

Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL
Instituto de Ciências Sociais Aplicadas - ICSA

TAYLOR OLIVEIRA FIDELIS

Tempestade de vento no Sul do Brasil: uma
abordagem atuarial

Varginha
2021

TAYLOR OLIVEIRA FIDELIS

Tempestade de vento no Sul do Brasil uma
abordagem atuarial

Trabalho apresentado como fase final do curso de ciências atuariais para a obtenção do título de Bacharel em Ciência Atuarial pela Universidade Federal de Alfenas Minas Gerais.

Orientador: REINALDO ANTÔNIO GOMES MARQUES

Co-Orientador(a): LUÍSA PIMENTA TERRA

TAYLOR OLIVEIRA FIDELIS

Tempestade de vento no Sul do Brasil: uma
abordagem atuarial

Trabalho aprovado. Varginha, 28 de março de 2021:

Aprovado: _____

Orientador.

Aprovado: _____

Co-orientador(a).

Aprovado: _____

Assinatura do membro da banca.

Aprovado: _____

Assinatura do membro da banca.

Varginha

2021

Agradecimentos

Agradeço primeiro a Deus por ter me mantido na trilha certa durante todo o trajeto de minha vida com saúde e forças para enfrentar novos desafios. Sou grato à minha família especialmente ao meu pai Adilson Fidelis e minha mãe Zilda de Fátima Oliveira Fidelis e a minhas irmãs Thaynara oliveira Fidelis e Taise oliveira Fidelis pelo apoio que sempre me deram.

Deixo um agradecimento especial ao meu orientador Reinaldo Antônio Gomes Marques e à minha co-orientadora Luísa Pimenta Terra , pelo incentivo e pela dedicação do seu escasso tempo ao meu projeto de pesquisa e principalmente pela paciência.

Também sou grato a todos os professores do meu curso pela dedicação e ensinamentos valiosos que levarei pelo resto de minha vida. E também como esquecer os amigos que tanto me ajudaram neste percurso seja de forma profissional ou emocional, deixo um agradecimento especial para William Oliveira, Mariana Ramos, Fabiane Fidelis, Beatriz Bernardino, Poliana Benelli, Gabriel Pessanha, Walef Machado, Alice Duarte, Ana Carolina, Matheus Saraiva, Yagho lemes , Márcio Aluísio, Pablo Rabelo, Ana Beatriz, Josiane Correia e dentre outros que me ajudaram.

*"O importante não é vencer todos os dias, mas lutar sempre."
(Waldemar Valle Martins)*

Resumo

Com o aumento da frequência de tempestades de ventos no Sul do Brasil e eventos recentes, como o “ciclone bomba”, ocorrido em 30 de junho de 2020. Tem despertado grande preocupação do setor segurador e ressegurador. Preocupação está relacionada com as perdas econômicas que podem ser enormes e dada a correlação espacial entre os danos, pode inviabilizar a diversificação dos riscos por meio do teorema do limite central, o que pode colocar em xeque as estratégias usuais de precificação e diluições de risco usadas no mercado atualmente. Neste contexto, o presente trabalho tem como principal objetivo, classificar os locais de risco no Sul do Brasil, para compreender tanto a correlação espacial do risco de tempestades de ventos, como, em retirar informações relevantes para que seja possível a formulação de futuras estratégias de diluição do risco de perdas por tempestades de ventos. Desta forma, para que fosse possível alcançar tais objetivos, foi realizado o estudo dos dados de velocidade máxima do vento e direção do vento, de 42 estações meteorológicas espalhadas no Sul do Brasil no período de 2010 até 2020. E para captação de informações relevantes foi aplicado nestes dados análises descritivas como rosa dos ventos, transformada de wavelets, boxplot temporal, correlação e dentre outras estatísticas descritivas. Já para classificação das áreas de risco foi realizado o ajuste de distribuições generalizadas de valores extremos (GEV) aos dados de velocidade máxima do vento em cada estação. Em relação aos resultados metodológicos estão o ajuste de 40 distribuições GEV que se ajustaram bem aos dados segundo o teste de aderência Anderson-Darling, que proporcionaram a classificação das áreas de maior e menor risco. Quanto à busca por informações relevantes para formulação de estratégias futuras, foi possível encontrar informações relevantes que formam uma boa base para realização de novas estratégias, tanto de precificação como de diluição do risco de perdas econômicas por tempestades de vento.

Palavras chaves: Classificação de locais de risco, Tempestade de ventos, Diluição de risco, GEV.

Abstract

With the increase in the frequency of windstorms in southern Brazil and recent events, such as the “cyclone bomb”, which occurred on June 30, 2020. It has aroused great concern in the insurance and reinsurance sector. Concern is related to the economic losses that can be enormous and given the spatial correlation between the damages, it can make the diversification of risks unfeasible through the central limit theorem, which can put in check the usual pricing strategies and risk dilutions used on the market today. In this context, the present work has as main objective, to classify the risky places in the South of Brazil, to understand both the spatial correlation of the risk of windstorms, and to remove relevant information so that it is possible to formulate future strategies for dilution of the risk of losses due to windstorms. Thus, in order to be able to achieve these objectives, the study of the maximum wind speed and wind direction data was carried out, from 42 meteorological stations scattered in the south of Brazil in the period from 2010 to 2020. And to capture relevant information it was applied to these data descriptive analyzes such as wind rose, wavelet transform, temporal boxplot, correlation and other descriptive statistics. In order to classify the risk areas, generalized distributions of extreme values- GEV were adjusted to the maximum wind speed data for each season. Regarding the methodological results are the adjustment of 40 GEV distributions that fit well with the data according to the Anderson-Darling adherence test, which provided the classification of the areas of highest and lowest risk. As for the search for relevant information for the formulation of future strategies, it was possible to find relevant information that forms a good basis for the realization of new strategies, both in pricing and in diluting the risk of economic losses due to wind storms.

Keywords: Classification of risk sites, Windstorms, Risk dilution, GEV.

Sumário

1	Introdução	8
2	Objetivos	9
3	Referencial teórico	10
3.1	Vento	10
3.1.1	Formação do vento	10
3.1.2	Classificação do vento e danos	12
3.1.3	Perdas econômicas provocadas por tempestades de Ventos no Sul do Brasil	13
3.1.4	Instrumentos de captação de informação do vento	16
3.1.5	Análise descritiva do vento	17
3.2	Revisão da literatura atuarial em relação aos efeitos climáticos no setor segurador	18
4	Material e métodos	21
4.1	Dados meteorológicos	23
4.2	Análises descritivas	24
4.2.1	Boxplot	24
4.2.2	Transformada de Wavelets	25
4.2.3	Rosa dos ventos	27
4.3	Teoria de valores extremos	29
4.3.1	Distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV)	30
4.3.2	Teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS)	31
4.3.3	Teste de aderência de Anderson-Darling (AD)	32
4.3.4	Teste de aderência de Filliben (Fi)	32
4.4	Análise de tendência	33
5	Resultados	33
5.1	Análises descritivas	33
5.2	Ajuste GEV	36
5.3	Classificação de risco	37
5.4	Discussão dos resultados	39
6	Considerações finais	41
7	Anexos	47

1 Introdução

Terremotos, secas, inundações, furacões, inverno, tempestades de ventos e surtos de tornados estão dentre as catástrofes naturais que podem produzir grandes montantes de perdas. Por exemplo, em relação a perdas provocadas no Sul do Brasil pelo “ciclone bomba”, em que segundo a Defesa Civil de Santa Catarina (DCSC) contabilizou prejuízos em 233 municípios em que as perdas chegaram próximas a R\$ 2 bilhões. E ao realizar a agregação das perdas do período de 2013 até 2019, provocadas por catástrofes naturais, Segundo dados do Sistema Integrado de informações sobre Desastres-S2iD, foi contabilizado perdas próximas aos R\$ 11 bilhões , estas somente no Sul do Brasil e apresentadas pelos municípios, o que leva a estimativa de valores mais expressivos.

Uma proporção importante dessas perdas são perdas seguradas, e essa tendência deve persistir porque há mais itens em risco nas áreas propensas a catástrofes como é levantado pela Defesa Civil de Santa Catarina (DCSC). Infelizmente, a avaliação da probabilidade de distribuição das perdas decorrentes de tais desastres podem ser bastante difíceis, dado que o comportamento das perdas diferem dos métodos tradicionais de precificação empregados no mercado baseados no teorema central do limite.

Segundo [7] o elemento chave que falta nos modelos mais tradicionais é a dependência intrínseca entre os riscos expostos. Por exemplo, um vendaval causará várias reivindicações relacionadas ao mesmo tempo, e os riscos de estarem geograficamente próximos uns dos outros é alto, o que proporciona valores de sinistros altamente correlacionados. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo de estudo o setor de seguros climáticos, em específico os seguros de tempestade de ventos no Sul do Brasil. Vale ressaltar que tal foco deve-se a está região ser a que mais apresenta eventos catastróficos envolvendo tempestade de ventos no Brasil.

Para realização do objetivo, este trabalho se subdivide em dois objetivos específicos sendo: o primeiro em classificar as áreas de risco na região Sul do Brasil e o segundo em fornecer uma base de informações relevantes para avaliação das estratégias de diluição do risco de perdas econômicas provocadas por tempestade de vento. É importante ressaltar, que este trabalho tem como foco apenas a apresentação das informações que podem ser usadas para pensar novas estratégias de diluição do risco e não tem como objetivo apresentar uma estratégia tanto de diluição como de precificação.

Para que este estudo fosse realizado, foram usados os dados de 42 estações meteorológicas automáticas espalhadas no Sul do Brasil, em que cada uma contou com uma série horária entre o período de 2010 e 2020. Em relação aos principais métodos e teorias empregadas neste trabalho estão: A teoria de valores extremos (distribuição generalizada de valores extremos-GEV), transformada de wavelets, testes de aderência , rosa dos ventos e entre outros. E por fim, quanto a estrutura deste trabalho foi dividida em sete seções sendo: Objetivos, Referencial teórico, Material e métodos, Resultados, Considerações finais , Referências e Anexos.

2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal de estudo o setor de seguros climáticos, em específico os seguros de tempestade de ventos no Sul do Brasil. Vale ressaltar que tal foco deve-se a está região ser a que mais apresenta eventos catastróficos envolvendo tempestade de ventos no Brasil.

Já em relação aos objetivos específicos, este trabalho se divide em dois objetivos específicos sendo: o primeiro em fornecer uma base de informações relevantes para avaliação das estratégias de diluição do risco de perdas econômicas provocadas por tempestade de vento; e o segundo em classificar as áreas de risco na região Sul do Brasil. Para o cumprimento de cada objetivo específico, este trabalho usou distintos métodos. Em que por meio da Tabela 1 é apresentado os métodos empregados de acordo com cada objetivo buscado.

Tabela 1: Divisão dos métodos empregados neste trabalho de acordo com cada objetivo específico.

Objetivo específico	Método	Objetivo da aplicação do método
Primeiro	Wavelets	Obter informação da variabilidade dos dados, como, de quanto em quanto tempo é evidenciada a intensificação de ventos extremos por localidade
	Rosa dos ventos	Obter informações de direção e velocidade do vento de acordo com cada estação do ano por localidade, informação é importante para entender a existência de correlação forte entre duas ou mais localidades.
	Boxplot temporal	Obter informações acerca da distribuição dos dados ao longo dos meses, informação importante para detectar épocas dos anos que é observado maior intensidade de ventos extremos
	Tendência	Obter a informação de existência de alguma tendência ao longo prazo da velocidade do vento nas localidades
Segundo	Matriz de Correlação	Obter a informação da correlação entre as localidades de acordo os dados de velocidade máxima dos ventos em cada localidade
	Teoria de valores extremos (GEV)	Tem como objetivo por meio das distribuições generalizadas de valores extremos ajustadas inferir a probabilidade de ocorrência de ventos extremos em uma dada região, esta por sua vez é usada para classificar os locais de risco.

Fonte: Elaboração própria

3 Referencial teórico

Para o cumprimento do objetivo principal deste trabalho foi necessário o aprofundamento em duas linhas, sendo a primeira em entender o que de fato é o vento, como este pode ser medido, classificado e quais os danos que este proporciona para a região Sul do Brasil. Já a segunda linha está no aprofundamento da literatura atuarial, acerca do que vem sendo discutido sobre métodos usados para análise de risco de tempestade de ventos e o que é apresentado como soluções.

3.1 Vento

Neste tópico, pretende-se efetuar uma caracterização do elemento climático vento, tendo em conta a sua formação, como os ventos são classificados por meio de escalas a nível global ou regional que caracterizam a intensidade e os possíveis danos relacionados com este evento climático, a apresentação de perdas econômicas provocadas por tempestades de ventos no Sul do Brasil, uma breve apresentação e discussão dos dados obtidos por instrumentos utilizados para captar informações do vento na atualidade e por fim a apresentação e discussão dos métodos de análise descritiva do vento.

3.1.1 Formação do vento

Segundo abordado no estudo [47] o vento pode ser descrito como “A energia de movimento nas correntes de circulação de ar é resultado das diferenças de temperatura e dos gradientes de pressão entre distintas regiões do planeta”. Este mesmo estudo, chega aos principais fatores que influenciam na formação dos ventos, sendo eles:

- Radiação solar;
- Movimento de rotação da terra;
- Variabilidade sazonal de distribuição de energia solar, na superfície terrestre.

Dado o conhecimento dos principais fatores para formação do vento, a Figura 1 apresenta a circulação geral da atmosfera, que mostra como funciona a formação dos ventos levando em conta a radiação solar que incide no globo terrestre, em que, é maior nas zonas equatoriais e menor nas zonas polares, devido ao balanço energético da Terra [13]. Para um aprofundamento maior em relação ao vento e sua formação é recomendado a leitura dos seguintes trabalhos [13], [8], [49] e [35].

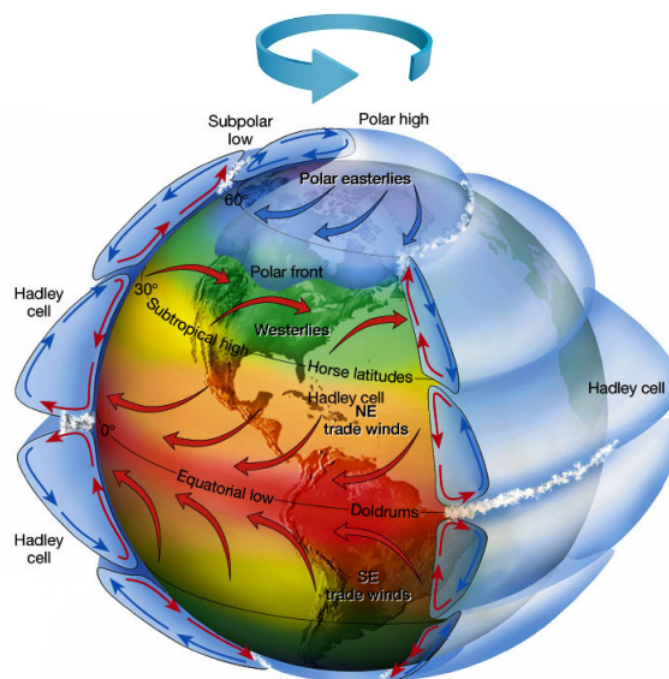


Figura 1: Circulação geral da atmosfera terrestre (Exemplo para fins de explicação).

Fonte: Adaptado de [13]

Na Figura 1 é possível perceber que quando a radiação solar incide sobre a superfície com maior intensidade sobre as zonas equatoriais, o que faz com que este suba para estratosfera, onde, este é resfriado devido às baixas temperaturas encontradas nesta altitude sob as zonas "Hadley cell". Desta forma, o ar ao ser resfriado retorna a superfície sob as Zona terrestre assim gerando um movimento cíclico de aquecimento e resfriamento do ar o que por decorrência deste ciclo "Hadley cell" provoca o movimento do ar gerando assim o vento.

Já nas zonas subpolares ocorre o mesmo ciclo de aquecimento ,porém no sentido inverso, conforme apresentado no "Subpolar low". Tal inversão se deve ao efeito do movimento da massa de ar frio do ciclo "Hadley cell" que acaba descendo sob a superfície da Zona subpolar o que acaba se aquecendo novamente nesta superfície e se resfriando na estratosfera sob os polos nortes e sul. E por fim o ar faz o ciclo reverso até voltar ao ciclo de "Hadley cell" e começar novamente.

O movimento do ar também sofre influência da rotação da terra que impulsiona o ar para um movimento no sentido horário em relação a rotação da terra que é no sentido anti-horário. A variabilidade sazonal de distribuição de energia solar, na superfície terrestre, está relacionado tanto com a mudança de noite e dia como no movimento de translação e precessão da Terra.

3.1.2 Classificação do vento e danos

Neste tópico é explorado os efeitos que o vento proporciona na superfície terrestre , como é medida sua intensidade de dano e quais são os instrumentos de medição que captam dados referentes a velocidade e direção bem como outras variáveis climáticas .

De acordo com os trabalhos [8], [13] e [49] os efeitos que o vento pode proporcionar na superfície está associado a vários fatores como:

- Velocidade do vento;
- Intensidade do vento;
- Direção do vento;
- Rugosidade do terreno;
- Características das construções;
- Tipo de vegetação;
- Altitude da superfície;
- Época do ano.

De acordo com as avarias dentre os fatores abordados o vento pode se comportar tanto de forma benéfica para a civilização humana como ajudar na produção energética, na polonização das plantas, na criação de chuvas e dentre outros. Também pode ser responsável por grandes catástrofes como destruição de construções , destruição de florestas, ser responsável pela formação de tornados , formação de ciclones, formação de furacões e dentre outros fenômenos atmosféricos .

O estudo do vento e seu entendimento se torna crucial para a realização das atividades humanas como sobreviver, reparar, e preparar para os mais variados fenômenos provocados por este. Pensando nisso, diversos estudiosos elaboraram ao decorrer do tempo diversas escalas, que tendem a obtenção de uma classificação qualitativa para determinação dos impactos exercidos pelos ventos nos elementos encontrados sobre o solo ou a água.

Dentre as mais variadas escalas, por meio da Tabela 2 é apresentada a comparação da classificação da velocidade do vento entre quatro escalas utilizadas no Brasil nas mais variadas instituições como Marinha do Brasil, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, Defesa Civil e outras. As escalas são: (i) Escala Brasileira de Ventos-EBRAV, (ii) Escala de Beaufort, (iii) Escala Fujita[19] e (iv) Escala Torro.

Quanto a aplicação destas escalas, tem-se a classificação de áreas para análise de potenciais eólicos até análise de danos de ciclones e tornados. Exemplos de trabalhos e aplicações usando as escalas podem ser vistos em: [43], [8], [34], [23], [29] e outros.

3.1 Vento

Tabela 2: Comparação entre escalas de classificação de danos provocados pela velocidade do vento.

VELOCIDADE DO VENTO EM M / S	EBRAV	CLASSIFICAÇÃO APROXIMADA DA ESCALA BEAUFORT	CLASSIFICAÇÃO APROXIMADA DA ESCALA FUJITA	CLASSIFICAÇÃO APROXIMADA DA ESCALA TORRO
0 a 13,8	0	Entre 1 e 6	-	-
13,8 a 22,22	1	Entre 7 e 8	F0	T0
22,22 a 27,77	2	Entre 9 e 10	F0	T1
27,77 a 36,11	3	Entre 11 e 12	Entre F0 e F1	Entre T1 e T2
36,11 a 44,44	4	12	F1	Entre T2 e T3
44,44 a 55	5	12	Entre F1 e F2	Entre T3 e T4
55 a 72,22	6	12	Entre F2 e F3	Entre T4 e T5
Acima de 72,22	7	12	Entre F3 e F5	Entre T6 e T11

Fonte: Adaptado de [8].

Realizando a comparação entre as escalas de acordo com a Tabela 2, tem-se que a escala de Beaufort é mais detalhada nas classificações para velocidade dos ventos abaixo dos 131km/h e para valores acima esta é ineficaz. Já as escalas Fujita e Torro são mais eficazes para valores superiores 101km/h e ineficazes para valores menores e por fim a EBRV apresenta maior abrangência em detalhamento contemplando tanto valores acima como abaixo dos 101km/h. Embora estas escalas tentem repercutir o efeito do vento na provocação de danos, vale ressaltar, que os danos provocados por uma faixa de velocidade dos ventos variam de região para região, dado que cada região apresenta uma rugosidade de terreno e estruturas de construções diferentes.[8]

3.1.3 Perdas econômicas provocadas por tempestades de Ventos no Sul do Brasil

Neste tópico é apresentado um resumo das perdas econômicas, advindas de desastres naturais na região Sul do Brasil e no estado de São Paulo, dando enfoque nas perdas provocadas pela tempestade de ventos na região e nos setores mais afetados. Vale ressaltar, que embora o estado de São Paulo não seja objeto de estudo neste trabalho, os dados deste foram analisados dada a extensa fronteira com o Paraná. Segue por meio da Tabela 3, um resumo dos danos ocorridos entre 2013 e 2019 e seus eventos geradores. Em que as variáveis Ocor.: corresponde ao número de ocorrências de eventos; P(%): a proporção que o evento representa em relação aos demais eventos em termos de número de ocorrência; Danos (R\$): corresponde às perdas econômicas agregadas do período entre 2013 e 2019; RS%: corresponde a proporção de perdas econômicas em cima dos Danos(R\$), para o estado do Rio grande do Sul e de forma análoga SC%, PR%, SP% correspondendo aos estados de Santa Catarina, Paraná e São Paulo, respectivamente.

3.1 Vento

Tabela 3: Resumos dos danos ocorridos entre 2013 e 2019 no Sul do Brasil e em São Paulo. Os dados econômicos foram corrigidos pela inflação considerando o IPCA.

Evento	Ocor.	P(%)	Danos(R\$)	RS%	SC%	PR%	SP%
Deslizamentos	124	2,51	216.367.366,69	10,48	54,03	2,42	33,06
Corridas de Massa - Solo ou Lama	17	0,34	376.599,42	5,88	64,71	0,00	29,41
Corridas de Massa - Rocha ou detrito	6	0,12	88.107,73	33,33	66,67	0,00	0,00
Subsidiências e colapsos	3	0,06	144.206,98	0,00	33,33	0,00	66,67
Erosão Costeira ou Marinha	30	0,61	4.994.576,84	0,00	100,00	0,00	0,00
Erosão de Margem Fluvial	28	0,57	2.750.172,99	0,00	50,00	0,00	50,00
Erosão Continental - Laminar	1	0,02	1.938.217,30	100,00	0,00	0,00	0,00
Erosão Continental - Boçorocas	3	0,06	143.432,26	0,00	33,33	0,00	66,67
Inundações	411	8,30	1.165.496.600,50	40,88	36,74	3,41	18,98
Enxurradas	1286	25,98	1.677.450.559,06	41,84	39,04	13,61	5,52
Alagamentos	318	6,42	182.805.288,52	18,55	54,72	5,35	21,38
Ciclones - Marés de Tempestade (Ressacas)	33	0,67	30.376.513,44	6,06	81,82	6,06	6,06
Tempestade Local ou Convectiva - Tornados	34	0,69	66.288.413,61	58,82	23,53	8,82	8,82
Tempestade Local ou Convectiva - Granizo	447	9,03	1.101.612.581,86	55,93	25,50	17,00	1,57
Tempestade Local ou Convectiva - Chuvas Intensas	1002	20,24	4.810.585.567,98	27,25	39,42	22,65	10,68
Tempestade Local ou Convectiva - Vendaval	664	13,41	931.519.175,76	44,13	39,76	5,12	10,99
Onda de Frio - Geadas	23	0,46	20.616.611,46	26,09	73,91	0,00	0,00
Estiagem	206	4,16	783.823.814,77	43,20	48,54	0,97	7,28
Incêndio Florestal - Áreas de Preservação Permanente	46	0,93	806.299,63	2,17	10,87	0,00	86,96
Incêndio Florestal - áreas não protegidas,	68	1,37	26.468,91	1,47	7,35	0,00	91,18
Transporte de produtos pedregosos ferroviário	2	0,04	215.369,58	0,00	50,00	0,00	50,00
Incêndios em plantas e distritos industriais, parques e depósitos	14	0,28	42.049.361,10	0,00	50,00	0,00	50,00
Incêndios em aglomerados residenciais	28	0,57	207.027,21	7,14	21,43	0,00	71,43
Colapso de edificações	58	1,17	27.768.676,09	10,34	41,38	1,72	46,55
Outros	98	1,98	1.105,72	12,82	58,15	6,76	22,28

Fonte: Elaboração Própria com base nos dados do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres-S2iD.

3.1 Vento

Ao realizar a comparação das perdas econômicas do evento vendaval com os demais eventos é visto que este ocupa a quinta posição. É percebido também quanto às perdas econômicas provocadas por tempestades de ventos no Brasil que o estado do Rio Grande do Sul e Santa Catarina se sobressaem aos demais. Ao adentrar mais sobre os dados foi possível separar os danos oriundos de tempestades de ventos por setor. Como pode ser visto por meio da Tabela 4.

Tabela 4: Danos por setor da economia provocado por tempestades de ventos entre os anos 2013 e 2019 no Sul do Brasil e em São Paulo. Os dados foram corrigidos pela inflação considerando o IPCA.

Setor	Danos(R\$)	P(%)	SC%	RS%	PR%	SP%
Unidades Habitacionais	115651148,6	12,42	42,0	28,9	4,2	24,8
Instalações públicas de saúde	5949692,37	0,64	3,2	12,2	10,5	74,1
Instalações públicas prestadoras de outros serviços	11816458,21	1,27	10,1	22,1	11,7	56,1
Instalações públicas de uso comunitário	20116421,84	2,16	7,3	14,4	1,5	76,8
Obras de infraestrutura pública	64549678,35	6,93	36,1	31,0	1,8	31,1
Assistência médica, saúde pública	7142734,199	0,77	1,3	27,4	14,3	57,0
Abastecimento de água potável	8638918	0,93	0,6	97,6	0,8	1,0
Esgoto de águas pluviais e sistema de esgotos sanitários	8322060,392	0,89	0,1	98,5	0,0	1,4
Sistema de limpeza urbana e de recolhimento e destinação do lixo	9084385,251	0,98	14,6	70,6	1,3	13,4
Sistema de desinfestação do controle de pragas e vetores	24959,34417	0,00	48,9	42,7	0,0	8,5
Geração e distribuição de energia elétrica	14835654,55	1,59	5,2	66,9	1,1	26,8
Telecomunicações	3041706,191	0,33	8,6	51,7	0,9	38,9
Transportes	23390159,36	2,51	22,4	35,8	0,1	41,8
Distribuição de combustíveis	1850624,693	0,20	0,7	93,2	0,0	6,1
Segurança pública	2033554,625	0,22	17,8	63,3	0,0	19,0
Ensino	9853020,436	1,06	3,9	42,9	6,0	47,2
Agricultura	392704289,5	42,16	2,8	95,5	1,0	0,7
Pecuária	96246796,27	10,33	13,1	84,2	0,4	2,3
Indústria	40345646,82	4,33	10,5	52,6	6,2	30,7
Comércio	56779548,49	6,10	0,6	66,8	5,8	26,9
Serviços	39141718,28	4,20	2,5	80,5	0,0	17,0

Fonte: Elaboração Própria com base nos dados do sistema integrado de informações sobre Desastres-S2iD.

Ao realizar a análise da Tabela 4 é possível identificar os setores que sofreram mais danos em cada estado. Em que fica evidente que no Rio Grande do Sul apresentou maior concentração de danos em relação aos demais estados. Já em relação aos setores que mais sofreram danos estão a agricultura e as unidades habitacionais.

3.1.4 Instrumentos de captação de informação do vento

Em relação aos instrumentos empregados para obtenção de dados a respeito do vento, são apresentados por meio da Tabela 5 os instrumentos utilizados, as variáveis retiradas, a fonte onde podem ser retiradas e uma breve discussão da sua utilização e vantagens.

Tabela 5: Principais instrumentos utilizados para captação de dados climáticos.

INSTRUMENTO	VARIÁVEIS	FONTE	DESCRIÇÃO
Estações meteorológicas automáticas	Velocidade do vento, Direção do vento, Umidade do ar, Temperatura do ar, Pressão atmosférica, Altitude, Longitude, Latitude, Precipitação e Radiação solar	Instituto Nacional de meteorologia - INMET	Dados Horários com cobertura de grande parte do Brasil e considerável histórico de dados
Satélites	Usado para monitorar o tempo e o clima da Terra. Construção de Cartas sinóticas, Formações de nuvens, luzes das cidades, queimadas, efeitos de fontes, aurora, tempestades de raios e poeira, superfícies cobertas por neve e gelo e os limites das correntes oceânicas são algumas informações ambientais coletadas por meio dos satélites meteorológicos.	Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, NASA, Instituto Nacional de pesquisas espaciais-INPE, Earth.nullschool e entre outros	Considerável base de imagens e cobertura de todo o Brasil, No entanto exige um poder computacional maior para análise.
Balões meteorológicos	Pressão atmosférica, Temperatura do ar, Umidade do ar, Direção e velocidade dos ventos	Instituto Nacional de Meteorologia - INMET	Cobertura de pouca área no Brasil e apresenta um histórico pequeno de dados.
Boias meteorológicas	Velocidade do vento, Direção do vento, umidade do ar, temperatura do ar, pressão atmosférica, Longitude, Latitude, Radiação solar e Temperatura da superfície do mar	Marinha do Brasil - Pnboia	Cobertura da costa brasileira com histórico considerável de dados
Estações meteorológicas Convencionais	Velocidade do vento, Direção do vento, Umidade do ar, Temperatura do ar, Pressão atmosférica, Altitude, Longitude, Latitude, Precipitação e Radiação solar	Instituto Nacional de Meteorologia - INMET	Cobertura de pequena área brasileira e obtenção de dados feita de forma manual

Fonte: Elaboração própria

Analisando a Tabela 5, fica evidente que os dados providos das estações meteorológicas automáticas, Boias meteorológicas e as imagens de satélite se demonstraram mais robustas que os demais instrumentos. No entanto, as imagens de satélite exigem mais tempo de processamento para análise das variáveis climáticas. Quanto à aplicação em pesquisas as estações meteorológicas automáticas se demonstram como um dos instrumentos mais empregados para análise das variáveis climáticas e seus efeitos na superfície, fato este se deve a facilidade de manejo dos dados e interpretações.

3.1.5 Análise descritiva do vento

Dado o enfoque deste trabalho no estudo do elemento vento, é essencial descrever ao máximo os dados. Afim de obter as informações necessárias para realização das modelagens e interpretações. Assim este tópico traz uma breve discussão acerca das metodologias de descrição da variável vento usualmente empregadas e validadas pela literatura.

Segue por meio da Tabela 6, um breve resumo das principais metodologias usualmente empregadas para análise descritiva do vento, apresentando as descrições dos métodos, objetivos e algumas referências em que foram empregados.

Tabela 6: Principais métodos de análise descritiva do vento empregados na literatura.

MÉTODO	DESCRIÇÃO	OBJETIVO	REFERÊNCIAS
Wavelets	Fornece um compromisso viável no dilema de resolução de tempo e frequência resultante do princípio da incerteza de Heisenberg. [12].Aplicações em processamento de sinais e imagens,medicina, geofísica e astronomia têm sido abundantes desde o início dos anos 1980, mas as aplicações de wavelets em investigações econômicas são mais recentes.[49]	Investigar a força geral de fenômenos periódicos em relação a frequência e o tempo.	[44],[49],[21] e [31]
Rosa dos ventos temporal	Fornece uma análise temporal discreta da frequência da velocidade do vento em relação a direção do vento.	Investigar as direções do vento e sua velocidade ao longo dos meses por região.	[9], [27] e [5]
Boxplot temporal	Fornece uma análise descritiva em relação aos meses da velocidade do vento.	Investigar possível sazonalidade e padrão de intensidade da velocidade do vento em um período específico.	[9],[27],[5], [44],[21] e [31]
Série temporal	Fornece um estudo temporal da série de velocidade do vento ao longo do período analisado.	Investigar padrões e realizar previsões que geram informações relevantes da velocidade do vento em uma dada região considerando um dado período.	[44],[21] e [31]
Histograma e densidade	Fornece um estudo do comportamento da frequência da velocidade do vento.	Investigar as distribuições de frequência da velocidade do vento de uma dada região.	[44],[49],[21] e [31]

Fonte: Elaboração própria

Em relação aos métodos apresentados por meio da Tabela 6, cada um traz uma peculiaridade em descrever o vento e extrair características importantes dos dados. Desta forma o uso destes se torna um diferencial para auxiliar tanto na caracterização de uma área de risco bem como entender o fenômeno em estudo com as informações disponíveis.

3.2 Revisão da literatura atuarial em relação aos efeitos climáticos no setor segurador

Trazendo os efeitos climáticos no contexto segurador, é visto em trabalhos como [11],[8] e [20] que o risco climático, e mais especificamente as catástrofes naturais, agora são dificilmente seguráveis. As perdas podem ser enormes e o prêmio atuarial puro pode alcançar patamares estratosféricos, e devido à correlação geográfica forte entre os danos. O que acaba proporcionando a não possibilidade de diversificação dos riscos de perdas por catástrofes naturais, por meio do teorema do limite central.

Considerando assim que num futuro próximo pode não haver um mercado de seguros para os eventos climáticos, uma vez que o preço pedido pelas seguradoras pode ser muito mais alto do que o preço que os segurados estão dispostos a pagar. Também deve-se levar em consideração, que o seguro existe apenas se o risco puder ser transferido não apenas para as resseguradoras, mas também para os mercados de capitais (por meio de opções de securitização) [11].

Tem-se a necessidade, tanto no aprofundamento nos eventos climáticos, como, a busca constante por parte das seguradoras em melhores métodos e estratégias que tragam soluções inovadoras. Principalmente nas formas de diluição de risco e busca por novos métodos de previsão de riscos.

Neste contexto, torna-se fundamental entender o que vem sendo desenvolvido como possíveis soluções ou tentativas para mudar o cenário futuro segurador quanto aos eventos climáticos. Assim, por meio da Tabela 7, foi realizada uma breve descrição de alguns trabalhos desenvolvidos em específico voltado para o evento climático tempestade de vento, dado o foco neste trabalho.

Tabela 7: Revisão da literatura atuarial

RESUMO	RESULTADOS	APLICAÇÃO REFERÊNCIA
Os autores propõem um modelo geral de risco de catástrofe individual que permite que as taxas de danos sejam funções aleatórias da intensidade da catástrofe.	Ilustram formalmente o fato em que o risco de catástrofe não pode ser diversificado apenas por meio da cobrança de prêmio, como é o caso com o risco usual do "dia-a-dia",	Modelagem de risco catastrófico de maneira individual [14]
Os autores realizam a seleção, adaptação e desenvolvimento de métodos de valor extremo para uso em seguro contra tempestades de vento. Estes ajustaram uma distribuição Generalizada de Pareto (GPD) univariada e uma nova bivariada.	Constataram que os dois modelos levam a resultados qualitativamente semelhantes, mais que o modelo bi-variado forneceu a imagem mais realista das incertezas reais.	Métodos de valor extremo para uso em seguro contra tempestades de vento. [6]
Os autores ajustaram a distribuição generalizada de valores extremos (GVE) aos dados de velocidade máxima mensal de vento registrados durante um período de 43 anos (1956 a 1971 e 1974 a 2000) em Piracicaba, Estado de São Paulo.	Os autores trazem que a distribuição de Gumbel demonstrou ser a mais adequada para modelar os dados de velocidade máxima de vento em todos os meses do ano.	Métodos de valor extremo para uso de ajustes de dados meteorológicos de velocidade máxima de vento. [4]
Os autores estimaram o prêmio puro único e um prêmio distorcido com base em distribuições de perdas com caldas pesadas para eventos catastróficos.	Chegaram a constatação que se deve usar o prêmio distorcido no caso dos riscos catastróficos e não o prêmio puro,	Análise de interrupção de negócios em seguradoras para eventos catastróficos. [10]
Os autores aplicam teoria estatística dos valores extremos a uma investigação detalhada de um problema de seguro contra tempestades de vento, usando dados de uma estação meteorológica.	Como principais resultados dizem respeito ao uso de informações meteorológicas no seguro de vendavais em que o uso destes dados foram úteis tanto para ajustar os modelos como tirar informações indispensáveis	Aplicação de estatística de valores extremos em seguro contra tempestade de ventos. [37]

Fonte: Elaboração própria

Ao realizar o aprofundamento dos trabalhos apresentados por meio da Tabela 7, ficou consolidado o uso da previsão probabilística da ocorrência de ventos extremos, sendo está de vital importância para o planejamento das atividades sujeitas a seus efeitos adversos. Também foi realizado o aprofundamento nos trabalhos [14], [46], [42], [4], [7], [2], [3] e [25], em que todos estes trabalhos, bem como os apresentados na Tabela-7, abordam a teoria dos valores extremos proposta por [17]. Segundo esta teoria, existem três tipos de distribuições assintóticas de valores extremos, a tipo I de Gumbel, a tipo II de Fréchet e a tipo III de Weibull.

Tais distribuições são frequentemente utilizadas para estimar probabilidades de ocorrência de ventos acima de valores pré-estabelecidos ou para se prever o valor máximo de velocidade de vento em determinados períodos de tempo. Um problema que surge na prática em relação ao ajuste é o da escolha da distribuição de valores extremos mais adequada para uma amostra de dados, em particular.

Como alternativa para este problema, os trabalhos induzem à utilização da distribuição generalizada de valores extremos (GVE), desenvolvida por [24], que pode ser considerada como uma família de distribuições, que inclui como casos particulares, os três tipos de distribuições assintóticas de valores extremos. Quanto aos tipos, origem e acesso dos dados empregados nos trabalhos estão:

- Os dados de perdas econômicas por tempestade de vento provindos por meio de parcerias entre pesquisadores e seguradoras ou resseguradoras, o que torna as análises fechadas a localidade e histórico de dados restritos.
- Os dados de perdas proveniente de simulações baseados em parâmetros oferecidos por órgãos regulamentadores ou por centros especializados. Quanto ao acesso não depende de parcerias. No entanto, para fins de estudo e aprofundamento se torna limitado.
- Os dados de perdas provindos de simulações baseadas em modelos probabilísticos em dados meteorológicos de uma dada região ou localidade. Acesso público aos dados e contando com uma série histórica bem vasta e de diversas fontes.

Neste contexto, avaliando as distintas soluções apresentadas, os métodos empregados e informações disponíveis referente a avaliação das tempestades de ventos e seus danos, foi possível estabelecer o alinhamento deste projeto quanto às escolhas dos métodos implementados, os dados usados e as principais premissas adotadas.

4 Material e métodos

Nesta seção, é abordado delineamento de como este estudo foi realizado, afim de atingir o objetivo de obter o máximo de informações disponíveis acerca do evento tempestade de ventos no Sul do Brasil. E também o objetivo de classificar os locais de risco no Sul do Brasil. Este estudo foi dividido em quatro passos principais, sendo eles:

- Obtenção e tratamento dos dados meteorológicos confiáveis e disponíveis, considerando as informações que descrevessem o evento em estudo;
- Aplicação de análises descritivas que trazem uma forma diferente de entender o fenômeno tempestade de ventos, auxiliando assim, na obtenção de novas perspectivas de análises tanto qualitativas como quantitativas;
- Aplicação dos ajustes das distribuições de valores extremos nos dados meteorológicos e aplicação dos testes de aderência.
- Classificação dos locais e áreas de risco, por meio da probabilidade estimada das distribuições ajustadas em cada localidade em estudo no Sul do Brasil .

Para fins de visualização de como os sub passos estão envolvidos neste estudo segue por meio da Figura 2 o fluxograma dos sub passos.

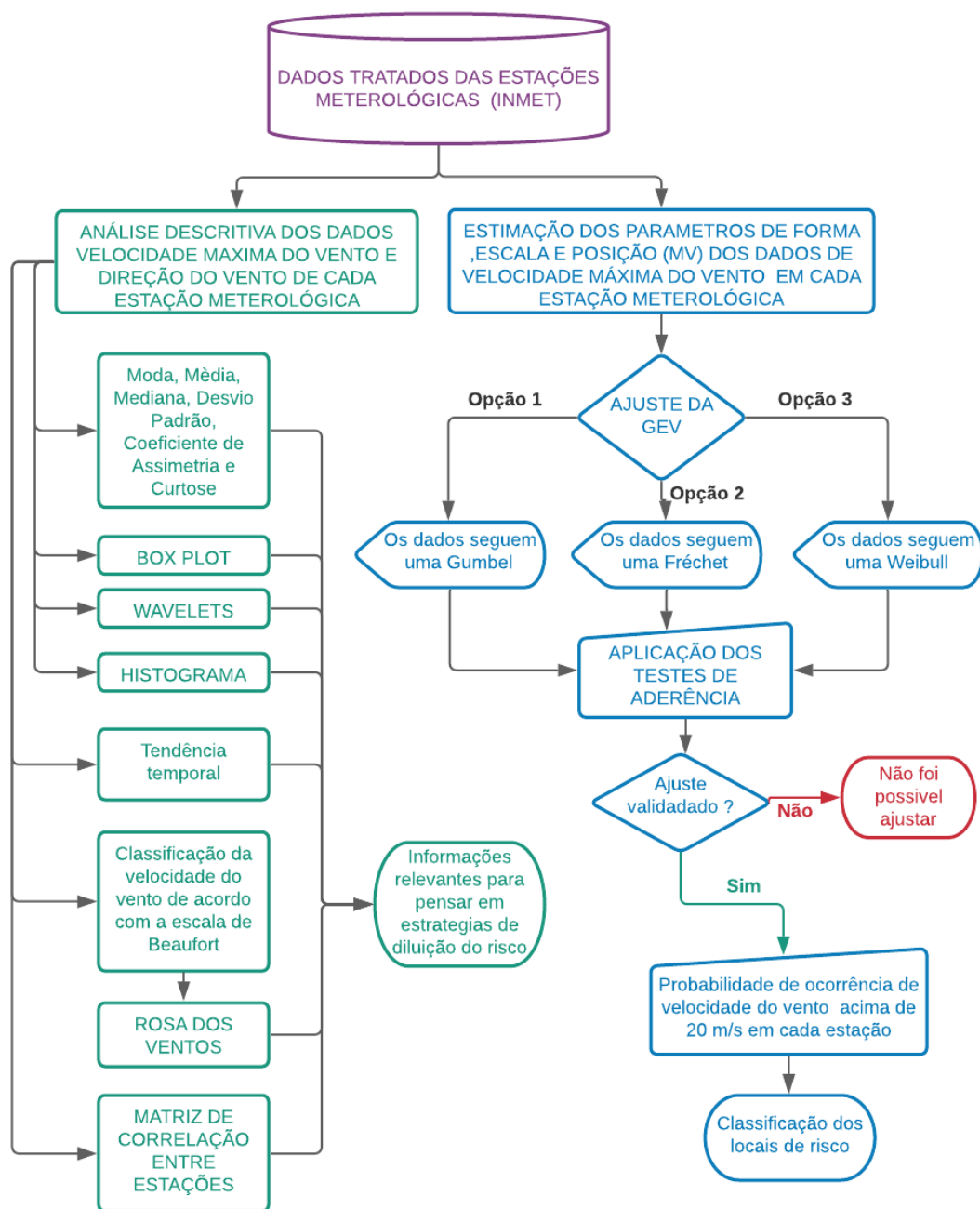


Figura 2: Fluxograma de sub passos dos métodos de análise e estimação empregados neste trabalho

Fonte: Elaboração Própria

Quanto ao *software* usado neste trabalho para realização do tratamento dos dados, análises descritivas e o ajuste das distribuições generalizadas de valores extremos foi o *software* "Rstudio"¹, desenvolvido por [33].

¹Para acesso aos dados trabalhados e aos códigos em R desenvolvidos acessar o link: https://drive.google.com/drive/folders/1000RgR_gx5fkcttT4XqQQZV3TdrWD6pH?usp=sharing

4.1 Dados meteorológicos

Os dados são provenientes das estações meteorológicas do Sul do Brasil, obtidas por meio do Instituto Brasileiro de Meteorologia - INMET, sendo 42 estações meteorológicas automáticas de coleta de dados selecionadas. Em cada estação foram retiradas 95.688 (correspondendo a uma série horária de 10 anos) observações salvo uma que apresentou 69.840 observações (correspondendo a uma série horária de 8 anos) e todas apresentaram 17 variáveis.

Vale ressaltar, que estas estações foram escolhidas levando em consideração a baixa presença de dados faltantes (apenas poucos casos devido a manutenção) e um período mínimo de 8 anos de funcionamento. Dentre as 17 variáveis disponíveis, neste estudo foram utilizadas apenas duas sendo: DIREÇÃO HORÁRIA DO VENTO ($^{\circ}$ (gr)) e RAJADA MÁXIMA HORÁRIA DO VENTO (m/s).

Quanto ao tratamento dos dados faltantes nas estações, foi realizado o cálculo da média do valor entre os dados da mesma hora, dia e mês de todos os anos, afim de substituir estes dados faltantes. Após o tratamento dos dados das estações, foi realizada a codificação e descrição de localidade de cada estação meteorológica conforme apresentado por meio dos Anexo 1 e Anexo 2.

Após a coleta dos dados destas estações foi realizado o agrupamento em 14 áreas em que cada área contém 3 estações meteorológicas. Para criação das divisões foi levado em consideração a cobertura de maior área entre três estações e considerando a distância máxima entre estas de 400 km. Os grupos são apresentados por meio da Figura 3.

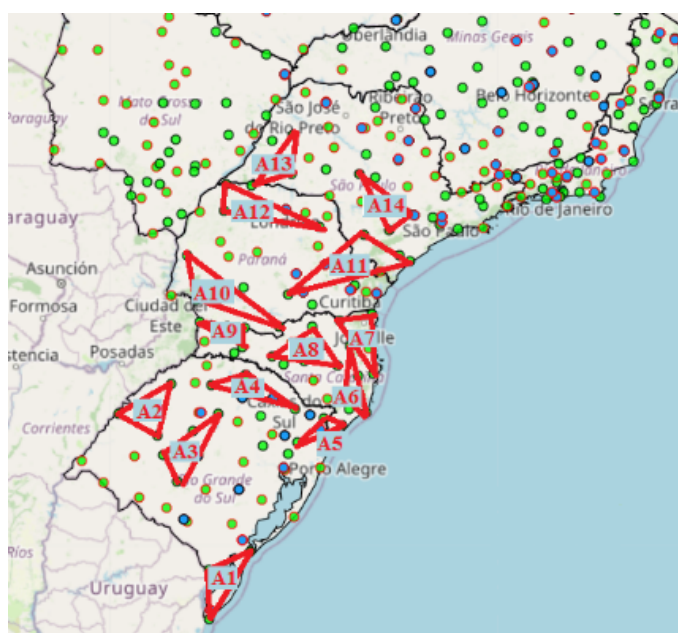


Figura 3: Divisão de grupos das estações meteorológicas.

Fonte: Elaboração Própria com base nos dados do Instituto Brasileiro de Meteorologia - INMET.

Na Figura 3, é observado que em Santa Catarina os grupos ficaram muito próximos. No entanto, estas áreas próximas são discutidas e analisadas suas diferenças e proximidades nos resultados ao analisar a matriz de correlação. Vale ressaltar, que neste trabalho a divisão das estações em grupos apenas foi realizado para fins de facilitar as interpretações dada a proximidade entre as estações.

4.2 Análises descritivas

Neste tópico, é abordado como foram realizadas as interpretações dos métodos de análises descritivas usados, e como foi a obtenção de padrões importantes para auxiliar na classificação das localidades quanto aos riscos e suas características. É importante estabelecer que apenas é apresentado neste tópico, os métodos não triviais usados sendo boxplots temporal, Transformada de Wavelets e rosa dos ventos.

Já os métodos de cálculo bem como as análises das estatísticas descritivas básicas, como a Matriz de correlação, média, moda, mediana, desvio padrão, coeficientes de assimetria e curtose. Não são apresentados, mais foram calculados e apenas apresentados por meio de uma tabela para auxiliar nas interpretações².

4.2.1 Boxplot

O método de boxplot foi empregado neste estudo com o objetivo de entender se os dados apresentam um comportamento próximo nos meses mesmo com o passar dos anos, e caracterizar os meses que apresentam maior chance de ocorrência de ventos catastróficos acima de 20 m/s segundo a escala Beaufort. Para melhor entendimento de como foram feitas as interpretações e retiradas de informações do Boxplot, segue por meio da Figura 4 o exemplo da estação A1E3.

²Para acesso a tabela das estatísticas descritivas básicas dos dados de cada estação acessar o link: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1AGZUycYV7iiBq8ZEDPgwwPmKkGkB-2NWO3AhIS2lq7w/edit?usp=sharing>

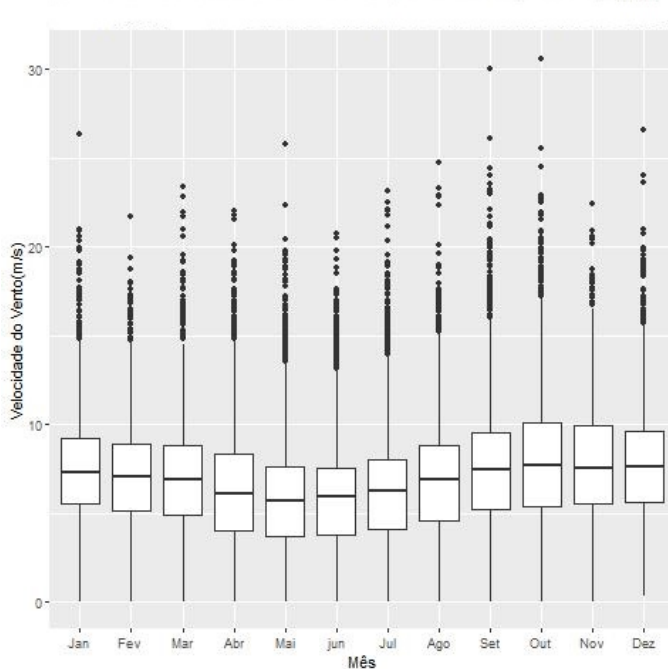


Figura 4: Boxplot mensal dos dados de rajada máxima horária do vento(m/s) da estação meteorológica A1E3 no período de 2010 á 2020.

Fonte: Elaboração Própria com base nos dados do Instituto Brasileiro de Meteorologia - INMET.

Ao realizar a análise da Figura 4, é visível um comportamento sazonal no ocorrer dos meses, em que a mediana apresenta valores baixos entre os meses de maio e junho, e apresenta valores mais altos entre os meses de setembro e dezembro. Assim, dado o exemplo é possível retirar com o uso do Boxplot informações como existência ou não de um comportamento sazonal ao longo dos meses e os períodos em que é mais provável e menos provável de ocorrer velocidade de ventos consideradas destrutivas em uma dada localidade. Dado o número elevado de gráficos, as análises tiveram que ser resumidas em uma tabela ³.

4.2.2 Transformada de Wavelets

Dada a evidência de um comportamento sazonal nas séries de dados de velocidade máxima do vento, se torna crucial o entendimento destes padrões sazonais e se esses estão atrelados a ocorrência ou não dos eventos extremos de tempestade de Ventos . Dentre os métodos de decomposição de sinais de séries temporais, está a transformada de wavelets que é um avanço recente em processamento de sinais que tem atraído muita atenção desde seu desenvolvimento teórico em 1984 por Grossman e Morlet.

Esta ferramenta é apropriada para analisar eventos irregularmente distribuídos e séries temporais que contenham potências não estacionárias em diferentes frequências. Por isso, a transformada de wavelets está se tornando uma ferramenta comum para analisar variações locais

³Para acesso aos gráficos de Boxplot de todas as estações acessar o link: <https://drive.google.com/drive/folders/1S2gUbSpSjNw5P4T-ywssb49cTYJu9U9R?usp=sharing>

de potência dentro de uma série temporal [39].

Assim a aplicação da transformada de wavelets neste trabalho tem como objetivo principal decompor as séries temporais unidimensionais de velocidade máxima do vento em uma imagem bidimensional difusa simultaneamente no domínio tempo frequência. E assim, por meio desta imagem bidimensional obter informações sobre a amplitude de qualquer sinal periódico dentro da série, como esta amplitude varia com o tempo e ver a significância global na detecção dos padrões. Quanto ao cálculo da transformada de wavelets $W_n(s)$ parte do produto interno (ou convolução) da função wavelets com a série temporal original como pode ser visto por meio da Equação 1[39].

$$W_n(s) = \sum_{n'=0}^{N-1} x'_n \Psi * \left[\frac{(n' - n)\delta t}{s} \right] \quad (1)$$

em que, s é o parâmetro de “dilatação” usado para mudar a escala; n é o parâmetro de translação usado para deslizar no tempo; N o tamanho da série temporal; x_n são os valores da série; δt intervalo de tempo constante separado por cada valor de x'_n ; $W_n(s)$ e a notação da transformada de wavelets e por fim o asterisco (*) que denota conjugado complexo. Para aprofundamento nos cálculos envolvidos por trás deste método é sugerida a leitura dos trabalhos como [39], [15] e [41].

Como os dados neste estudo são distribuídos de forma horária, os parâmetros para a análise wavelet foram configurados como $\delta t = 1\text{ hora}$ e $s_0 = 2\text{ horas}$ porque $s = 2\delta t$. A realização do cálculo para a geração dos gráficos neste trabalho foi realizada por meio do pacote [36].

Já em relação aos resultados, foi realizado por meio das análises dos gráficos de Espectro de potência global (análise da significância da detecção das frequências a nível de 5% e 10%) e Espectro de potência wavelet (figura bi-dimensional). Para fins explicativos segue por meio da Figura 5 o gráfico do espectro de potência global e o gráfico de espectro de potência wavelet da série velocidade máxima dos ventos (m/s) da estação A1E3.

Na Figura 5, ao observar o gráfico de Espectro de potência global, As frequências Anual, mensal e semanal da série analisada é confirmada por uma integração da potência sobre o tempo e uma média temporal das potências existentes entre o início e fim da série analisada, que mostram nesta frequência um pico significativo acima do nível de confiança de 95%.

Quanto às informações relevantes retiradas do espectro de potência global, tem-se uma estimativa não tendenciosa e consistente do espectro de potência verdadeiro da série temporal, e assim ele é um meio simples e robusto para caracterizar a variabilidade das séries. Quanto a interpretação da potência média da wavelets, quando alta, apresenta as horas com ventos extremos e quando baixa, apresenta ventos leves.

Já o gráfico de espectro de potência wavelets mostra a potência (valor absoluto ao quadrado)

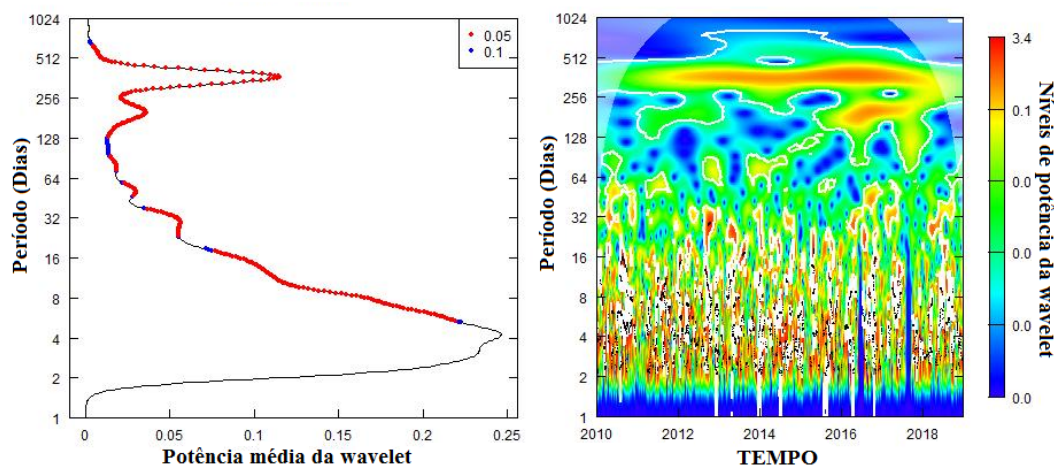


Figura 5: Gráfico de espectro de potência global a esquerda e o gráfico de espectro de potência wavelet a direita, da série velocidade máxima dos ventos (m/s) da estação A1E3.

Fonte: Elaboração Própria.

da transformada wavelets para os totais das velocidade máxima de ventos horária na estação A1E3 e fornece informação sobre a potência relativa em uma certa escala e em um certo tempo mostrando as oscilações reais das wavelets individuais, ao invés de apenas a sua magnitude. Observando a imagem do espectro de potência wavelets é mostrado que essa série temporal tem um sinal anual forte ao analisar o período entre 256 dias e 512 dias.

Dado o número elevado de gráficos, as análises tiveram que ser resumidas em uma tabela para apresentação dos resultados. Em relação às informações relevantes retiradas está na variabilidade da série e períodos que tiveram alta potência média da wavelet ⁴.

4.2.3 Rosa dos ventos

O gráfico da rosa dos ventos, é empregado neste trabalho com três finalidades descritivas, sendo a primeira, classificar a direção predominante do vento em conjunto com as suas intensidades classificadas por meio da escala de Beaufort; a segunda, em detectar se com as mudanças trimestrais simulando as estações do ano, ocorre mudanças significativas no comportamento do vento e a terceira se é possível caracterizar a época e direção do vento que houve ocorrência de ventos catastróficos.

Para fins de explicação de como foi realizada as análises e como foi retirada as principais informações acerca da rosa dos ventos, segue o gráfico de rosa dos ventos trimestrais da estação A1E3 apresentado por meio da Figura 6.

⁴Para acesso aos gráficos de espectro de potência global e espectro de potência wavelet acessar o link: https://drive.google.com/drive/folders/luCAG6bQARyiVGH1EDp_Qp_M8iyzw1Et1?usp=sharing

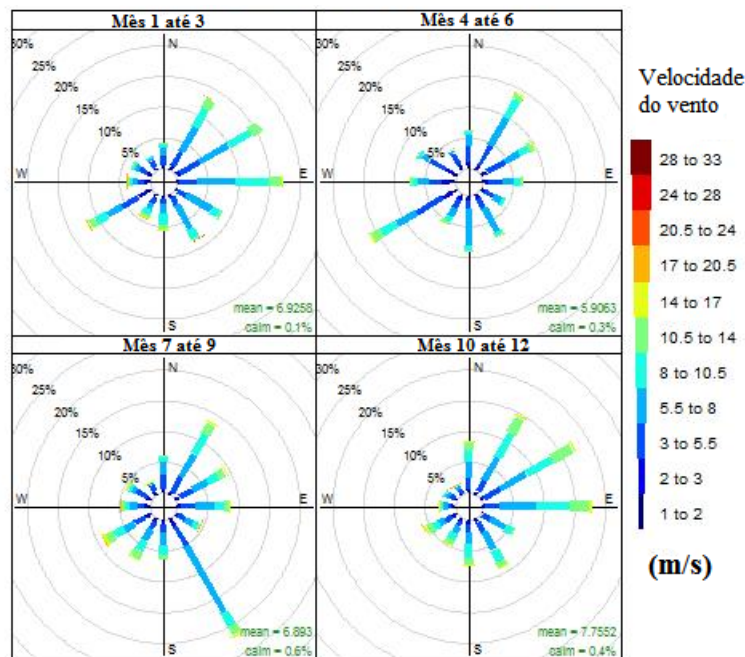


Figura 6: Rosas dos ventos trimestrais no período de 2010 até 2020 da velocidade máxima do vento na estação A1E3 ,com intensidade de danos classificadas segundo a escala de Beaufort.

Fonte: Elaboração Própria com base nos dados do Instituto Brasileiro de Meteorologia - INMET.

Na Figura 6, é observado a mudança significativa no comportamento da direção e intensidade dos ventos do segundo para o quarto trimestres, em que houve um aumento significativo de ventos superiores a 8 m/s. Já o primeiro trimestre apresentou um cenário próximo ao quarto trimestre. Em relação a caracterização das épocas em que ficou evidenciado maior ocorrência de ventos extremos estão relacionadas ao primeiro e terceiro trimestres e com a concentração no terceiro quadrante.

Os quadrantes são definidos como a divisão da circunferência por 4 partes de 90° , em que, o primeiro quadrante varia 90° de leste para sul, o segundo varia 90° de norte para oeste, o terceiro varia 90° de oeste para sul e o quarto quadrante variando 90° de sul para leste. Dado o número elevado de gráficos, as análises tiveram que ser resumidas em uma tabela para apresentação dos resultados.

Em relação as informações relevantes retiradas está a época e os quadrantes que apresentaram a maior concentração de ventos extremos e o quadrante que apresentou maior concentração de dados de direção dos ventos ⁵.

⁵Para acesso aos gráficos rosa dos ventos das estações acessar o link: <https://drive.google.com/drive/folders/156kIb6vUIAlSy2vkDLsSXlM5P3dQZDOv?usp=sharing>

4.3 Teoria de valores extremos

A Teoria de Valores Extremos (TVE) em probabilidade é o campo que estuda o comportamento estocástico de extremos associados a um conjunto de variáveis aleatórias com função de distribuição qualquer $F_X(x)$. que trata dos valores extremos (máximo e mínimo) de uma série, estas séries provêm de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (*i.i.d*), aplicadas em diversas áreas do conhecimento desde aplicações em climatologia até em precificação atuarial para catástrofes. [4]

Esta teoria apresenta um importante resultado que se $(X_n), n \in \mathbb{N}$ é uma sequência de variáveis aleatórias reais *i.i.d.* de máximos, possui uma distribuição limite quando $n \rightarrow \infty$, que estuda o comportamento estatístico de:

$$M_n = \max(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (2)$$

Em que as variáveis aleatórias $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ são independentes e têm em comum entre si, uma função de distribuição qualquer $F_X(x)$. Na prática, X_n geralmente representam medidas em intervalos de tempos regulares. Como por exemplo uma série de dados diários de velocidade máxima de vento de uma dada região. Assim temos que, M_n representa o valor máximo do processo ao longo do tempo depois de n observações, a distribuição dos valores de M_n pode ser obtida por:

$$F_{M_n} = P(M_n \leq x) = P(X_1 \leq x, \dots, X_n \leq x) = \prod_{i=1}^n P(X_i \leq x) = [F_X(X)]^n \quad (3)$$

Em que $x \in \mathbb{R}$ e $n \in \mathbb{N}$

A distribuição de M_n apresenta uma limitação que quando n cresce acaba sendo degenerada assim não fornecendo muita informação relevante. Esta limitação pode ser sanada pelo teorema, apresentado a seguir.

Teorema 1 (Fisher-Tippett, 1928). *Seja X_n uma sequência de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (*i.i.d*). Se existirem sequencias de constantes normalizadoras $\sigma_n > 0$ e μ_n , tal que*

$$\frac{M_n - \mu_n}{\sigma_n} \rightarrow F_X^*(X) \quad (4)$$

quando $n \rightarrow \infty$, em que $F_X^(X)$ é uma função que segue uma distribuição não degenerada, então $F_X^*(X)$ pertence a uma das seguintes famílias:*

$$F_X^*(X) = \exp \left\{ \exp \left[- \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right] \right\}, I_{[-\infty, \infty]}(x) \quad (5)$$

$$F_X^*(X) = \begin{cases} 0 & , \text{ se } x \leq 0 \\ \exp \left\{ - \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) - \xi \right\} & , \text{ se } x > 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$F_X^*(X) = \begin{cases} \exp \left\{ -\exp \left[- \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) \xi \right] \right\} & , \text{ se } x \leq 0 \\ 1 & , \text{ se } x > 0 \end{cases} \quad (7)$$

Assim, por meio do Teorema 1 a distribuição de $\frac{M_n - \mu_n}{\sigma_n}$ converge para uma das três famílias apresentadas nas Equações 5, 6 e 7 denominadas de distribuições de valores extremos. Sendo estas conhecidas como Gumbel, Fréchet e Weibull. Cada uma apresenta em comum um parâmetro de posição e de escala μ e σ , respectivamente. As famílias de Fréchet e Weibull possuem um parâmetro de forma ξ .

4.3.1 Distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV)

Os três tipos de famílias de distribuições no Teorema 1, podem ser unificadas em uma distribuição generalizada de valores extremos, ao combinar as três famílias em uma forma generalizada, e sua função de distribuição acumulada de probabilidade, pode ser expressa da conforme apresentado na Equação 8:

$$F_X^*(X) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi - \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \right\} \quad (8)$$

, sendo definida em $\{x : 1 + \xi \left(\frac{x-\mu}{\sigma} \right) > 0\}$, em que, os parâmetros satisfazem $-\infty \leq \mu \leq \infty$, $\sigma > 0$ e $-\infty \leq \xi \leq \infty$. Esta é a família de distribuições de valores extremos generalizada GEV que possui três parâmetros: um parâmetro de posição, μ ; um de forma ξ , e um de escala σ . Assim, se configura em um modelo tri-paramétrico, em que o parâmetro ξ determina a forma da distribuição, quando:

- $\xi > 0$ tem-se a distribuição Fréchet,
- $\xi < 0$ obtém-se a distribuição de Weibull,
- $\xi \rightarrow 0$ tem-se a distribuição Gumbel.

Já em relação a função densidade de probabilidade da Distribuição GEV é expressa pela Equação 8.

$$f_X^*(x) = \frac{1}{\sigma} \left\{ \left[1 + \xi - \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-\left(\frac{1+\xi}{\xi}\right)} \right\} \exp \left\{ - \left[1 + \xi - \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \right\} \quad (9)$$

sendo definida em $-\infty \leq \mu \leq \infty$, $\sigma > 0$ e $-\infty \leq \xi \leq \infty$.

Os parâmetros μ , σ e ξ apresentados na Equação 8 são desconhecidos. No entanto, neste trabalho

a estimação destes parâmetros partiu dos dados de velocidade máxima do vento em cada estação meteorológica do Sul do Brasil. Já para obtenção destes parâmetros foi usada a biblioteca [45], em que, por meio desta foi aplicado o método de máxima verossimilhança para obter as estimativas dos parâmetros.

O método da Máxima Verossimilhança consiste de uma metodologia desenvolvida por Fisher em 1922, no qual se busca a maximização da probabilidade de um parâmetro representar uma população, maximizando a densidade conjunta dos elementos amostrais [30]. Para maior aprofundamento em como é estimado os parâmetros por meio do método da verossimilhança e sugerido a leitura de trabalhos como [4] e [40] que é base da construção da biblioteca "evd".

Após realizado os ajustes das distribuições por meio do método de máxima verossimilhança ⁶, foi aplicado os testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS), Filliben (Fi) e de Anderson-Darling (AD) para verificar a aderência de cada distribuição ajustada. O nível de significância utilizado em todos os testes foi de 5% , sendo testada a seguinte hipótese:

$$\begin{cases} H_0 : F_0(x) = F_X(x), \forall x \\ H_1 : F_0(x) \neq F_X(x) \end{cases}$$

em que $F_0(x)$ representa a função de distribuição acumulada empírica dos dados. e $F_X(x)$ representa a função de distribuição acumulada assumida para os dados.

4.3.2 Teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS)

O teste de Kolmogorov-Smirnov [26], criado por Andrei Kolmogorov e Nikolai Smirnov , testa a hipótese de que as frequências observadas podem ser representadas pela distribuição de probabilidade. A estatística do teste é obtida pela diferença máxima entre as funções de probabilidades acumuladas, empírica e teórica. O valor crítico do teste ($|\Delta F|_{tab}(n, \alpha)$) é obtido em função do nível de significância testado e do tamanho da amostra, o qual se rejeita a hipótese nula caso este valor supere o valor da estatística do teste ($|\Delta F|_{max}$) [30]:

$$|\delta F|_{max} \leq |\delta F|_{tab}(n, \alpha) \tag{10}$$

O valor de $|\delta F|_{tab}(n, \alpha)$ adotado foi de $|\delta F|_{tab}(10000, 0.05) = 0,0368781$, dado que o n é maior que 50 o valor tabelado foi obtido pela fórmula $|\delta F|_{tab}(n, \alpha = 0.05) = \frac{1,36}{\sqrt{n}}$. Para realização do teste foi usado o pacote [22].

⁶Para acesso aos Gráficos Quantílico, Retorno de nível, probabilidades e gráfico do ajuste da densidade nos dados originais podem ser vistos ao acessar o link: <https://drive.google.com/drive/folders/1gy1Z4X8AtFVhPTMLLIco85ASGx4vpcxf?usp=sharing>

4.3.3 Teste de aderência de Anderson-Darling (AD)

O teste de Anderson-Darling, criado em 1954 por Theodore e Donald, procura ponderar de maneira mais efetiva as caudas das distribuições, devido à possibilidade de observações maiores ou menores da amostra em alterar a qualidade do ajuste. O teste baseia-se na diferença entre as funções de probabilidades acumuladas, empírica e teórica [18]. A estatística de teste Anderson-Darling é dada por:

$$AD^2 = -N - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{(2i-1) \cdot \ln[F(X)] + [2(n-i)+1] \cdot \ln[1-F(X)]\} \quad (11)$$

em que AD^2 é a estatística do teste; i é a ordem de cada elemento da série; $F(X)$ é a probabilidade de não excedência calculada pela distribuição de probabilidade com os dados em ordem crescente; $1-F(X)$ é a probabilidade excedência calculada pela distribuição de probabilidade com os dados em ordem decrescente e n é o tamanho da amostra.

Se o valor calculado do teste AD^2 for menor que o tabelado, admite-se que a distribuição de probabilidades se ajusta ao conjunto de dados observados. Como os valores críticos para a distribuição GEV são inexistentes, utilizaram-se os valores da distribuição Gumbel para testar a aderência desta distribuição, às séries de dados [1].

O valor tabelado usado para comparação em todos ajustes foi considerando um valor amostral de $n = 10000$ e $AD_{Tabelado} = 0,787$. Para valores de AD^2 elevados as funções diferem muito e a adequabilidade do modelo é rejeitada. Para valores menores que os tabelados (dependentes da distribuição e do grau de significância), os modelos foram classificados adequadamente. Para realização do teste foi usado o pacote [38].

4.3.4 Teste de aderência de Filliben (Fi)

O teste de Filliben [16], estima o coeficiente de correlação (r) entre as observações $F_X^{-1}(1q_i)$ e (q_i) que representa a probabilidade empírica correspondente à ordem de classificação i . Quando $r_{Fi} > r_{Tab}$, admite-se que a amostra pode ser representada pela respectiva distribuição testada. Os valores críticos do teste de Filliben são específicos para cada distribuição, enquanto a estatística do teste de Filliben é apresentada por meio da Equação 11.

$$r_{Fi} = Corr(X, M) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \cdot (M_i - \bar{M})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}} \quad (12)$$

em que r_{Fi} é a estatística do teste; X_i é o i -ésimo valor observado; \bar{X} é a média dos valores observados; M_i é o i -ésimo valor estimado; \bar{M} é a média dos valores estimados. Quanto ao valor de r_{Tab} segundo a tabela apresentada no trabalho [16], considerando $n=10000$ e nível de significância 0,05 é $r_{Tab} = 0,525$. Para realização do teste foi usado o pacote [32].

4.4 Análise de tendência

A análise de tendência neste trabalho tem como foco auxiliar na avaliação do comportamento das séries dos dados de velocidade máxima do vento ao decorrer dos anos. Considerando Y_t^j a série de dados de velocidade máxima dos ventos em uma dada estação meteorológica j e assumindo que esta variável é gerada por um processo estocástico simples, como pode ser descrito por meio da Equação 13.

$$Y_t^j = TD_t + u_t \quad (13)$$

Em que, $TD_t = a + bt$ é chamado usualmente de tendência determinística, sendo a e b constantes reais, t é a variável tempo e u_t é um processo estocástico estacionário com média nula. Desta forma, dado o enfoque apenas na variável tendência da série, a expressão $TD_t = a + bt$ representa uma linha reta que, quando temos $b \neq 0$, possui uma inclinação que pode ser positiva ou negativa. Neste caso, a inclinação indica que uma parte de Y_t^j cresce ou decresce persistentemente no tempo, daí representando uma tendência. Será uma tendência de crescimento ou positiva se $b > 0$, e de decrescimento negativa se $b < 0$. [28]

5 Resultados

Esta seção está dividida em quatro subseções, sendo resultados das análises descritivas, resultados dos ajustes das distribuições generalizadas de valores extremos dos dados de velocidade máxima do vento em cada estação meteorológica, classificação das estações e áreas de risco e por fim, uma breve discussão dos resultados obtidos.

5.1 Análises descritivas

Nesta subseção, são apresentados os resultados das análises descritivas básicas dos dados de velocidade do vento máxima de cada estação meteorológica por meio das Tabelas 8 e 9. E a matriz de correlação entre as estações por meio da Figura 7. Quanto às análises descritivas wavelets, rosa dos ventos, tendência e boxplot temporal são apresentadas na seção classificação de risco afim de facilitar a apresentação dos resultados.

5.1 Análises descritivas

Tabela 8: Estatísticas básicas - Parte I.

Estações	Maximo(m/s)	Mediana(m/s)	Minimo(m/s)	Média(m/s)	Variância	kurtosis	Skewness
A1E1	34.2	11.4	0	11.2453	25.8684	0.8337	-0.1701
A1E2	32	9.8	3.3	10.2190	12.3446	2.6593	1.1474
A1E3	30.6	10.2	3.5	10.6359	11.0358	1.6931	0.9389
A2E1	36.6	7.9	0	8.4253	10.9996	5.3627	1.5928
A2E2	32	8.8	0	9.0112	13.1951	3.0027	0.8586
A2E3	42.6	8.9	3.6	9.4273	10.5731	6.9631	1.6552
A3E1	24.7	8.7	3.5	9.0964	8.2926	1.7806	1.0942
A3E2	30.5	8.9	0	9.3037	10.6384	2.7698	1.0691
A3E3	34.8	10.4	3.8	10.9741	11.7446	3.9789	1.4502
A4E1	26.1	8.1	0	8.1124	12.2762	1.4666	-0.1632
A4E2	28.7	9.3	2.1	9.7834	10.0449	2.2901	1.1813
A4E3	44.8	9.9	4.1	10.6230	17.9860	19.6414	3.3973
A5E1	39.8	9.6	3.5	10.0497	9.8228	6.2589	1.5222
A5E2	29.5	8.4	2.1	8.8239	11.7720	1.6765	0.9588
A5E3	44.4	11.1	4	12.2248	13.0732	3.9595	1.5948
A6E1	36.7	12.3	0	12.9518	34.6073	-0.0053	0.2729
A6E2	33.1	6.6	0	6.8097	8.0590	4.9761	1.1770
A6E3	35.1	6.5	0	6.9843	11.5353	4.9511	1.5126
A7E1	27	7.7	0	8.0024	10.1943	2.3830	0.7591
A7E2	22.5	6.7	0	6.8239	6.6879	1.6982	0.6788
A7E3	28.2	9.4	0	9.5156	6.8107	1.9393	0.5068

Fonte: Elaboração Própria com base nos dados do Instituto Brasileiro de Meteorologia - INMET.

Tabela 9: Estatísticas básicas - Parte II.

Estações	Maximo(m/s)	Mediana(m/s)	Minimo(m/s)	Média(m/s)	Variância	kurtosis	Skewness
A8E1	31.1	6.7	0	7.0912	11.0920	3.4848	1.1533
A8E2	30.9	8.5	0	9.1348	12.1005	2.8900	1.3267
A8E3	28.2	9.5	0	10.0180	14.3158	1.7197	0.9797
A9E1	25.9	9.3	4.1	9.9223	11.0164	0.9662	1.0327
A9E2	32.8	10	0	10.4914	14.1553	0.6433	0.7927
A9E3	32	10.2	0	10.4532	12.5003	1.6431	0.6108
A10E1	23.7	7.6	1.8	7.9622	7.6433	1.9532	1.0218
A10E2	35.2	9.1	0.5	9.6582	12.1050	4.0078	1.4406
A10E3	34.6	10.2	0	10.6340	12.6148	3.7755	1.2771
A11E1	34.2	6.6	0	7.0043	11.5646	3.6488	1.0271
A11E2	24.7	9.2	0	9.4445	9.9370	1.3939	0.6665
A11E3	24.7	7.8	0.2	7.9277	8.0376	1.8309	0.8266
A12E1	33.4	9.1	0	9.3679	11.1945	2.6380	1.0397
A12E2	27.8	8.4	0	8.6210	10.7104	1.8650	0.9334
A12E3	32.2	8.8	0	9.1284	8.4759	3.2671	1.0526
A13E1	31	10.3	3.8	10.7874	13.7537	1.0414	0.8231
A13E2	24	8.5	0	8.8735	10.6588	1.3559	0.8172
A13E3	24.5	8.5	4	8.8540	10.7682	1.5013	1.0009
A14E1	23.8	7.8	0	8.1579	6.1724	2.5152	1.1641
A14E2	25	9.1	0	9.4426	8.8179	2.2899	1.1146
A14E3	24.7	9.1	0	9.3927	9.2739	2.0735	0.9996

Fonte: Elaboração Própria com base nos dados do Instituto Brasileiro de Meteorologia - INMET.

Ao realizar uma breve análise das estatísticas descritivas básicas apresentadas por meio das Tabelas 8 e 9, é possível perceber que os valores máximos que todas as estações apresentaram

5.1 Análises descritivas

em algum momento, as velocidades do vento ultrapassaram 20 m/s, fato este que pelo menos ocorreu um evento com escalas catastróficas. No entanto, vale ressaltar que o alcance de tais velocidades do vento em uma dada região não garante que ocorra um evento catastrófico, pois depende muito das características das construções e rugosidade do terreno.

Em relação à variância, as estações A1E1 e A6E1 apresentaram maior variância, o que pode estar atrelado a um comportamento de alto risco. Entretanto, não é possível embasar o julgamento do risco dado o desconhecimento da frequência de ocorrência de eventos extremos. Assim nesta fase inicial de entendimento dos riscos em cada estação se deu pelo uso dos histogramas⁷. Tais análises iniciais serviram apenas de referência para realização dos ajustes e não são apresentadas neste trabalho.

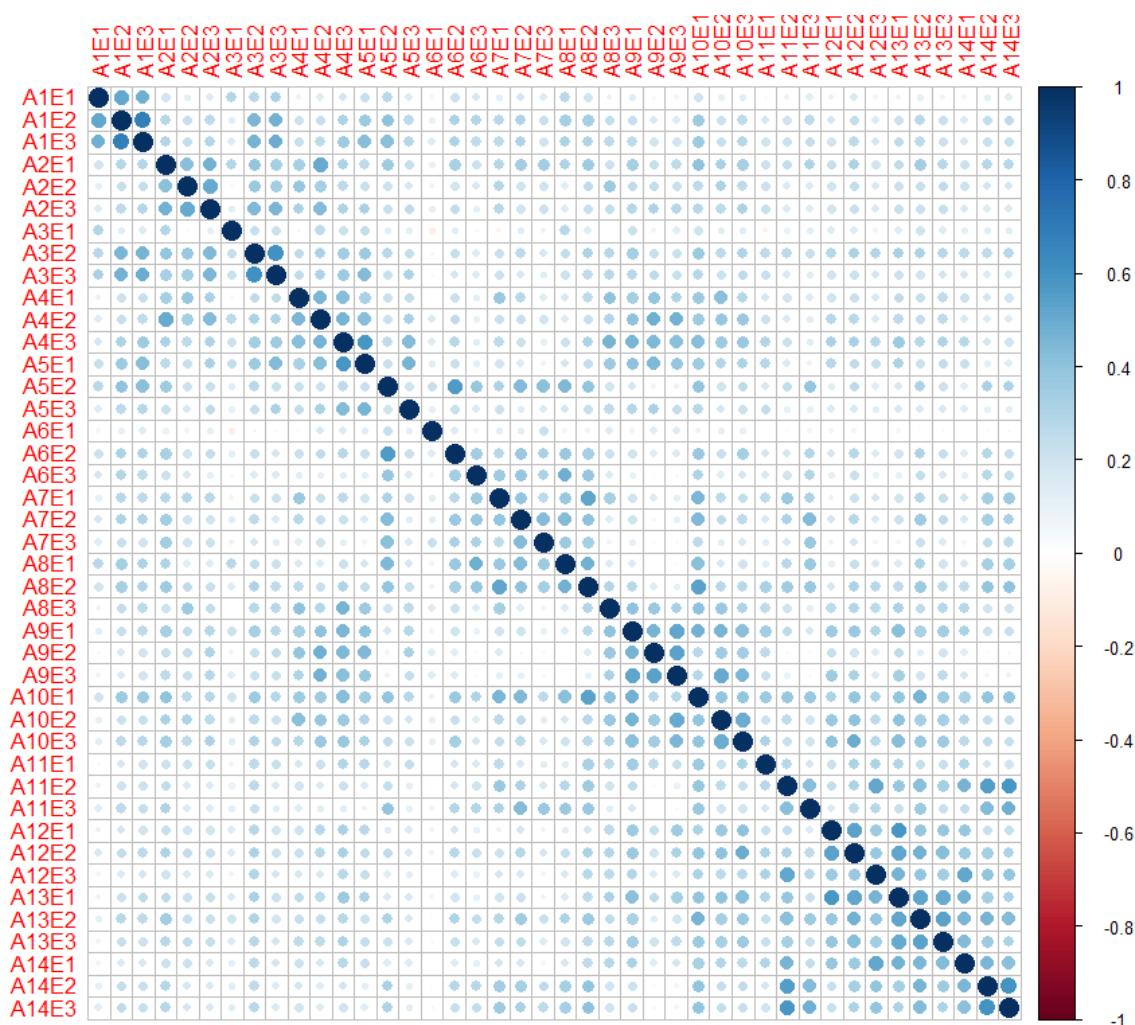


Figura 7: Matriz de correlação entre as estações meteorológicas a cerca da variável rajada máxima horária do vento(m/s).

Fonte: Elaboração Própria com base nos dados do Instituto Brasileiro de Meteorologia - INMET.

⁷Para acesso aos Histogramas das estações acessar o link: <https://drive.google.com/drive/folders/12mWnRuTGq2TZiY6mIV1aW1Yb5f10n25Z?usp=sharing>

Ao analisar a Figura 7 fica evidente que todas estações apresentaram uma relação de correlação positiva, o que demonstra a existência de uma correlação espacial entre os dados de velocidade máxima do vento. No que se refere a intensidade do grau de correlação das estações em relação às demais estações de uma mesma área, tem-se que as áreas A1,A2,A3,A4,A9,A10,A12,A13 e A14 apresentaram correlação média positiva e forte positiva.

Quanto às estações das áreas A5,A6,A7,A8 e A11 apresentaram correlação baixa. Também é importante destacar as estações A3E1 e A6E1 que apresentaram correlação muito baixa em relação a todas as outras estações mesmo próximas. Assim de maneira geral é percebido uma correlação relativamente forte em relação às estações próximas, o que pode explicar parcialmente a inviabilidade do uso do teorema central do limite como estratégia a ser empregada .

No entanto, não sendo possível dar esta afirmação de forma completa dado que mesmo que duas áreas apresentam forte correlação entre os dados os efeitos que o vento proporciona nestas podem ser totalmente diferentes. Assim, para entender melhor a relação espacial entre as estações e principalmente o comportamento da variabilidade dos dados em relação ao tempo, foram aplicados os métodos de wavelets , boxplot temporal e rosa dos ventos nos dados de direção do vento e velocidade máxima em cada estação.

5.2 Ajuste GEV

Nesta subseção são apresentados os resultados dos ajustes das distribuições generalizadas de valores extremos (GEV) , por meio do método da máxima verossimilhança e os resultados dos testes de aderência aplicados . Em que, são apresentados por meio do Anexo 3 o resumo dos ajustes dos parâmetros de escala, forma e posição dos dados de velocidade máxima do vento de cada estação meteorológica. No Anexo 4, é apresentado os Intervalos de confiança ao nível de 99,5% dos parâmetros de escala , forma e posição ajustados e a probabilidade de ventos ocorrerem acima dos 20 m/s. e por fim, o Anexo 5 , que apresenta os resultados dos testes de aderência.

Ao realizar as análises referente aos ajustes realizados é possível destacar que quanto aos tipos de modelos ajustados o predomínio da distribuição Fréchet em trinta e três estações, em segunda distribuição de Weibull em cinco estações e por último a distribuição Gumbel em quatro estações. Quanto aos resultados dos testes de aderência o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) e Filliben (Fi) se demonstraram extremamente rigorosos, em que apresentaram não ajustes para grande parte das estações em relação ao primeiro teste e não ajuste (NAJ) para todas as estações pelo segundo teste.

Fato este sendo avaliado e constatado que estes testes deram maiores pesos na forma da distribuição. Já em relação ao teste de Anderson-Darling (AD), este apresentou o bom ajuste (AJ) de 40 estações, Este fato é explicado devido este teste dar mais pesos sobre o ajuste da calda e menos pesos em relação a forma da distribuição.

5.3 Classificação de risco

Neste contexto, dado que o objetivo deste trabalho é o de avaliar apenas valores extremos, neste aspecto o mais importante é o bom ajuste das caudas das distribuições. Sendo assim, foi considerado o ajuste das distribuições segundo o teste de Anderson-Darling (AD). Em relação às estações A2E2 e A14E3 que não foram ajustadas por não passarem em nenhum dos testes de aderência, tal fato pode estar relacionado com a maneira como os dados estão distribuídos na estação A2E2 e pela quantidade de dados faltantes na estação A14E3.

5.3 Classificação de risco

Nesta subseção, são apresentados os resultados da aplicação dos métodos de boxplot, transformada de wavelets, tendência, rosa dos ventos e por fim a classificação das estações em relação ao risco de ocorrência de ventos extremos, pautados na probabilidade da velocidade do vento ultrapassar a velocidade de 20 m/s com base em cada distribuição ajustada. Em relação a apresentação dos métodos em conjunto com a classificação está na facilidade de realizar uma associação entre as análises qualitativas com a classificação. Os resultados obtidos das análises realizadas são apresentadas por meio das Tabelas 10 e 11, Quanto às siglas destas tabelas estão explicadas por meio da Tabela 12. Já em relação a forma que foi realizada a classificação do risco de acordo com a probabilidade de ocorrência de ventos acima de 20 m/s é apresentada por meio da Tabela 13.

Tabela 10: Classificação de risco das estações meteorológicas- Parte I.

Estação	Tendência		Box plot			Wavelets		Rosa dos ventos			GEV
	Intercepto	Coefficiente	EEFS	MCVF	MCVFr	Variabilidade	PAPM	CVFE	CVEQ	CDQ	P(X>=20m/s)
A1E1	-5.18	0.00077	forte	m10,m11	m5,m6	2A,A,T,M	2A	2T,4T	Q3	Q4,Q1	8.83E-05
A1E2	7.37	-0.00008	forte	m9,m10,m11	m5,m6	A,B,M,Sem	A	4T	Q1	Q4,Q1	5.86E-05
A1E3	7.85	-0.00005	forte	m9,m10,m11	m5,m6	A,B,M,Sem	A	4T	Q3	Q1	1.41E-06
A2E1	3.50	0.00006	forte	m10,m12	m5,m6,m7	2A,A,B	A	4T	Q4	Q4	4.10E-06
A2E2	16.21	-0.00069	forte	m10,m11	m4	2A,A,B	A	4T	Q4	Q4	NAJ
A2E3	12.19	-0.00037	forte	m8	m4	A,B,M,Sem	A	3T,4T	Q4	Q4	2.18E-06
A3E1	-23.38	0.00166	forte	m10,m11	m5	A,B,M,Sem	A	3T,4T	Q4	Q4,Q1	1.45E-06
A3E2	2.76	0.00015	forte	m10,m11,m12	m5,m6	2A,A,B,T,M	A	4T	Q1	Q1,Q4	1.74E-06
A3E3	7.14	0.00001	forte	m8	m4	2A,A,T,M	A	3T,4T	Q1	Q1,Q4	1.48E-06
A4E1	16.94	-0.00074	forte	m9,m10	m5	2A,A,T	A	3T,4T	Q4	Q1,Q4	1.40E-07
A4E2	9.96	-0.00024	forte	m8	m4	2A,A,B,T,M	A	3T,4T	Q4	Q1,Q4	4.27E-07
A4E3	8.66	-0.00013	fraco	m8,m5	m6	2A,A,B,T,M	A	3T,2T	Q1	Q1,Q2	9.28E-05
A5E1	6.15	0.00002	fraco	m8	m4,m5	A,B,T,M	A	3T,2T	Q2	Q1,Q2	5.54E-06
A5E2	4.11	0.00003	forte	m10,m11	m6	2A,A,T	A	3T,4T	Q3	Q3,Q4	6.25E-04
A5E3	9.74	-0.00003	fraco	m8,m9	m4	2A,A,T	2A	3T,4T	Q2	Q2,Q3	1.73E-05
A6E1	27.75	-0.00119	forte	m3,m4	m11,m12	2A,A,T,M	A	1T,2T,3T	Q1,Q3	Q3	4.66E-03
A6E2	2.40	0.00003	forte	m10	m5	2A,A,M	A	3T,4T	Q3	Q3	5.59E-05
A6E3	3.76	-0.00003	fraco	m1	m6	2A,A,T,B,M	A	3T,4T	Q3	Q3,Q1	8.63E-05
A7E1	19.75	-0.00098	forte	m6,m7	m10,m11	2A,A,T,M	A	4T	Q4	Q4	6.34E-05
A7E2	5.77	-0.00016	forte	m11,m12	m6	2A,A,T,M	A	3T	Q3	Q3	1.32E-04
A7E3	3.40	0.00010	fraco	m10	m6	A,B,M,Sem	A	3T,4T	Q2,Q4	Q2	1.17E-05

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 11: Classificação de risco das estações meteorológicas- Parte II.

Estação	Tendência		Box plot			Wavelets		Rosa dos ventos			GEV
	Intercepto	Coefficiente	EEFS	MCVF	MCVFr	Variabilidade	PAPM	CVFE	CVEQ	CDQ	P(X>=20m/s)
A8E1	-1.79	0.00028	forte	m6,m7	m10	2A,A,T,M	A	2T,3T	Q3,Q2	Q3	2.38E-03
A8E2	5.26	-0.00005	forte	m6,m7	m11	2A,A,M,Sem	A	3T,4T	Q3,Q4	Q3	1.77E-05
A8E3	17.62	-0.00078	forte	m9,m10	m2,m3	A,T,M	A	3T,4T	Q1	Q1	4.99E-05
A9E1	6.26	0.00003	fraco	m8,m9,m10	m4	2A,A,T	A	3T,4T	Q1,Q2	Q2	5.20E-07
A9E2	12.15	-0.00035	fraco	m7,m8	m3,m4	2A,A,M,Sem	A	3T,4T	Q1,Q2	Q2	4.98E-06
A9E3	10.59	-0.00023	forte	m8	m3,m4	2A,A,M,Sem	A	3T,4T	Q4	Q4	7.00E-06
A10E1	5.25	-0.00010	forte	m10,m11	m5	2A,A,M,Sem	A	3T,4T	Q1,Q2	Q2	6.42E-05
A10E2	11.72	-0.00040	fraco	m6,m7	m9,m10	2A,A,T	A	3T	Q1,Q4	Q1,Q4	6.13E-06
A10E3	8.12	-0.00012	forte	m9,m10	m4	2A,A,M,Sem	A	3T,4T	Q3,Q4	Q3	8.28E-06
A11E1	6.92	-0.00013	fraco	m8,m1	m4,m5	2A,A,T	2A	4T	Q4	Q4	7.54E-07
A11E2	8.86	-0.00022	forte	m10,m11	m6	2A,A,M,Sem	A	3T,4T	Q4	Q4	3.98E-10
A11E3	2.57	0.00009	forte	m10,m11	m6	2A,A,T,M	A	3T,4T	Q4	Q4	6.88E-05
A12E1	2.52	0.00016	fraco	m9,m10	m5,m6	2A,A,T	A	3T,4T	Q4	Q4	8.06E-06
A12E2	2.11	0.00014	forte	m9,m10,m11	m3,m4	2A,A,T,M	A	3T,4T	Q4	Q4	1.95E-07
A12E3	2.83	0.00013	fraco	m10,m11	m6	2A,A,T,M	A	3T,4T	Q3	Q3,Q1	3.49E-06
A13E1	5.90	0.00000	fraco	m10,m11	m6	2A,A,T	A	3T,4T	Q2	Q2,Q1	1.48E-04
A13E2	2.90	0.00007	forte	m10,m11	m5,m6	2A,A,T,M	A	3T,4T	Q4	Q4	1.46E-04
A13E3	7.00	-0.00012	forte	m9	m5	2A,A,T	A	3T,4T	Q4	Q4,Q1	6.72E-09
A14E1	4.35	0.00003	forte	m10	m5,m6	2A,A,T	A	3T,4T	Q4	Q4,Q2	0.00E+00
A14E2	4.55	0.00001	forte	m10	m6	A,M,Sem	A	3T,4T	Q4	Q4	1.34E-06
A14E3	5.26	0.00001	forte	m10,m11	m5	2A,A,T,B	A	3T,4T	Q1,Q4	Q1,Q4	NAJ

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 12: Siglas das Tabelas 11 e 12.

Sigla	Descrição	Classificadores
EEFS	Estimativa de Efeito Sazonal	forte,fraco,inesistente
MCVF	Meses de Concentração de Ventos Fortes	m1 até m12
MCVFr	Meses de Concentração de Ventos Fracos	m1 até m12
Variabilidade	Períodos que apresentam efeitos sazonais com significância ao nível de 5% pelo método de Wavelet	2A(2 anos), A(1 ano), T(trimestre), B(bimestre), M(mensal), Sem(Semanal)
PAPM	Período de alta potência média de wavelet	2A(2 anos), A(1 ano), T(trimestre), B(bimestre), M(mensal), Sem(Semanal)
CVFE	Concentração de Ventos Fortes Época do ano	1T,2T,3T,4T(Trimestres)
CVFQ	Concentração de Ventos Fortes Quadrante	Q1,Q2,Q3,Q4(Quadrantes)
CDQ	Concentração de dados Quadrante	Q1,Q2,Q3,Q4(Quadrantes)

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 13: Escala de classificação de Riscos para Tabela 11 e 12.

Risco	Classificação $P(X \geq 20\text{m/s})$
RISCO ALTO	$P(X \geq 20\text{m/s}) > 1E-04$
RISCO MÉDIO ALTO	$1E-04 > P(X \geq 20\text{m/s}) > 1E-05$
RISCO MÉDIO	$1E-05 > P(X \geq 20\text{m/s}) > 1E-06$
RISCO MÉDIO BAIXO	$1E-06 > P(X \geq 20\text{m/s}) > 1E-07$
RISCO BAIXO	$1E-07 > P(X \geq 20\text{m/s})$

Fonte: Elaboração Própria.

5.4 Discussão dos resultados

Nas Tabelas 10 e 11, a classificação foi realizada com base nos valores das probabilidades advindas das distribuições ajustadas em cada estação. Já em relação às estações A2E2 e A14E3 foram classificadas apenas com base nas estatísticas descritivas básicas variância e máximo. Em relação a classificação é visível o predomínio do risco médio, fato este preocupante para algumas localidades que apresentam um coeficiente de tendência positivo. Nota-se que mesmo estações próximas apresentam diferentes classificações de risco, Fato este observado e entrando em conformidade com os resultados encontrados em trabalhos como [8], [13] e [14], em que realizaram o estudo do mesmo fenômeno, porem em relação a outras localidades.

Tal constatação, está relacionada com as diferenças de relevo, rugosidade do terreno e proximidade com a costa do oceano atlântico visto que as áreas classificadas como de alto risco estão concentradas próximas à costa, evidência esta esperada, dado a existência de poucas barreiras físicas. Já em relação às classificações de baixo risco é percebida a concentração destas localidades mais afastadas da costa.

Em relação a análise da tendência, são constatadas variações não muito significativas em relação aos coeficientes. Em que estes em sua maioria apresentaram valores próximos de zero. No entanto, quando é analisado o sinal é evidenciado sinais negativos em algumas estações, fato este interessante, que induz a pensar que os efeitos que os ventos apresentam em determinados locais são inversos a influência das mudanças climáticas esperadas.

Em relação aos resultados dos boxplot temporais em cada estação, é visto a concentração da ocorrência de ventos fortes nos meses 8,9,10,11 e 12 em grande parte das estações, fato este, que pode auxiliar no entendimento da correlação espacial entre as localidades, mais com certas limitações no que tange a variabilidade dos dados.

Ao ver os resultados das rosas do ventos, foram comprovadas as épocas do ano que os ventos mais fortes estão concentrados e a direção deste. Informação essa que auxilia e muito

na compreensão da correlação espacial entre as estações próximas, o que, por fim corrobora com os apontamentos realizados por [6] e [14] sobre a existência de forte correlação entre as áreas próximas relacionadas aos efeitos de ventos extremos, fato este, que inviabiliza o uso de estratégias de diluição de risco que usam como princípio a teoria do limite central, como discutido na seção 3.2.

No wavelets, é percebido o predomínio da variabilidade do período Anual, o que confirma que o vento segue de fato um padrão sazonal anual. No entanto, em determinados locais se concentrou um período de 2 anos, isto considerando o período de alta potência média de wavelets.

Vale ressaltar, que a variabilidade de 2 anos foi percebida em grande parte das estações e este fato segundo apontado por [8] está atrelado ao fenômeno El niño, este fenômeno segundo abordado por [48] costuma ocorrer de 2 a 7 anos, sendo um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no Oceano Pacífico Tropical. Altera o clima regional e global, mudando os padrões de vento a nível mundial. Mudanças estas relacionadas com o aumento da intensidade de ventos extremos.

Após o entendimento dos principais resultados, é possível levantar uma série de informações e premissas encontradas que podem ser avaliadas para busca de novas estratégias de diluição do risco das perdas econômicas provocadas por tempestades do vento no Sul do Brasil como:

- Cada estação é suscetível a um risco diferente, mesmo apresentando proximidade geográfica;
- Deve ser levado em consideração que as perdas são dinâmicas e de diferentes intensidades de danos por localidade. Um exemplo para facilitar o entendimento é que se considerarmos um vento de mesma velocidade, ao ser aplicado em lugares com características construtivas e rugosidade de terrenos diferentes acaba proporcionando perdas econômicas totalmente diferentes;
- Os efeitos que as mudanças climáticas têm sobre o vento em relação a certas localidades pode haver um comportamento inverso do esperado. No entanto, para esta informação deve ser realizado um aprofundamento em futuros trabalhos sobre seu real comportamento;
- A análise do vento e seus efeitos não deve ser realizada pautada em apenas um modelo ou método, como foi visto neste estudo;
- Dado o conhecimento dos locais de risco é possível ver estratégias de diluição de risco pautadas nos riscos individuais em cada localidade. O que pode seguir por exemplo os métodos aplicados por [10], que aplica um prêmio distorcido para precificar eventos fortemente correlacionados considerando o risco individual de cada localidade;
- Foi evidenciado que devido a existência de uma correlação relativamente forte, entre as estações próximas e a conformidade em relação a variabilidade dos dados, torna a

precificação com base no teorema central do limite inviável;

6 Considerações finais

Considerando as principais informações e premissas retiradas das análises realizadas, é possível afirmar que o uso dos métodos e modelos empregados neste trabalho, são consistentes para o propósito de buscar informações relevantes sobre o fenômeno Tempestades de ventos no Sul do Brasil.

E também, ficou evidenciado que o uso da teoria de valores extremos, em específico as distribuições generalizadas de valores extremos-GEV, ajustaram-se muito bem aos dados da maioria das estações meteorológicas do Sul do Brasil, Fato este, que torna possível tanto caracterização do risco individual de cada localidade, como, torna possível o entendimento necessário do fenômeno para pensar formas de diluição de risco , precificação de seguros e estratégias de resseguros.

No entanto, é importante levantar alguns pontos importantes que devem ser levados em consideração e que não foram abordados neste trabalho como: Rugosidade de cada terreno, Buscar o aprofundamento em bases mais antigas como os dados provenientes de estações meteorológicas anuais (embora estas tenham um problema de confiabilidade e de falta de dados é possível a captação de alguns fenômenos periódicos acima dos 10 ano), a análise conjunta dos dados meteorológicos das estações automáticas com as imagens de satélite (afim de compreender melhor as correntes do ar ao longo do tempo em cada localidade) e por fim, o uso de outras técnicas para análise de dependência espacial entre estações próximas como: Cópulas, Matriz de covariância, Índice de Moran, Diagrama de espalhamento de Moran e dentre outras técnicas de análise de dependência.

Já no que tange às perspectivas de futuros trabalhos ou como continuidade deste trabalho, estão a realização da interpolação espacial, para que seja possível inferir a classificação de riscos para as demais localidades da região Sul do Brasil. Também podem ser realizadas, as simulações das perdas econômicas e seus efeitos em carteiras de seguros fictícias ou reais, com o objetivo de aplicar e conhecer diferentes técnicas de diluição de risco para o evento tempestade de ventos no Sul do Brasil e estratégias de resseguro.

Referências

- [1] ABREU, Marcel C. ; CECÍLIO, Roberto A. ; PRUSKI, Fernando F. ; SANTOS, Gérson Rodrigues dos ; ALMEIDA, Laura Thebit d. ; ZANETTI, Sidney S.: Critérios para escolha de distribuições de probabilidades em estudos de eventos extremos de precipitação. In: *Revista Brasileira de Meteorologia* 33 (2018), Nr. 4, S. 601–613
- [2] ANANIAS, Denis Rafael S. ; LISKA, Gilberto R.: Aplicação da teoria de valores extremos aos dados de velocidade de vento, em Uruguaiana-RS. In: *Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão* 9 (2018), Nr. 3
- [3] ANNAERT, Jan ; VAN OSSELAER, Sofieke ; VERSTRAETE, Bert: Performance evaluation of portfolio insurance strategies using stochastic dominance criteria. In: *Journal of Banking & Finance* 33 (2009), Nr. 2, S. 272–280
- [4] BAUTISTA, Ezequiel Abraham L. ; ZOCCHI, Silvio S. ; ANGELO, Luiz R.: A distribuição generalizada de valores extremos aplicada ao ajuste dos dados de velocidade máxima do vento em Piracicaba, São Paulo, Brasil. In: *Revista de Matemática e Estatística* 22 (2004), Nr. 1, S. 95–111
- [5] BRAND, Silvane I.: Caracterização da direção e velocidade dos ventos em Santa Rosa-RS. (2014)
- [6] BRODIN, Erik ; ROOTZÉN, Holger: Univariate and bivariate GPD methods for predicting extreme wind storm losses. In: *Insurance: Mathematics and Economics* 44 (2009), 06, S. 345–356
- [7] BRÖNNIMANN, Stefan ; ROMPPAINEN-MARTIUS, Olivia ; ROHR, Christian ; BRESCH, David N. ; LIN, Kuan-Hui E.: Historical weather data for climate risk assessment. In: *Annals of the New York Academy of Sciences* 1436 (2019), Nr. 1, S. 121–137
- [8] CANDIDO, Daniel H. u. a.: Tornos e trombas-d'água no Brasil: modelo de risco e proposta de escala de avaliação de danos. (2012)
- [9] CASTELHANO, Francisco J. ; ROSEGHINI, Wilson Flavio F.: Caracterização da dinâmica dos ventos em Curitiba-PR. In: *Geosp Espaço e Tempo (Online)* 22 (2018), Nr. 1, S. 227–240
- [10] CHARPENTIER, Arthur: Insuring risks when pure premium is infinite? In: *Bulletin français d'actuariat* 7 (2007), Nr. 13, S. 67–82
- [11] CHARPENTIER, Arthur: Insurability of climate risks. In: *The Geneva Papers on Risk and Insurance-Issues and Practice* 33 (2008), Nr. 1, S. 91–109

- [12] CHIBENI, Silvio S.: Certezas e incertezas sobre as relações de Heisenberg. In: *Revista Brasileira de Ensino de Física* 27 (2005), Nr. 2, S. 181–192
- [13] CORREIA, Andréia Filipa B.: Os ventos velozes em análise: Causas, Danos e Perdas-Casos de Estudo em Portugal (Porto, Odemira e Évora). (2016)
- [14] COSSETTE, Hélène ; DUCHESNE, Thierry ; MARCEAU, Étienne: Modeling catastrophes and their impact on insurance portfolios. In: *North American Actuarial Journal* 7 (2003), Nr. 4, S. 1–22
- [15] DOMINGUES, MO ; MENDES, O ; KAIBARA, MK ; MENCONI, VE ; BERNARDES, E: Explorando a transformada wavelet contínua. In: *Revista Brasileira de Ensino de Física* 38 (2016), Nr. 3
- [16] FILLIBEN, James J.: The probability plot correlation coefficient test for normality. In: *Technometrics* 17 (1975), Nr. 1, S. 111–117
- [17] FISHER, Ronald A. ; TIPPETT, Leonard Henry C.: Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample. In: *Mathematical proceedings of the Cambridge philosophical society* Bd. 24 Cambridge University Press (Veranst.), 1928, S. 180–190
- [18] FRANCO, Camila S. ; MARQUES, Rosângela FPV ; OLIVEIRA, Alisson S. ; OLIVEIRA, Luiz F. de: Distribuição de probabilidades para precipitação máxima diária na Bacia Hidrográfica do Rio Verde, Minas Gerais. In: *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 18 (2014), Nr. 7, S. 735–741
- [19] FUJITA, Tetsuya T.: Proposed characterization of tornadoes and hurricanes by area and intensity. (1971)
- [20] GOMES, Anna Cecília C. ; SILVA JÚNIOR, Antônio Hermes M. da ; AGUIRRE, Moises Alberto C.: Previsão de Reservas para Seguradoras do Mercado Brasileiro. In: *Revista Evidenciação Contábil & Finanças* 4 (2016), Nr. 2, S. 19–39
- [21] GOUVEIA, Hugo Tavares V.: *Previsão de ventos e geração eólica do sistema NE: analisando diversos sítios e buscando a melhor modelagem através da inteligência artificial*, Universidade Federal de Pernambuco, Diplomarbeit, 2011
- [22] GROSS, Juergen ; LIGGES, Uwe: *nortest: Tests for Normality*, 2015. – URL <https://CRAN.R-project.org/package=nortest>. – R package version 1.0-4
- [23] HORNES, Karin L. ; BALICKI, Marcos: Caracterização do tornado ocorrido em Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes em novembro de 2015. In: *Raega-O Espaço Geográfico em Análise* 44 (2018), S. 36–54

- [24] JENKINSON, Arthur F.: The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. In: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 81 (1955), Nr. 348, S. 158–171
- [25] KACZMARSKA, Jo ; JEWSON, Stephen ; BELLONE, Enrica: Quantifying the sources of simulation uncertainty in natural catastrophe models. In: *Stochastic environmental research and risk assessment* 32 (2018), Nr. 3, S. 591–605
- [26] LILLIEFORS, Hubert W.: On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. In: *Journal of the American statistical Association* 62 (1967), Nr. 318, S. 399–402
- [27] LIMA LEITE, Maysa ; VIRGENS FILHO, Jorim S. das: Avaliação da velocidade média e direção predominante do vento em Ponta Grossa PR. In: *Rev. Bras. Agrometeorologia* 14 (2006), Nr. 2, S. 157–167
- [28] MATTOS, Rogério S.: *Tendências e Raízes Unitárias*, Universidade Federal de Juiz de Fora Departamento de Economia, Dissertation, 2018
- [29] MOREIRA, Gabriela L. ; SILVEIRA, Viliam C. da: Estudo de caso de um possível evento de tornado em Santa Barbara do Sul–RS. In: *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* (2013)
- [30] NAGHETTINI, M ; PINTO, EJA: Hidrologia Estatística, 484 pp. In: *Belo Horizonte, CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Brasil* (2007)
- [31] PERRUCCI, Valentin P.: *Análise da complementariedade entre diferentes técnicas estatísticas para aumento na resolução espacial do comportamento do vento local*, Universidade Federal de Pernambuco, Diplomarbeit, 2018
- [32] POHLERT, Thorsten: *ppcc: Probability Plot Correlation Coefficient Test*, 2020. – URL <https://CRAN.R-project.org/package=ppcc>. – R package version 1.2
- [33] R CORE TEAM: *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing (Veranst.), 2020. – URL <https://www.R-project.org/>
- [34] RAMOS, Filipe G. ; SEIDLER, Nelson: Estudo da energia eólica para aproveitamento em pequenos empreendimentos. In: *Revista Vivências* 7 (2011), Nr. 13, S. 108–127
- [35] REIS, Lucas M. u. a.: Mudanças de regime no processo de geração de ventos no Brasil. (2011)

- [36] ROESCH, Angi ; SCHMIDBAUER, Harald: *WaveletComp: Computational Wavelet Analysis*, 2018. – URL <https://CRAN.R-project.org/package=WaveletComp>. – R package version 1.1
- [37] ROOTZÉN, Holger ; TAJVIDI, Nader: Extreme value statistics and wind storm losses: a case study. In: *Scandinavian Actuarial Journal* 1997 (1997), Nr. 1, S. 70–94
- [38] SAEB, Ali: *gnFit: Goodness of Fit Test for Continuous Distribution Functions*, 2018. – URL <https://CRAN.R-project.org/package=gnFit>. – R package version 0.2.0
- [39] SANTOS, Celso Augusto G. ; FREIRE, PKMM ; TORRENCE, Christopher: A transformada wavelet e sua aplicação na análise de séries hidrológicas. In: *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 18 (2013), Nr. 3, S. 271–280
- [40] SMITH, Richard L.: Maximum likelihood estimation in a class of nonregular cases. In: *Biometrika* 72 (1985), Nr. 1, S. 67–90
- [41] SOARES, Anderson da S.: *Predição de séries temporais econômicas por meio de redes neurais artificiais e transformada Wavelet: combinando modelo técnico e fundamentalista*, Dissertation, 2008
- [42] SOUSA, Augusto de B.: Mecanismos financeiros para a redução de risco associado ao clima: contrato de opções, seguro baseado em índice e fundo financeiro. (2014)
- [43] STAUT, Fabiano: O processo de implantação de parques eólicos no nordeste brasileiro. (2011)
- [44] STEFANELLO MICHEL LIMA NASCIMENTO, Ernani ; ROSA, Cinara E. da ; DEGRAZIA, Gervasio ; MORTARINI, Luca ; CAVA, Daniela: A Micrometeorological Analysis of the Vento Norte Phenomenon in Southern Brazil. In: *Boundary-Layer Meteorology* 176 (2020), Nr. 3, S. 415–439
- [45] STEPHENSON, A. G.: evd: Extreme Value Distributions. In: *R News* 2 (2002), June, Nr. 2. – URL <https://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>
- [46] TAKIGUCHI, Angélica T.: Aplicação da Teoria Dos Valores Extremos no cálculo do risco atuarial para o mercado de seguros de automóveis no Brasil. (2019)
- [47] TOMASINI, Juliana: *Padrão de variabilidade do vento à superfície, em Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil: implicações ambientais*, B.S. thesis, 2012
- [48] TRENBERTH, Kevin E. ; HOAR, Timothy J.: El Niño and climate change. In: *Geophysical Research Letters* 24 (1997), Nr. 23, S. 3057–3060

REFERÊNCIAS

- [49] WREGGE, Marcos S. ; STEINMETZ, Silvio ; REISSER JÚNIOR, C ; ALMEIDA, Ivan R. de: *Atlas climático da região sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul*. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012., 2012

7 Anexos

Anexo 1 - Informações das estações Meteorológicas (Parte-I).

Estação	Área	Código	Georreferenciamento	Altitude	Ano de fundação	Local	Estado
A899	A1	A1E1	LatLong: [-33.74, -53.37]	7.41 m	2008	Santa Vitória Do Palmar	RS
A836		A1E2	LatLong: [-32.53, -53.38]	31.48 m	2007	Jaguarão	RS
A802		A1E3	LatLong: [-32.08, -52.17]	4.92 m	2001	Rio Grande	RS
A810	A2	A2E1	LatLong: [-27.89, -54.48]	272.84 m	2006	Santa Rosa	RS
A830		A2E2	LatLong: [-28.65, -56.02]	81.08 m	2007	São Borja	RS
A833		A2E3	LatLong: [-29.19, -54.89]	390.03 m	2009	Santiago	RS
A883	A3	A3E1	LatLong: [-28.65, -53.11]	455.27 m	2012	Ibirubá	RS
A832		A3E2	LatLong: [-30.34, -54.31]	114.89 m	2007	São Gabriel	RS
A812		A3E3	LatLong: [-30.55, -53.47]	420.82 m	2006	Caçapava Do Sul	RS
A828	A4	A4E1	LatLong: [-27.66, -52.31]	777.08 m	2006	Erechim	RS
A856		A4E2	LatLong: [-27.92, -53.32]	614.11 m	2008	Palmeira Das Missões	RS
A880		A4E3	LatLong: [-28.51, -50.88]	969.89 m	2008	Vacaria	RS
A879	A5	A5E1	LatLong: [-29.37, -50.83]	830.93 m	2008	Canela	RS
A867		A5E2	LatLong: [-28.93, -49.5]	2 m	2008	Araranguá	SC
A829		A5E3	LatLong: [-28.75, -50.06]	1228.59 m	2006	São José Dos Ausentes	RS
A866	A6	A6E1	LatLong: [-28.6, -48.81]	34.36 m	2008	Laguna - Farol De Santa Marta	SC
A814		A6E2	LatLong: [-28.53, -49.32]	40.56 m	2008	Urussanga	SC
A817		A6E3	LatLong: [-26.91, -49.27]	72.24 m	2006	Indaial	SC
A862	A7	A7E1	LatLong: [-26.25, -49.58]	856.89 m	2008	Rio Negrinho	SC
A851		A7E2	LatLong: [-26.08, -48.64]	6.18 m	2007	Itapoá	SC
A806		A7E3	LatLong: [-27.6, -48.62]	4.87 m	2003	Florianópolis	SC

Anexo 2 - Informações das estações Meteorológicas (Parte-II).

Estação	Área	Código	Georreferenciamento	Altitude	Ano de fundação	Local	Estado
A863		A8E1	LatLong: [-27.42, -49.65]	479.79 m	2008	Ituporanga	SC
A864	A8	A8E2	LatLong: [-26.39, -50.36]	799.58 m	2009	Major Vieira	SC
A841		A8E3	LatLong: [-27.17, -51.56]	767.63 m	2007	Joaçaba	SC
A876		A9E1	LatLong: [-26.42, -52.35]	966.06 m	2008	Clevelândia	PR
A858	A9	A9E2	LatLong: [-26.94, -52.4]	878.74 m	2008	Xanxerê	SC
A848		A9E3	LatLong: [-26.29, -53.63]	807.54 m	2008	Dionísio Cerqueira	SC
A875		A10E1	LatLong: [-26.4, -51.35]	1009.01 m	2008	General Carneiro	PR
A855	A10	A10E2	LatLong: [-25.72, -53.75]	399.1 m	2007	Planalto	PR
A820		A10E3	LatLong: [-24.53, -54.02]	392.07 m	2006	Mal. Cândido Rondon	PR
A823		A11E1	LatLong: [-25.57, -51.08]	1208.85 m	2006	Inácio Martins	PR
A714	A11	A11E2	LatLong: [-23.98, -48.89]	743.33 m	2006	Itapeva	SP
A712		A11E3	LatLong: [-24.67, -47.55]	2.7 m	2006	Iguape	SP
A849		A12E1	LatLong: [-22.64, -52.89]	368.22 m	2008	Diamante Do Norte	PR
A869	A12	A12E2	LatLong: [-23.36, -52.93]	365.79 m	2008	Cidade Gaúcha	PR
A871		A12E3	LatLong: [-23.77, -50.18]	692.88 m	2008	Japira	PR
A850		A13E1	LatLong: [-22.66, -52.13]	308.7 m	2008	Paranapoema	PR
A718	A13	A13E2	LatLong: [-22.37, -50.97]	398.75 m	2006	Rancharia	SP
A734		A13E3	LatLong: [-21.32, -50.93]	381.9 m	2007	Valparaíso	SP
A705		A14E1	LatLong: [-22.36, -49.03]	636.17 m	2001	Bauru	SP
A713	A14	A14E2	LatLong: [-23.43, -47.59]	609.33 m	2006	Sorocaba	SP
A715		A14E3	LatLong: [-23.85, -48.16]	675.68 m	2006	São Miguel Arcanjo	SP

**Anexo 3 - Resumo dos ajuste dos parâmetros
de escala, forma e posição.**

Estação	Estimate Loc	Estimate Scale	Estimate Shape	Std.err Loc	Std.err Scale	Std.err Shape	Deviance	Distrib.
A1E1	5.9384	3.7591	-0.1325	0.0123	0.0046	0.000002	539188.7	Fréchet
A1E2	4.6219	2.7501	-0.0626	0.0099	0.0071	0.002117	488571.0	Fréchet
A1E3	5.6053	2.8128	-0.1066	0.0097	0.0069	0.001109	486987.4	Fréchet
A2E1	3.4775	2.0317	-0.0385	0.0072	0.0051	0.001812	432407.4	Fréchet
A2E2	3.3060	2.9842	-0.1014	0.0102	0.0071	0.000523	498031.0	Fréchet
A2E3	4.9762	2.1644	-0.0557	0.0073	0.0049	0.000002	440243.8	Fréchet
A3E1	4.5864	1.9150	-0.0390	0.0081	0.0058	0.002483	307749.0	Fréchet
A3E2	3.9147	2.7747	-0.1026	0.0093	0.0059	0.000002	484037.6	Fréchet
A3E3	6.0711	2.3982	-0.0769	0.0083	0.0058	0.001229	458706.9	Fréchet
A4E1	3.3422	2.6291	-0.1063	0.0087	0.0042	0.000002	471530.5	Fréchet
A4E2	4.7107	2.6512	-0.1026	0.0086	0.0032	0.000002	473104.9	Fréchet
A4E3	5.3271	2.1966	-0.0042	0.0078	0.0056	0.001737	450555.9	Gumbel
A5E1	5.2631	2.3952	-0.0651	0.0083	0.0059	0.000987	460683.8	Fréchet
A5E2	3.2440	2.1310	0.0621	0.0079	0.0059	0.002660	454076.3	Weibull
A5E3	8.0706	2.6467	-0.0720	0.0088	0.0049	0.000002	471357.4	Fréchet
A6E1	5.6267	4.8194	-0.0983	0.0172	0.0122	0.001950	591680.1	Fréchet
A6E2	1.8787	1.7799	0.0272	0.0066	0.0049	0.002722	415584.1	Weibull
A6E3	2.1734	1.6109	0.0573	0.0058	0.0043	0.002270	399117.2	Weibull
A7E1	2.2123	2.3491	-0.0266	0.0089	0.0067	0.002950	463253.8	Fréchet
A7E2	1.8816	1.8812	0.0375	0.0072	0.0055	0.003259	427884.7	Weibull
A7E3	3.6733	2.8328	-0.0906	0.0095	0.0059	0.000002	489870.6	Fréchet
A8E1	1.5098	1.5806	0.2176	0.0063	0.0052	0.003942	413451.3	Weibull
A8E2	3.2782	2.2691	-0.0406	0.0081	0.0057	0.001862	453184.9	Fréchet
A8E3	3.2340	2.9846	-0.0838	0.0107	0.0077	0.002048	501690.2	Fréchet
A9E1	5.6534	2.4493	-0.0876	0.0081	0.0040	0.000002	458675.4	Fréchet
A9E2	4.9902	2.9044	-0.1038	0.0096	0.0045	0.000002	493421.4	Fréchet
A9E3	5.3002	3.1229	-0.1161	0.0103	0.0053	0.000002	501344.2	Fréchet
A10E1	2.4035	2.0550	0.0017	0.0077	0.0057	0.002786	440567.3	Gumbel
A10E2	3.8668	2.6539	-0.0838	0.0088	0.0049	0.000002	474821.0	Fréchet
A10E3	4.7167	2.8259	-0.0936	0.0094	0.0052	0.000002	485602.2	Fréchet
A11E1	3.6108	2.2991	-0.0744	0.0076	0.0041	0.000002	449474.8	Fréchet
A11E2	3.9320	2.9409	-0.1388	0.0101	0.0070	0.000791	491506.2	Fréchet
A11E3	2.8060	2.1900	-0.0101	0.0083	0.0062	0.002983	451887.6	Gumbel
A12E1	3.7951	2.8423	-0.0951	0.0094	0.0046	0.000002	486858.2	Fréchet
A12E2	3.1946	2.5246	-0.0980	0.0088	0.0062	0.001149	466727.7	Fréchet
A12E3	3.6826	2.7592	-0.0964	0.0090	0.0029	0.000002	482097.6	Fréchet
A13E1	4.4620	2.6691	-0.0375	0.0097	0.0070	0.002276	485856.9	Fréchet
A13E2	2.7598	2.2912	-0.0027	0.0085	0.0063	0.002755	460932.8	Gumbel
A13E3	4.0068	2.2023	-0.0891	0.0077	0.0054	0.001461	441215.0	Fréchet
A14E1	3.8519	2.0499	-0.1015	0.0068	0.0041	0.000002	425027.6	Fréchet
A14E2	3.5768	2.3971	-0.0776	0.0086	0.0061	0.001945	460296.9	Fréchet
A14E3	4.2201	2.7724	-0.1346	0.0091	0.0044	0.000002	478650.1	Fréchet

**Anexo 4 - Intervalos de confiança ao nível de 99,5%
dos parâmetros de escala, forma e posição.**

Estação	Low loc	Up loc	Low scale	Up scale	Low shape	Up shape	P(X>20m/s)
A1E1	5.9067	5.9701	3.7472	3.7709	-0.1325	-0.1325	8.83E-05
A1E2	4.5964	4.6474	2.7319	2.7683	-0.0681	-0.0571	5.86E-05
A1E3	5.5802	5.6303	2.7950	2.8305	-0.1095	-0.1038	1.41E-06
A2E1	3.4589	3.4961	2.0185	2.0448	-0.0432	-0.0338	4.10E-06
A2E2	3.2798	3.3323	2.9658	3.0025	-0.1028	-0.1001	1.20E-05
A2E3	4.9574	4.9950	2.1517	2.1770	-0.0557	-0.0557	2.18E-06
A3E1	4.5656	4.6072	1.9001	1.9298	-0.0454	-0.0326	1.45E-06
A3E2	3.8908	3.9386	2.7595	2.7899	-0.1027	-0.1026	1.74E-06
A3E3	6.0496	6.0926	2.3832	2.4132	-0.0801	-0.0737	1.48E-06
A4E1	3.3198	3.3646	2.6182	2.6399	-0.1064	-0.1063	1.40E-07
A4E2	4.6885	4.7330	2.6430	2.6594	-0.1026	-0.1026	4.27E-07
A4E3	5.3071	5.3472	2.1822	2.2110	-0.0087	0.0003	9.28E-05
A5E1	5.2419	5.2844	2.3800	2.4104	-0.0676	-0.0625	5.54E-06
A5E2	3.2238	3.2643	2.1159	2.1462	0.0552	0.0689	6.25E-04
A5E3	8.0479	8.0933	2.6342	2.6592	-0.0720	-0.0720	1.73E-05
A6E1	5.5823	5.6710	4.7879	4.8508	-0.1033	-0.0933	4.66E-03
A6E2	1.8617	1.8958	1.7671	1.7926	0.0202	0.0342	5.59E-05
A6E3	2.1583	2.1884	1.5998	1.6219	0.0514	0.0631	8.63E-05
A7E1	2.1894	2.2351	2.3319	2.3663	-0.0342	-0.0190	6.34E-05
A7E2	1.8630	1.9002	1.8670	1.8955	0.0291	0.0459	1.32E-04
A7E3	3.6489	3.6977	2.8175	2.8481	-0.0906	-0.0906	1.17E-05
A8E1	1.4935	1.5261	1.5672	1.5940	0.2075	0.2278	2.38E-03
A8E2	3.2574	3.2990	2.2544	2.2838	-0.0454	-0.0359	1.77E-05
A8E3	3.2064	3.2616	2.9648	3.0045	-0.0891	-0.0786	4.99E-05
A9E1	5.6326	5.6743	2.4390	2.4596	-0.0876	-0.0876	5.20E-07
A9E2	4.9656	5.0148	2.8927	2.9160	-0.1038	-0.1038	4.98E-06
A9E3	5.2736	5.3267	3.1093	3.1364	-0.1161	-0.1161	7.00E-06
A10E1	2.3837	2.4232	2.0403	2.0698	-0.0055	0.0088	6.42E-05
A10E2	3.8440	3.8895	2.6413	2.6665	-0.0838	-0.0838	6.13E-06
A10E3	4.6925	4.7409	2.8123	2.8394	-0.0936	-0.0936	8.28E-06
A11E1	3.5912	3.6304	2.2886	2.3096	-0.0744	-0.0744	7.54E-07
A11E2	3.9060	3.9579	2.9228	2.9591	-0.1408	-0.1368	3.98E-10
A11E3	2.7848	2.8273	2.1741	2.2060	-0.0177	-0.0024	6.88E-05
A12E1	3.7709	3.8193	2.8305	2.8541	-0.0951	-0.0950	8.06E-06
A12E2	3.1720	3.2171	2.5087	2.5405	-0.1009	-0.0950	1.95E-07
A12E3	3.6595	3.7058	2.7518	2.7666	-0.0964	-0.0964	3.49E-06
A13E1	4.4371	4.4869	2.6512	2.6870	-0.0434	-0.0317	1.48E-04
A13E2	2.7378	2.7817	2.2748	2.3075	-0.0098	0.0044	1.46E-04
A13E3	3.9869	4.0267	2.1885	2.2161	-0.0929	-0.0854	6.72E-09
A14E1	3.8343	3.8695	2.0393	2.0606	-0.1015	-0.1015	0.00E+00
A14E2	3.5548	3.5988	2.3815	2.4127	-0.0826	-0.0726	1.34E-06
A14E3	4.1966	4.2436	2.7611	2.7837	-0.1346	-0.1346	5.84E-13

Anexo 5 - Testes de aderência.

Estação	KS	P-valor	RES	Fi	P-valor	RES	AD	P-valor	RES
A1E1	0.0551	0	NAJ	0.9490	0	NAJ	0.2731	0.6674	AJ
A1E2	0.0202	0	AJ	0.9887	0	NAJ	0.2242	0.8238	AJ
A1E3	0.0345	0	AJ	0.9681	0	NAJ	0.2044	0.8744	AJ
A2E1	0.0483	0	NAJ	0.9963	0	NAJ	0.1951	0.8914	AJ
A2E2	0.1369	0	NAJ	0.9513	0	NAJ	0.9594	0.0155	NAJ
A2E3	0.0662	0	NAJ	0.9893	0	NAJ	0.3820	0.3992	AJ
A3E1	0.0267	0	AJ	0.9963	0	NAJ	0.7618	0.0476	AJ
A3E2	0.0483	0	NAJ	0.9640	0	NAJ	0.3774	0.4091	AJ
A3E3	0.0393	0	NAJ	0.9874	0	NAJ	0.2320	0.8012	AJ
A4E1	0.1103	0	NAJ	0.9416	0	NAJ	0.3750	0.4144	AJ
A4E2	0.0544	0	NAJ	0.9658	0	NAJ	0.3335	0.5093	AJ
A4E3	0.0381	0	NAJ	0.9888	0	NAJ	0.2604	0.7101	AJ
A5E1	0.0310	0	AJ	0.9873	0	NAJ	0.2457	0.7586	AJ
A5E2	0.0315	0	AJ	0.9958	0	NAJ	0.1967	0.8890	AJ
A5E3	0.1419	0	NAJ	0.9675	0	NAJ	0.3194	0.5340	AJ
A6E1	0.1102	0	NAJ	0.9665	0	NAJ	0.1830	0.9111	AJ
A6E2	0.1085	0	NAJ	0.9936	0	NAJ	0.2007	0.8827	AJ
A6E3	0.0403	0	NAJ	0.9858	0	NAJ	0.1786	0.9186	AJ
A7E1	0.1536	0	NAJ	0.9816	0	NAJ	0.2170	0.8433	AJ
A7E2	0.1113	0	NAJ	0.9915	0	NAJ	0.3922	0.3780	AJ
A7E3	0.0626	0	NAJ	0.9578	0	NAJ	0.4907	0.2200	AJ
A8E1	0.0751	0	NAJ	0.9580	0	NAJ	0.5743	0.1360	AJ
A8E2	0.0462	0	NAJ	0.9957	0	NAJ	0.3673	0.4316	AJ
A8E3	0.1290	0	NAJ	0.9725	0	NAJ	0.2684	0.6832	AJ
A9E1	0.1111	0	NAJ	0.9734	0	NAJ	0.1508	0.9621	AJ
A9E2	0.0314	0	AJ	0.9746	0	NAJ	0.2835	0.6331	AJ
A9E3	0.0775	0	NAJ	0.9439	0	NAJ	0.2541	0.7311	AJ
A10E1	0.0520	0	NAJ	0.9956	0	NAJ	0.3005	0.5811	AJ
A10E2	0.0726	0	NAJ	0.9740	0	NAJ	0.1518	0.9608	AJ
A10E3	0.0586	0	NAJ	0.9717	0	NAJ	0.2496	0.7460	AJ
A11E1	0.0956	0	NAJ	0.9745	0	NAJ	0.1581	0.9521	AJ
A11E2	0.0708	0	NAJ	0.9404	0	NAJ	0.3374	0.5044	AJ
A11E3	0.0567	0	NAJ	0.9905	0	NAJ	0.1361	0.9780	AJ
A12E1	0.1006	0	NAJ	0.9535	0	NAJ	0.4561	0.2669	AJ
A12E2	0.0907	0	NAJ	0.9705	0	NAJ	0.2280	0.8129	AJ
A12E3	0.0866	0	NAJ	0.9517	0	NAJ	0.3704	0.4246	AJ
A13E1	0.0302	0	AJ	0.9943	0	NAJ	0.1712	0.9313	AJ
A13E2	0.0426	0	NAJ	0.9955	0	NAJ	0.3012	0.5792	AJ
A13E3	0.0688	0	NAJ	0.9824	0	NAJ	0.3831	0.3969	AJ
A14E1	0.0335	0	AJ	0.9717	0	NAJ	0.5632	0.1452	AJ
A14E2	0.0350	0	AJ	0.9835	0	NAJ	0.1630	0.9447	AJ
A14E3	0.0737	0	NAJ	0.9382	0	NAJ	0.8817	0.0241	NAJ