuição se ajusta melhor a cada uma das estações em estudo. Com isso as séries temporais passam a ter uma resolução diária, onde constam os valores de vento máximo diário. Isto se faz necessário pois o ajuste das distribuições de frequência sobre os dados brutos (horários) representa melhor os valores mais frequentes. Conforme verificado na literatura, o ajuste de uma função de probabilidade para valores extremos apurados sobre um período mais longo (diário, mensal, anual) tende a representar melhor a probabilidade de ocorrência dos eventos mais raros. A Figura 8 representa as distribuições das séries de velocidade máxima diária do vento a 10m para as estações do METAR. Nessas distribuições podemos identificar uma concordância entre as séries observada e a distribuição de GEV e uma discordância com a Gumbel. Observa-se que a distribuição GEV foi a que melhor se ajustou a séries de dados extremos do METAR.

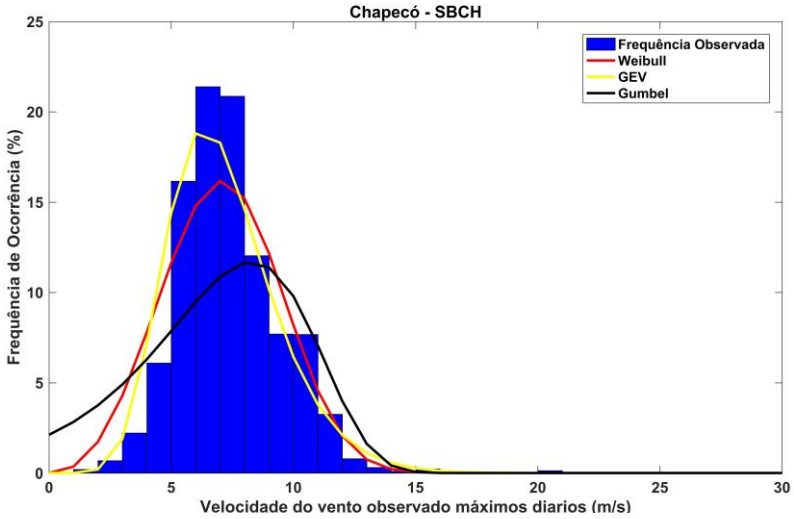

Figura 8. Distribuições de Weibull, GEV e Gumbel ajustada para a velocidade do vento, máximo diário, observado a 10m de altura. Exemplo para estação de Chapecó do METAR.

Na Tabela 5 são apresentados os valores dos parâmetros de distribuição de frequência das séries temporais observadas de velocidade do vento a 10m, obtidos a partir dos métodos de distribuição de GEV, Weibull e Gumbel para as estações do METAR. Sempre na ordem do melhor para o pior ajuste, em relação a resolução máxima diária, a distribuição GEV foi que melhor se ajustou aos dados das estações do METAR.

Tabela 6. Valores dos parâmetros de distribuição, GEV, WEIBULL e GUMBEL das séries temporais de velocidade máxima diária do vento a 10m, onde k é o parâmetro de forma, β é o parâmetro de escala, a é o parâmetro de posição.

	GEV			WEIBULL		GUMBEL	
	Máximo			Máximo		Máximo	
Estação	k	β	a	β	k	a	β
SBCH	-0,08	1,93	6,20	7,91	3,31	8,29	3,14
SBCT	-0,05	1,66	5,77	7,37	3,31	7,71	2,96
SBFI	-0,04	1,67	4,81	6,38	2,87	6,78	3,14
SBFL	-0,05	1,56	5,51	6,97	3,27	7,31	3,24
SBJV	-0,05	1,40	3,73	5,01	2,80	5,30	2,81
SBLO	-0,02	1,40	4,46	5,82	2,98	6,15	3,01
SBNF	-0,12	1,37	5,18	6,40	3,94	6,61	1,87
SBPA	-0,08	1,92	5,64	7,37	3,09	7,78	2,72
SBSM	-0,04	1,76	4,50	6,12	2,64	6,60	2,83

As Figuras 9 e 10 representam as distribuições das séries de velocidade máxima diária do vento a 10m para as estações do INMET. Já a Figura 9 são as velocidades máximas de um dia e a Figura 10 são as rajadas

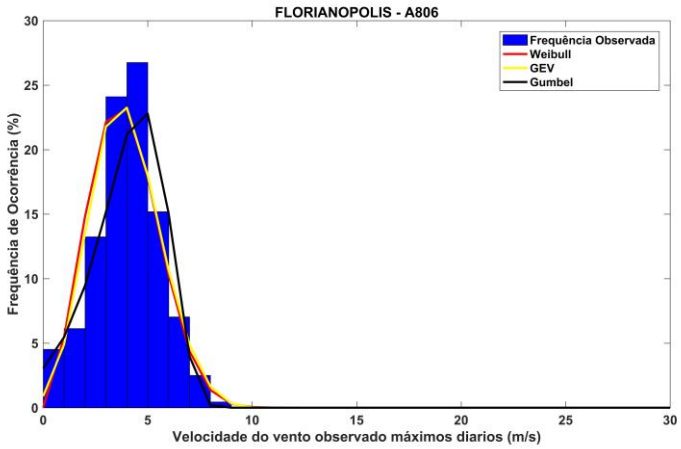

Figura 9. Distribuições de Weibull, GEV e Gumbel ajustada para a velocidade do vento, máximos diários, observado a 10m de altura. Exemplo para estação de Florianópolis do INMET.

máximas do dia. Nessas distribuições, podemos identificar uma concordância entre as séries de Weibull e GEV e uma discordância entre a Gumbel, porém observa-se que a distribuição GEV foi a que melhor se ajustou a séries de dados horários do INMET.

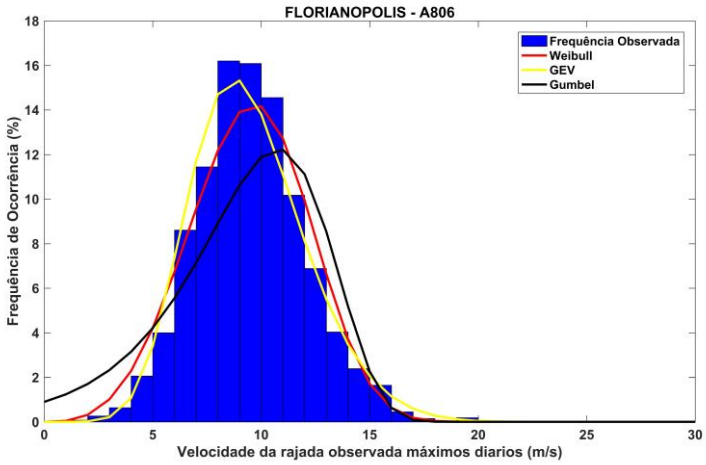

Figura 10. Distribuições de Weibull, GEV e Gumbel ajustada para a rajada do vento, máximo diários, observado a 10m de altura. Exemplo para estação de Florianópolis do INMET.

Nas Tabelas 6 e 7 são apresentados os valores dos parâmetros de distribuição de frequência das séries temporais observadas de velocidade e rajada máxima diária do vento a 10m, respectivamente, obtidos a partir dos métodos de distribuição de GEV, Weibull e Gumbel para as estações do INMET, novamente na ordem do melhor para o pior ajuste, a distribuição GEV foi a que melhor se ajustou aos dados das estações do INMET.

Tabela 7. Valores dos parâmetros de distribuição, GEV, WEIBULL e GUMBEL das séries temporais de velocidade máxima diária do vento a 10m, onde k é o parâmetro de forma, β é o parâmetro de escala, a é o parâmetro de posição.

	GEV			WEIBULL		GUMBEL	
	Máximo			Máximo		Máximo	
Estação	k	β	a	β	k	a	β
A806	-0,21	1,59	3,31	4,39	2,59	4,72	1,59
A814	-0,20	1,04	2,15	2,87	2,46	3,12	1,15
A815	-0,13	1,32	4,30	5,43	3,49	5,67	1,72
A816	-0,12	1,78	4,93	6,40	3,11	6,74	2,37

A817	-0,01	1,02	2,22	3,16	2,24	3,51	1,79
A841	-0,26	2,00	3,98	5,24	2,40	5,69	1,97
A848	-0,23	1,84	5,32	6,70	3,51	6,98	1,91
A851	-0,19	1,12	2,61	3,40	2,85	3,62	1,20
A857	-0,04	1,33	4,11	5,39	3,07	5,71	2,00
A858	-0,14	1,99	4,44	5,99	2,55	6,48	2,51
A859	-0,20	1,46	2,66	3,61	2,23	3,96	1,52
A860	-0,12	1,37	4,89	6,10	3,75	6,33	1,82
A861	-0,16	1,10	2,38	3,20	2,56	3,46	1,33
A862	-0,15	1,36	2,76	3,76	2,38	4,11	1,68
A863	-0,15	1,31	2,27	3,19	2,07	3,56	1,56
A864	-0,14	1,60	3,94	5,17	2,81	5,53	2,10
A867	-0,17	1,75	3,77	5,08	2,59	5,48	2,03
A868	-0,12	1,09	3,34	4,25	3,41	4,44	1,47

Tabela 8. Valores dos parâmetros de distribuição, GEV, WEIBULL e GUMBEL das séries temporais de rajada máxima diária do vento a 10m, onde k é o parâmetro de forma, β é o parâmetro de escala, a é o parâmetro de posição.

	GEV			WEIBULL		GUMBEL	
	Máximo			Máximo		Máximo	
Estação	k	β	a	β	k	a	β
A806	-0,14	2,41	8,39	10,42	3,90	10,77	3,00
A814	-0,01	2,03	5,93	7,92	2,70	8,51	4,58
A815	-0,03	2,53	9,24	11,76	3,42	12,30	4,14
A816	-0,03	3,10	9,95	12,96	3,10	13,70	5,15
A817	0,04	2,16	5,79	8,04	2,43	8,84	4,41
A841	-0,05	2,92	8,48	11,22	2,93	11,93	4,50
A848	-0,11	2,87	9,49	12,04	3,48	12,57	3,90
A851	-0,08	2,00	6,04	7,84	3,12	8,27	3,09
A857	0,03	2,66	7,83	10,61	2,76	11,38	4,68
A858	-0,05	3,07	9,03	11,95	3,02	12,66	4,35
A859	-0,08	2,46	7,42	9,60	3,13	10,12	3,80
A860	-0,03	2,55	9,08	11,61	3,26	12,17	4,78
A861	0,05	2,20	5,70	7,98	2,40	8,76	4,53
A862	-0,02	2,22	7,14	9,33	3,05	9,89	3,69
A863	0,01	2,29	5,79	8,04	2,47	8,78	4,15
A864	0,03	2,53	7,47	10,11	2,66	10,92	4,99
A867	-0,09	3,06	6,96	9,53	2,55	10,30	4,42
A868	-0,02	1,96	6,52	8,43	3,02	8,90	4,46

4.3. Resultados do Período de retorno – T

A Figura 11 e a Tabela 9 indicam a velocidade máxima anual do vento a 10m para o período de retorno de 5, 10, 20, 25, 40 e 50 anos, tanto observada pelos dados METAR quanto estimada pelas funções de probabilidade. Para estas estimativas foi utilizado o modelo de distribuição que melhor se ajustou as velocidades do vento a 10m, neste caso, GEV e Weibull. Nota-se que o desempenho dos dois ajustes é semelhante, porém divergem nas estações de SBFI e SBJV.

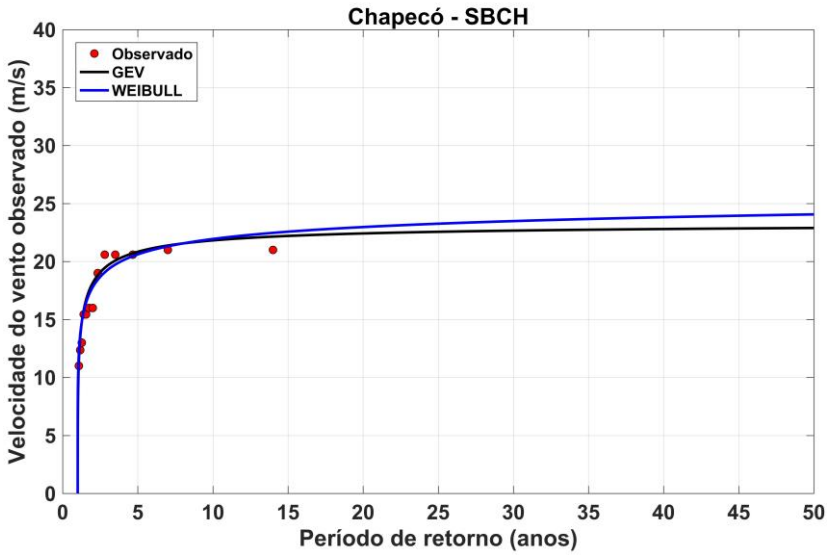

Figura 11. Período de retorno da velocidade máxima anual do vento. Exemplo para estação de Chapecó do METAR.

Ao avaliarmos a velocidade do vento e o período de retorno descrito acima, procuramos pelas maiores velocidades ocorridas nas estações, ou velocidades de vento iguais ou superiores a 20 m/s, que segundo a Tabela 01, são os que causam os maiores danos. Verifica-se que nas estações SBFI, SBPA, SBSM, SBCH, SBLO e SBFL há probabilidade de a velocidade máxima do vento atingir valores de até 31,2 m/s, de 26,7 m/s, 24,8 m/s, 22,9 m/s, 22,6 e 21,2 m/s, respectivamente, a cada 50 anos. Nestes exemplos, onde os ventos podem ser classificados como: tempestade violenta, tempestade, tempestade, e as demais como ventania violenta, respectivamente.

Tabela 9. Período de retorno da velocidade máxima anual do vento.

	GEV						Weibull					
	Período de Retorno T (anos)						Período de Retorno T (anos)					
Estação	5	15	20	25	40	50	5	15	20	25	40	50
SBCH	20,8	21,8	22,2	22,6	22,8	22,9	20,6	21,9	22,6	23,3	23,8	24,1
SBCT	15,1	16,3	17,0	17,9	18,7	19,1	15,7	16,6	17,1	17,6	18,0	18,2
SBFI	17,9	20,9	23,0	26,1	29,4	31,2	19,3	21,0	21,8	22,7	23,4	23,7
SBFL	16,7	18,2	19,0	19,9	20,8	21,2	17,3	18,4	19,0	19,6	20,0	20,2
SBJV	12,4	14,1	15,3	17,0	18,7	19,7	14,5	16,2	17,1	18,1	18,9	19,2
SBLO	14,0	15,8	17,0	18,7	20,6	21,6	15,0	16,2	16,7	17,3	17,8	18,0
SBNF	13,5	13,7	13,8	13,8	13,9	13,9	13,1	13,9	14,3	14,7	15,1	15,2
SBPA	20,8	22,8	23,9	25,1	26,2	26,7	21,4	23,0	23,7	24,6	25,2	25,5
SBSM	18,6	20,5	21,6	23,0	24,2	24,8	19,5	20,9	21,6	22,3	22,9	23,2

A Figura 12 e a Tabela 10 indicam a velocidade máxima anual do vento a 10m para o período de retorno de 5, 10, 20, 25, 40 e 50 anos, tanto para os períodos observados para o INMET, quanto as estimativas pelas funções de probabilidade. Para estas estimativas foi utilizado o modelo de distribuição que melhor se ajustou as velocidades do vento a 10m, neste caso, GEV e Weibull. Ambas as distribuições tiveram desempenho semelhante, exceto na estação A816, onde a distribuição GEV obteve maiores valores para os períodos de retornos. Possivelmente para a estação A816 a melhor distribuição foi Weibull.

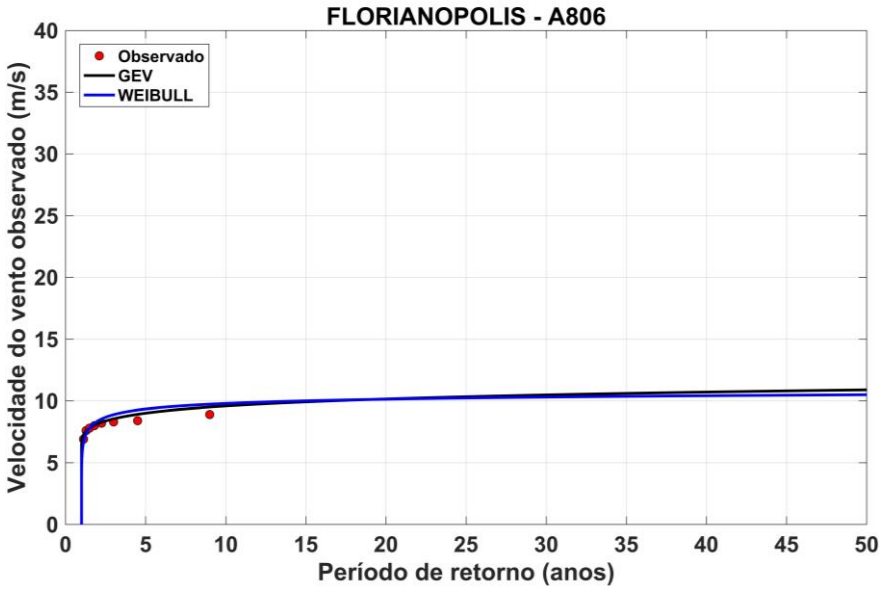

Figura 12. Período de retorno da velocidade máxima anual do vento. Exemplo para estação de Florianópolis do INMET.

Ao avaliarmos a velocidade do vento e o período de retorno descrito na Figura 12 e Tabela 10, procuramos pelas maiores velocidades ou velocidades de vento iguais ou maiores que 20 m/s. Nenhuma estação do INMET apresentou estes valores, exceto a estação A816 para a distribuição GEV, chegou a valores de 22,70 m/s para o período de retorno de 50 anos, porém a mesma estação para a distribuição de Weibull obteve um valor de 17,87 m/s. Possivelmente o período de dados mais curto (menor que 9 anos) e a eventual presença de obstáculos para as estações do INMET tiveram uma grande influência nos cálculos do período de retorno, dificultando o registro de ventos extremos. Espera-se um melhor desempenho para a rajada do vento, em virtude de registro de valores de vento em intervalos mais curtos, identificando melhor os extremos de interesse.

Tabela 10. Período de retorno da rajada máxima anual do vento (INMET).

	GEV						Weibull					
	Período de Retorno T (anos)						Período de Retorno T (anos)					
Estação	5	15	20	25	40	50	5	15	20	25	40	50
A806	9,0	9,6	9,9	10,3	10,7	10,9	9,3	9,8	10,0	10,2	10,4	10,5
A814	6,4	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,4	6,5	6,6	6,7	6,7	6,8
A815	11,0	11,3	11,4	11,5	11,6	11,6	11,0	11,3	11,4	11,5	11,6	11,6
A816	14,9	16,8	18,1	19,9	21,7	22,7	15,5	16,4	16,9	17,3	17,7	17,9
A817	9,4	10,0	10,4	11,0	11,6	11,9	9,8	10,2	10,4	10,6	10,8	10,8
A841	11,3	11,4	11,4	11,5	11,5	11,5	11,1	11,4	11,6	11,8	11,9	12,0
A848	12,2	12,4	12,5	12,5	12,6	12,6	12,1	12,4	12,5	12,7	12,8	12,8
A851	7,5	7,8	7,9	8,1	8,2	8,3	7,6	7,8	7,9	8,0	8,1	8,2
A857	11,9	12,3	12,5	12,7	12,9	12,9	12,0	12,4	12,5	12,7	12,8	12,9
A858	14,2	14,4	14,5	14,5	14,6	14,6	13,7	14,3	14,6	14,9	15,2	15,3
A859	8,6	9,0	9,2	9,5	9,7	9,8	8,8	9,1	9,2	9,4	9,5	9,5
A860	12,2	12,9	13,2	13,7	14,1	14,3	12,5	13,0	13,2	13,4	13,6	13,7
A861	7,8	7,9	7,9	8,0	8,0	8,0	7,7	7,9	8,0	8,1	8,2	8,3
A862	9,3	10,1	10,5	11,0	11,4	11,6	9,6	10,1	10,3	10,6	10,8	10,9
A863	8,6	9,4	9,8	10,4	11,0	11,3	8,8	9,2	9,4	9,6	9,8	9,9
A864	12,8	13,3	13,5	13,7	13,8	13,9	12,7	13,2	13,5	13,8	14,1	14,2
A867	12,0	12,1	12,1	12,2	12,2	12,2	11,8	12,3	12,6	12,8	13,0	13,1
A868	9,9	10,4	10,6	10,8	11,0	11,0	10,0	10,4	10,6	10,8	11,0	11,0

A Figura 13 e a Tabela 11 indicam a velocidade máxima anual da rajada do vento a 10m, para o período de retorno de 5, 10, 20, 25, 40 e 50 anos, tanto valores observados para o INMET, quanto estimados pelas funções de probabilidade. Para estas estimativas foi utilizado o modelo de distribuição que melhor se ajustou as velocidades de rajada a 10m, neste caso, GEV e Weibull. Para a rajada do vento, trata-se de um estudo inédito no país, tanto para o ajuste das distribuições, quanto para os cálculos do período de retorno. Nota-se que devido ao período curto de anos dos dados de rajada, em algumas estações houve divergência entre as distribuições, principalmente nas estações A815, A857, A859, A860 e A868. A distribuição GEV divergiu bastante da distribuição de Weibull para A857 e A860. Já na estação A868, as duas distribuições não se ajustaram adequadamente aos dados observados de rajada do vento. O motivo pode estar ligado a um período curto de dados, ou a necessidade de um melhor aprofundamento no estudo das rajadas de vento, ou ainda, ao ajuste de outras distribuições.

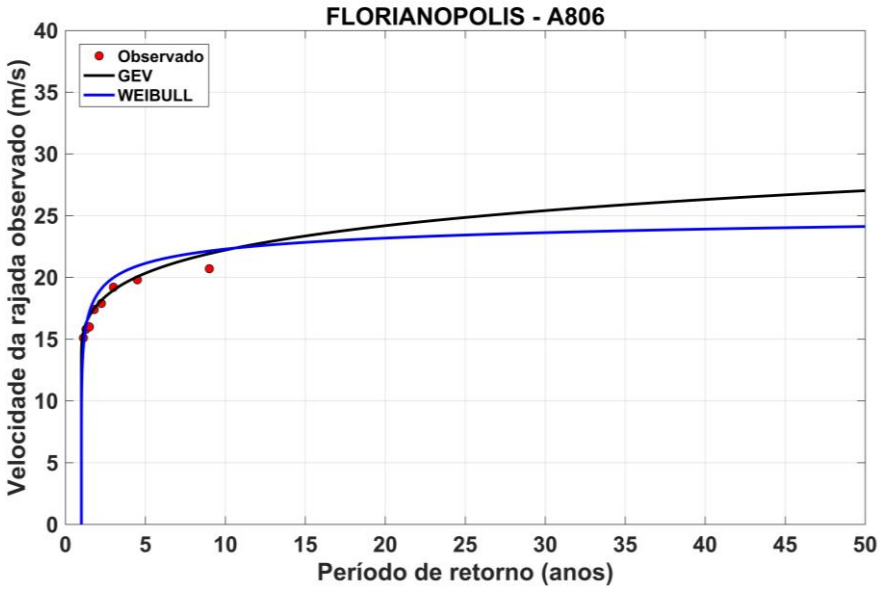

Figura 13. Período de retorno da rajada máxima anual do vento. Exemplo para estação de Florianópolis do INMET.

Ao avaliarmos a rajada do vento e o período de retorno descrito na Figura13 e Tabela 11, todas as estações ficaram com rajada de vento superiores a 20 m/s, tanto para a distribuição GEV, quanto para a distribuição de Weibull. Chegando a valores de 68,9m/s e 60,9 m/s em A860 e A857, respectivamente para o período de retorno de 50 anos, possivelmente a distribuição GEV, não se ajustou bem aos dados observados. Nessas mesmas estações a distribuição de Weibull parece ter um melhor ajuste com valores de 32,8 m/s e 30,4 m/s, como pode ser observado nas figuras acimas. A faixa de classificação dos períodos de retorno de 50 anos varia de ventania severa até furacão.

Tabela 11. Período de retorno da rajada máxima anual do vento (INMET).

	GEV						Weibull					
	Período de Retorno T (anos)						Período de Retorno T (anos)					
Estação	5	15	20	25	40	50	5	15	20	25	40	50
A806	20,3	22,2	23,4	24,9	26,3	27,0	21,1	22,3	22,8	23,4	23,9	24,1
A814	25,5	28,7	30,5	32,8	35,0	36,0	26,8	29,0	30,1	31,3	32,3	32,8
A815	26,0	28,9	31,5	36,1	42,3	46,1	27,4	28,4	28,9	29,4	29,8	30,0
A816	32,2	33,8	34,6	35,5	36,4	36,7	32,7	33,9	34,4	35,0	35,5	35,7
A817	25,6	26,1	26,2	26,3	26,4	26,4	24,9	26,1	26,6	27,2	27,6	27,8
A841	26,6	27,4	27,7	28,1	28,3	28,4	26,6	27,4	27,7	28,1	28,4	28,6
A848	25,7	25,9	26,0	26,0	26,1	26,1	25,3	26,1	26,4	26,8	27,1	27,2
A851	19,0	20,4	21,2	22,1	22,9	23,2	19,6	20,6	21,1	21,7	22,1	22,3
A857	26,6	31,7	36,9	47,1	60,4	60,4	27,7	28,8	29,3	29,8	30,3	30,5
A858	24,7	26,1	27,2	28,8	30,5	31,5	25,1	25,6	25,9	26,1	26,3	26,4
A859	22,7	25,7	28,0	31,5	35,8	38,1	24,4	25,8	26,5	27,2	27,8	28,0
A860	28,4	34,4	39,7	49,0	61,3	68,9	30,5	32,6	33,6	34,7	35,6	36,0
A861	24,4	27,9	30,4	34,3	38,7	41,2	26,1	27,8	28,5	29,4	30,1	30,4
A862	23,2	23,4	23,5	23,5	23,6	23,6	22,7	23,3	23,6	23,9	24,2	24,3
A863	23,9	24,2	24,3	24,3	24,4	24,4	23,6	24,4	24,8	25,2	25,5	25,6
A864	29,9	30,5	30,6	30,7	30,8	30,8	28,9	30,3	30,9	31,6	32,2	32,4
A867	25,7	27,6	28,6	29,6	30,5	30,9	26,1	27,7	28,5	29,3	30,0	30,3
A868	22,6	26,2	28,9	33,0	37,7	40,4	25,9	28,5	29,8	31,2	32,3	32,8

4.4. Resultado do Teste de Tendência para as Estações com mais de 30 anos de dados.

A Figura 14 mostra as tendências das velocidades máxima anuais ao longo do período de estudo utilizando os métodos de Mann-Kendall e

Sen. Apenas as estações com dados superiores ou iguais a 30 anos de dados foram utilizadas para essa análise. Na estação SBCT, verifica-se que houve tendência de aumento da velocidade do vento de +0,02 m/s/ano, com significância estatística de 95%.

Para a estação de SBFL, observa-se que houve uma tendência negativa, de diminuição da velocidade do vento de -0,05 m/s/ano, com significância estatística de 99,9%. Já a estação SBLO apresentou uma tendência neutra. Por fim as estações SBPA e SBSM apresentaram uma tendência negativa com valores de -0,07 m/s/ano, com significância de 99%, e -0.02 m/s/ano, com significância de 90%, respectivamente.

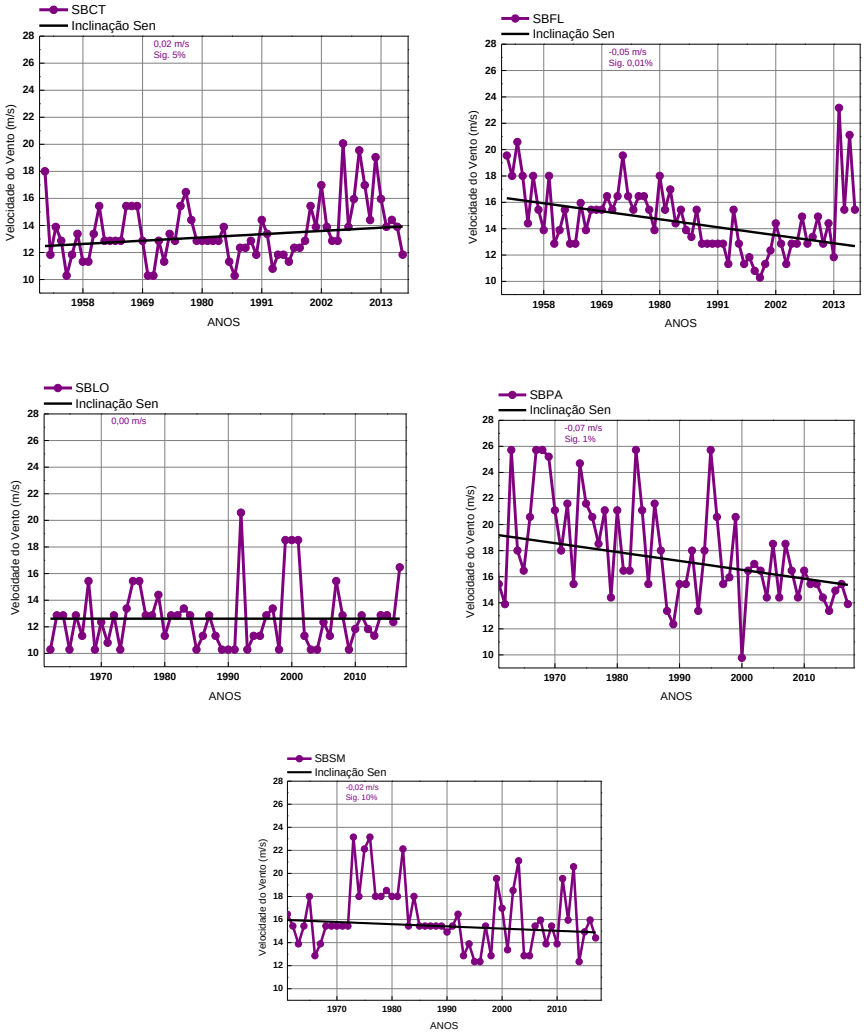

Figura 14. Variabilidade dos valores máximos anuais de velocidade do vento (m/s) para as estações de SBCT, SBFL, SBLO, SBPA e SBSM, apresentando o valor máximo anual, a inclinação e magnitude da tendência pelo método Sen, significância estatística pelo teste de Mann-Kendall.

5. CONCLUSÕES

O presente relatório investigou os aspectos relativos à ocorrência de ventos extremos máximos e rajada extremas máximas a 10m para períodos de dados observados das estações do METAR e INMET para o estado de santa Catarina. Este produto compreendeu desde o pré-processamento dos dados observados, o controle de qualidade, o ajuste das funções de distribuição de eventos extremos e método estatístico de análise de tendência climática.

Em relação ao algoritmo de qualificação das séries temporais, pôde-se identificar um número expressivo de dados suspeitos nas séries, os quais foram desconsiderados das análises seguintes para não inserir maiores incertezas dos resultados.

As funções de distribuição de frequência adotados tiveram um bom ajuste às séries de velocidade horária e velocidade máxima diária do vento observado, porém, o modelo de distribuição GEV e Weibull foram os que melhores se ajustaram a estas séries, bem como aos dados de rajada horários e máximos diários e anuais.

Em relação ao período de retorno da velocidade máxima anual, verificou-se que para algumas estações do METAR há probabilidade de a velocidade máxima do vento atingir valores na faixa de 21,2 m/s a 31,1 m/s a cada 50 anos. Estes ventos podem ser classificados desde ventania violenta até tempestade violenta. Já para a velocidade máxima anual do vento para as estações do INMET, não se verificou valores elevados de ventos para os períodos de retorno avaliados. Já para a rajada máxima anual do vento, todas as estações ficaram com rajada de vento superiores a 20 m/s, tanto para a distribuição GEV, quanto para a distribuição de Weibull, chegando a valores de até 68,9 m/s para o período de retorno de 50 anos, possivelmente porque a distribuição GEV

não se ajustou bem aos dados observados. Nestas mesmas localidades, a distribuição de Weibull parece ter um melhor ajuste com valores de 32,8 m/s e 30,4 m/s. A faixa de classificação dos períodos de retorno de 50 anos para a rajada do vento, varia de ventania severa até furação, sendo este último associado a ajustes de probabilidade suspeitos.

Com base nas análises de tendência climática das séries de velocidade máxima anual do vento, os resultados indicaram aumento na velocidade máxima anual do vento em SBCT, uma tendência neutra em SBLO e tendências negativas em SBFL, SBPA e SBSM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELI SANSIGOLO, C. **DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE DE VELOCIDADE E POTÊNCIA DO VENTORevista Brasileira de Meteorologia**. [s.l: s.n.].

BACK, Á. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, 2001.

COMPAGNUCCI, R. H.; SALLES, M. A. Surface Pressure Patterns During The Year Over Southern South America. **International Journal of Climatology**, v. 17, n. 6, p. 635–653, 1997.

DE QUADROS, L. E.; DE QUEIROZ, M. M. F.; BOAS, M. A. V. Distribuição de frequência e temporal de chuvas intensas. **Acta Scientiarum - Agronomy**, 2011.

DOS SANTOS, A. P. P. et al. Climatic diagnostics associated with anomalous lightning incidence during the summer 2012/2013 in Southeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 996–1009, 10 fev. 2018.

DUKES, M. D. G.; PALUTIKOF, J. P. **Estimation of Extreme Wind Speeds with Very Long Return PeriodsJournal of Applied Meteorology**, 1995.

FAN, X.-H.; WANG, M.-B. Change trends of air temperature and precipitation over Shanxi Province, China. [s.d.].

FISHER, R. A.; TIPPETT, L. H. C. Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample. **Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society**, 1928.

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 Freqüência 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.

GUMBEL, E. J. **Statistics of extremes**. [s.l.] Dover Publications, 2004.

GUMBEL, E. J.; LIEBLEIN, J. Some Applications of Extreme-Value Methods. **American Statistician**, 1954.

HERSHFIELD, D. M.; KOHLER, M. A. An empirical appraisal of the Gumbel extreme-value procedure. **Journal of Geophysical Research**, v. 65, n. 6, p. 1737–1746, 1 jun. 1960.

JENKINSON, A. F. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 1955.

KATZ, R. W.; PARLANGE, M. B.; NAVEAU, P. Statistics of extremes in hydrology. **Advances in Water Resources**, 2002.

KENDALL, M. G. **Rank correlation methods.** [s.l: s.n.].

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. [s.l: s.n.].

MANN, H. B. Nonparametric Tests Against Trend. **Econometrica**, 1945.

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 2008.

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.

METEREOLOGIA, I. N. DE. NOTA TÉCNICA No. 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET. n. 001, p. 1–11, 2011.

MINISTÉRIO DE MINAS ENERGIA. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. **Ministério de Minas Energia**, p. 44, 2001.

NBR 6123. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. **Associação Brasilera de Normas Técnicas**, 1988.

PES, M. P. IMPACTOS DAS VARIAÇÕES E MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE OS VENTOS EXTREMOS E SEUS EFEITOS NO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre , orientada pelos Drs . José Antonio Marengo Orsini ,. 2015.

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.

QUEIROZ, M. M. F.; CHAUDHRY, F. H. Análise de eventos hidrológicos extremos, usando-se a distribuição GEV e momentos LH (in Portuguese). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 381–389, 2006.

REISS, R. D.; THOMAS, M. **Statistical analysis of extreme values: With applications to insurance, finance, hydrology and other fields: Third edition**. [s.l: s.n.].

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**, 2008a.

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**, 2008b.

SEN, P. K. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. **Journal of the American Statistical Association**, 1968.

SILVA, B. B. DA et al. Potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2002.

SILVA, W. L.; DERECZYNSKI, C. P. Caracterização Climatológica e Tendências observadas em extremos climáticos no Estado do Rio de Janeiro. **Anuario do Instituto de Geociencias**, 2014.

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

VAN DER AUWERA, L.; DE MEYER, F.; MALET, L. M. **The Use of the Weibull Three-Parameter Model for Estimating Mean Wind Power DensitiesJournal of Applied Meteorology**, 1980.

WEIBULL, W. A statistical distribution function of wide applicability. **J. Appl. Mech.**, 1951.