



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

LÍVIA MARIA PEDERZINI PEREIRA

**OCORRÊNCIA DE VENTOS FORTES NO ESTADO DO
PARANÁ: GÊNESE E IMPACTOS.**

Londrina
2012

LÍVIA MARIA PEDERZINI PEREIRA

**OCORRÊNCIA DE VENTOS FORTES NO ESTADO DO
PARANÁ: GÊNESE E IMPACTOS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Londrina, como quesito parcial para obtenção do título de mestre em Geografia, Dinâmica Espacial e Ambiental.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Deise Fabiana Ely.

Londrina
2012

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

P436o Pereira, Livia Maria Pederzini.

Ocorrência de ventos fortes no estado do Paraná : gênese e impactos / Livia Maria Pederzini Pereira. – Londrina, 2012.

161 f. : il.

Orientador: Deise Fabiana Ely.

Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2012.

Inclui bibliografia.

1. Climatologia urbana – Teses. 2. Primavera – Tempo (Meteorologia) – Teses. 3. Ventos – Velocidade – Medição – Teses. 4. Quebra-ventos – Teses. 5. Ventos – Paraná – Teses. I. Ely, Deise Fabiana. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU 911.2:551.58

LÍVIA MARIA PEDERZINI PEREIRA

**OCORRÊNCIA DE VENTOS FORTES NO ESTADO DO PARANÁ:
GÊNESE E IMPACTOS**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Londrina, como quesito parcial para obtenção do título de mestre em Geografia, Dinâmica Espacial e Ambiental.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Deise Fabiana Ely - Orientadora
DGEO/UDEL

Prof. Dr. João Lima Sant'Anna Neto
FCT/ UNESP/Presidente Prudente

Prof. Dr. Osvaldo Coelho Pereira Neto
DGEO/UDEL

Londrina, 7 de agosto de 2012.

**À
Minha família,
dedico**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha orientadora, Prof^a Dr^a Deise Fabiana Ely, pelo exemplo de professora e pela dedicação, amizade e compreensão. Saliento o apoio incondicional prestado, a forma interessada e pertinente como acompanhou a realização deste trabalho. As suas críticas construtivas, as discussões e reflexões foram fundamentais ao longo de todo o percurso.

Agradeço ao Dr. Paulo Henrique Caramori, meu coorientador e amigo, pela sabedoria a mim dispensada e por acreditar no meu potencial. Não posso esquecer a sua grande contribuição para o meu crescimento acadêmico e pelas oportunidades que me deu, desde os tempos da graduação. Serei eternamente grata por todo o apoio.

Agradeço ao Prof. Dr. Osvaldo Coelho Pereira Neto, presente na banca examinadora, na qualificação e em muitos momentos importantes durante minha vida acadêmica, sempre apresentando comentários e sugestões valiosos.

Agradeço ao Prof. Dr. João Lima Sant'Anna Neto, por aceitar o convite de participação na banca examinadora, honrando-nos com sua presença.

Agradeço à Prof^a. Dr^a. Maria Cleide Baldo, pela participação na banca de qualificação, contribuindo decisivamente com críticas e sugestões para o enriquecimento deste trabalho.

Agradeço à minha família, principalmente aos meus pais, Ednilson e Anna, por toda a minha criação, pelos melhores ensinamentos, por todas as privações que já passaram por minha causa e por não medirem esforços para me proporcionar um bom estudo, por toda a minha formação.

Agradeço ao meu marido, Wagner José Florindo Filho, que além das valiosas contribuições com a parte estatística neste trabalho, sempre foi compreensivo, companheiro e carinhoso. Seu grande apoio foi definitivo em todos os momentos deste trabalho.

Agradeço às minhas amigas mais que queridas Natália Micheli Villa e Fabiana Bezerra Mangili, por tudo que já fizeram por mim, pela verdadeira amizade e pelos muuuitoos favores que nunca me foram negados. Ao meu amigo Lindberg Júnior, pelas valiosas discussões e ajuda com material.

Agradeço aos funcionários e AMIGOS do setor de Agrometeorologia do IAPAR: Ângela, Geovana, Maria Ely, Bianca, Priscila, Dalziza, Giovana, Heverly, Wilian, Jonas, Danilo, Joãozinho, Edmirson, Edmilson e Letícia. Agradeço pela amizade e inúmeras

contribuições durante todos esses anos. A nossa convivência foi a melhor possível, sempre com momentos de descontração e muito bem humorados, dos quais eu terei muitas saudades.

Não poderia esquecer de mencionar o meu agradecimento à prestativa Prof^a Dr^a Leonor Marcon Silveira (in memorian), e o Prof^o Msc Mitchel Druz Hiera, pelos valiosos ensinamentos e ajuda com as cartas sinóticas, durante a elaboração da minha dissertação.

Agradeço à FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA pelo suporte financeiro oferecido como apoio para o desenvolvimento desta dissertação, à Defesa Civil pela concessão dos dados e ao IAPAR pelos dados e oportunidade de estágio.

Agradeço aos professores do Departamento de Geociências, que de alguma forma contribuíram para este trabalho e aos funcionários da secretaria do CCE, principalmente à Regina, por sempre sanarem minhas dúvidas.

Agradeço a Deus, por ter me conduzido até aqui e colocado todas essas pessoas maravilhosas na minha vida.

"Quando os ventos de mudança sopram,
umas pessoas levantam barreiras, outras
constroem moinhos de vento".

Érico Veríssimo

PEREIRA, Livia M. Pederzini. **Ocorrência de ventos fortes no Paraná: gênese e impactos.** 2012 161 f. Dissertação (Mestrado em Geografia, Dinâmica espacial e Ambiental) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

RESUMO

O conhecimento das condições climáticas é fundamental para as atividades socioeconômicas, principalmente para o planejamento agrícola e urbano. Desta forma tem-se como objetivo no presente trabalho apresentar um estudo dos ventos no estado do Paraná, que foi elaborado por meio do cálculo e da análise das velocidades médias diárias, mensais e anuais; a frequência relativa; a distribuição da frequência relativa acumulada; a distribuição estatística de valores extremos e os valores de picos máximos para períodos mensais e anuais para 16 estações meteorológicas da rede do Instituto Agrônomo do Paraná, no período de 1976 a 2009. O resultado da análise da velocidade média do vento permitiu caracterizar as velocidades médias diárias e anuais e sugerir práticas de controle, como o uso de quebra-ventos e, também, identificar locais com potencial de aproveitamento eólico. Foram identificados os municípios de Londrina, Ibiporã, Cascavel, Clevelândia e Ponta Grossa, como os mais vulneráveis à ocorrência de vendavais. Para estes municípios, confirmou-se a primavera como a estação do ano de maior ocorrência desses fenômenos. Por meio do cálculo do desvio padrão, foram encontrados os valores considerados extremos para cada localidade. Posteriormente, com a aplicação da análise rítmica, foram analisados quatro episódios extremos ocorridos na primavera dos anos de 1989, 1992, 1997 e 2009. Foi observado que tais episódios apresentam um ritmo atmosférico que caracteriza sua deflagração nos dois dias que antecederam os vendavais: o tempo era seco e de temperaturas elevadas, consequência da atuação das massas Tropical Atlântica, Equatorial Continental e Tropical Continental. Em seguida, com a chegada de um sistema frontal ocorreu mudança do tempo meteorológico e a ocorrência do vento extremo, precipitação e posterior declínio das temperaturas. Além disso, algumas ocorrências de ventos fortes tiveram sua origem atrelada à atuação dos complexos convectivos de mesoescala.

Palavras-Chave: Ventos extremos. Clima. Paraná. Análise rítmica. Primavera.

PEREIRA, Livia M. Pederzini. **Occurrence strong winds in the state of Parana: genesis and impacts. 2012.** 161 f. Dissertation (Mestrado em Geografia, Dinâmica espacial e Ambiental) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

ABSTRACT

The knowledge of climatic conditions is essential to socioeconomic activities, especially for agricultural and urban planning. Thus has the objective of this work to present a study of winds in the state of Paraná, which was established by calculating and analyzing daily, monthly and yearly mean wind speed, relative frequency, distribution of the accumulated relative frequency, statistic distribution of the extreme values and wind gusts for monthly and yearly periods, for 16 first class weather stations from the network of Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), in the period 1976 to 2009. With the results of mean wind speed it was possible to characterize the yearly daily means and to suggest control practices such as the use of windbreaks, and to identify places with potential to produce wind energy. We identified the municipalities of Londrina, Ibiporã, Cascavel, Clevelândia and Ponta Grossa, as the most vulnerable to the occurrence of strong winds. For these municipalities, confirmed the spring as the season of highest incidence. By calculating the standard deviation, were considered extreme values found for each location. Later, with the rhythmic application of analysis, we analyzed four extreme episodes found in the spring of 1989, 1992, 1997 and 2009, where it was possible to observe a rhythm, where at least the two days preceding the storms, the weather was dry and high temperatures, a consequence of the actions of the masses Tropical Atlantic, Equatorial Continental and Tropical Continental, then with the arrival of a frontal system, change has occurred and the weather forecast occurrence of extreme wind, precipitation, and further decrease of temperature. Moreover, some instances of strong winds originate from convective cells.

Keywords: Extreme winds. Climate. Paraná. Rhythm analysis. Spring.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Geossistema.....	26
Figura 2 - Simbologia utilizada para descrição de sistemas em sequência	33
Figura 3 - Sistema Clima Urbano.....	36
Figura 4 - Roteiro metodológico.....	49
Figura 5 - Localização das estações meteorológicas.....	51
Figura 6 - Localização do Estado do Paraná.....	59
Figura 7 - Atuação das massas de ar no Brasil.....	62
Figura 8a e b - Características da circulação regional na América do Sul	64
Figura 9 - Relevo do Estado do Paraná.....	70
Figura 10 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a cidade de Ibiporã	78
Figura 11 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a cidade de Bandeirantes	78
Figura 12 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a cidade de Cambará	79
Figura 13 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a cidade de Londrina	79
Figura 14 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a cidade de Cianorte	79
Figura 15 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a cidade de Paranavai.....	79
Figura 16 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a cidade de Palotina	79
Figura 17 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a cidade de Cascavel	79
Figura 18 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a cidade de Guarapuava	80
Figura 19 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a cidade de Clevelândia	80
Figura 20 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a cidade de Laranjeiras do Sul.....	80
Figura 21 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a cidade de Lapa.....	80
Figura 22 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a cidade de Telêmaco Borba.....	80
Figura 23 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a cidade de Ponta Grossa	80

Figura 24 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a cidade de Pinhais	81
Figura 25 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a cidade de Morretes.....	81
Figura 26 - Uso do solo do Estado do Paraná 2001/2002.....	84
Figura 27 - Probabilidades empíricas de ocorrência de valores menores ou iguais à velocidade média diária do vento (v), para as estações de Cambará, Bandeirantes, Londrina e Ibiporã	85
Figura 28 - Probabilidades empíricas de ocorrência de valores menores ou iguais à velocidade média diária do vento, para as cidades de Guarapuava, Laranjeiras do Sul e Clevelândia.....	86
Figura 29 - Probabilidades empíricas de ocorrência de valores menores ou iguais à velocidade média diária do vento, para as cidades de Paranavaí, Cianorte, Palotina e Cascavel	86
Figura 30 - Probabilidades empíricas de ocorrência de valores menores ou iguais à velocidade média diária do vento, para as cidades de Lapa, Ponta Grossa e Telêmaco Borba.....	86
Figura 31 - Probabilidades empíricas de ocorrência de valores menores ou iguais à velocidade média diária do vento, para as cidades de Morretes e Pinhais.....	87
Figura 32 - Frequência média anual da direção predominante do vento para as 16 estações meteorológicas.....	89
Figura 33 - Relação das bacias hidrográficas com a direção do vento no Paraná	91
Figura 34 - Frequência da velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries dos anos completos para Bandeirantes	92
Figura 35 - Frequência da velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries dos anos completos para Cambará	92
Figura 36 - Frequência da velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries dos anos completos para Ibiporã	93
Figura 37 - Frequência da velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries dos anos completos para Londrina	93
Figura 38 - Frequência da velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries dos anos completos para Cianorte.....	93
Figura 39 - Frequência da velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries dos anos completos para Paranavaí.....	94
Figura 40 - Frequência da velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries dos anos completos para Palotina	94
Figura 41 - Frequência da velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries dos anos completos para Telêmaco Borba.....	94
Figura 42 - Frequência da velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries dos anos completos para Cascavel	95
Figura 43 - Frequência da velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries dos anos completos para Guarapuava	95

Figura 44 - Frequência da velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries dos anos completos para Laranjeiras do Sul	95
Figura 45 - Frequência da velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries dos anos completos para Lapa	96
Figura 46 - Frequência da velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries dos anos completos para Clevelândia	96
Figura 47 - Frequência da velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries dos anos completos para Ponta Grossa	96
Figura 48 - Frequência da velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries dos anos completos para Pinhais	97
Figura 49 - Frequência da velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries dos anos completos para Morretes	97
Figura 50 - Frequência da velocidade do vento acima de $24,4\text{ms}^{-1}$ por estação do ano no período de 1986 a 2009	101
Figura 51 - Número de vendavais ocorridos no Paraná no período de 1986 a 2009 registrados pela Defesa Civil.....	104
Figura 52 - Número de casas destruídas por vendavais no Paraná no período de 1986 a 2009 registrados pela Defesa Civil.....	105
Figura 53 - Número de casas danificadas por vendavais no Paraná no período de 1986 a 2009 registrados pela Defesa Civil.....	106
Figura 54 - Número de pessoas afetadas por vendavais no Paraná no período de 1986 a 2009 registrados pela Defesa Civil.....	107
Figura 55 - Velocidades máximas mensais do vento em Ibiporã no período de 1986 a 2009.....	109
Figura 56 - Velocidades máximas mensais do vento em Clevelândia no período de 1986 a 2009.....	109
Figura 57 - Velocidades máximas mensais do vento em Cascavel no período de 1986 a 2009	110
Figura 58 - Velocidades máximas mensais do vento em Ponta Grossa no período de 1986 a 2009	110
Figura 59 - Velocidades máximas mensais do vento em Londrina no período de 1986 a 2009.....	111
Figura 60 - Número de ocorrência de eventos extremos de vento, nas estações do ano para os municípios de Ibiporã, Cascavel, Ponta Grossa, Clevelândia e Londrina no período de 1986 a 2009	113
Figura 61 - Painel têmporo-espacial indicando os anos de maior ocorrência de vendavais na primavera, de acordo com a série histórica do IAPAR (1986 - 2009), nos municípios de Ibiporã, Cascavel, Ponta Grossa, Clevelândia e Londrina.....	113
Figura 62 - Episódio do dia 25/11/1989, com a passagem de um sistema frontal no Paraná (12 GMT).....	116
Figura 63 - Sistemas atmosféricos atuantes no Paraná durante o mês de novembro de 1989.....	116

Figura 64 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Londrina, no mês de novembro de 1989.....	117
Figura 65 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Ibiporã, no mês de novembro de 1989.....	118
Figura 66 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Cascavel, no mês de novembro de 1989.....	119
Figura 67 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Clevelândia, no mês de novembro de 1989.....	120
Figura 68 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Ponta Grossa, no mês de novembro de 1989.....	124
Figura 69 - Dia 03/11/1992, com um Sistema frontal atuando no Paraná (12 GMT)	123
Figura 70 - Sistemas atmosféricos atuantes no Paraná durante o mês de novembro de 1992.....	124
Figura 71 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Londrina, no mês de novembro de 1992.....	125
Figura 72 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Ibiporã, no mês de novembro de 1992.....	126
Figura 73 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Cascavel, no mês de novembro de 1992.....	127
Figura 74 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Clevelândia, no mês de novembro de 1992.....	128
Figura 75 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Ponta Grossa, no mês de novembro de 1992.....	129

Figura 76 - Carta sinótica do dia 05 de outubro de 1997, no qual foram registrados valores extremos de ventos em quase todos os municípios abordados, devido ao avanço de um sistema frontal	133
Figura 77 - Sistemas atmosféricos atuantes no Paraná durante o mês de outubro de 1997	133
Figura 78 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Londrina, no mês de outubro de 1997	133
Figura 79 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Ibiporã, no mês de outubro de 1997	135
Figura 80 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Cascavel, no mês de outubro de 1997	136
Figura 81 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Clevelândia, no mês de outubro de 1997	137
Figura 82 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Ponta Grossa, no mês de outubro de 1997	138
Figura 83 - Imagem de satélite do GOES-10 do canal infravermelho do dia 15/10/2009. Fonte: INPE	142
Figura 84 - Exemplo do dia 15/10/2009, com um sistema frontal atuando no Paraná (12 GMT).....	143
Figura 85 - Sistemas atmosféricos atuantes no Paraná durante o mês de outubro de 2009.....	143
Figura 86 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Londrina, no mês de outubro de 2009.....	144
Figura 87 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Ibiporã, no mês de outubro de 2009.....	145
Figura 88 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Cascavel, no mês de outubro de 2009.....	146
Figura 89 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Clevelândia, no mês de outubro de 2009.....	157

Figura 90 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Ponta Grossa, no mês de outubro de 2009.	148
Figura 91 - Notícia sobre os estragos causados pelo vendaval no dia 15/10/2009 em Londrina.....	149
Figura 92 - Trecho de uma reportagem sobre os estragos causados pelo vendaval do dia 14/10/2009 na região oeste do Paraná.....	150
Figura 93 - Cobertura de posto de gasolina em Cascavel totalmente destruída, devido aos ventos fortes que atingiram o município no dia 14/10/2009	150
Figura 94 - Trecho de uma reportagem sobre os estragos causados pelo vendaval do dia 18/10/2009 em Londrina.	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Proposta de classificação da paisagem em níveis temporo-espaciais e a relação de grandeza das unidades de paisagem	26
Tabela 2 - Escala de vento de Beaufort	53
Tabela 3 - Velocidade média mensal e anual do vento em ms^{-1} , para as 16 estações estudadas	76
Tabela 4 - Frequência de velocidade do vento (dias), obtida das séries com anos completos	83
Tabela 5 - Velocidades médias diárias (ms^{-1}) observadas em diferentes níveis de probabilidade	87
Tabela 6 - Média da velocidade máxima anual (1986-2009).....	98
Tabela 7 - Média das rajadas de vento por estação do ano (1986-2009)	99
Tabela 8 - Valores de estimativas dos parâmetros β e α e valores de X (ms^{-1}) para probabilidade de 95% e 99%.....	102
Tabela 9 - Probabilidades de ocorrência de rajadas máximas diárias de vento com velocidade acima de 17,1, 20,7, 24,4 ms^{-1} a 10 m acima do nível do solo e o tempo de retorno em dias estimado das mesmas velocidades para todas as estações analisadas	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estações meteorológicas utilizadas na pesquisa.....	50
---	----

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	19
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
1.1 ANÁLISE DOS SISTEMAS NO CONTEXTO DA GEOGRAFIA FÍSICA	23
1.2 A ABORDAGEM SISTÊMICA E OS ESTUDOS CLIMÁTICOS	28
1.3 A ANÁLISE DE EPISÓDIOS DE VENTOS FORTES POR MEIO DA CONCEPÇÃO SISTÊMICA	37
1.4 SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDOS QUE ENFOCAM A TEMÁTICA DOS VENTOS	41
2 ROTEIRO METODOLÓGICO	48
2.1 MATERIAL E MÉTODOS	50
2.2 VELOCIDADE MÉDIA E DIREÇÃO DO VENTO	51
2.3 VELOCIDADE MÁXIMA DO VENTO	52
2.4 ANÁLISE RÍTMICA	56
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	59
3.1 DINÂMICA ATMOSFÉRICA DOMINANTE	59
3.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA, OS COMPARTIMENTOS DO RELEVO E A CIRCULAÇÃO DOS VENTOS DO PARANÁ	67
4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	76
4.1 VELOCIDADE MÉDIA DOS VENTOS	76
4.2 DIREÇÃO DOS VENTOS	88
4.3 OCORRÊNCIA DE VENTOS EXTREMOS	91
4.3.1 Pico Máximo	91
4.3.2 Velocidades máximas anuais	97
4.3.3 Distribuição de extremos	101
4.4 PREJUÍZOS E OCORRÊNCIAS DE VENDAVALS NO PARANÁ IDENTIFICADOS PELA DEFESA CIVIL	104
4.5 DEFINIÇÃO DOS VALORES EXTREMOS	108
4.6 ANÁLISE EPISÓDICA DOS VENTOS FORTES	114
4.6.1 Episódio: Novembro de 1989	114

4.6.2 Episódio: Novembro de 1992	122
4.6.3 Episódio: Outubro de 1997	130
4.6.4 Episódio: Outubro de 2009.....	139
4.7 SÍNTESE DAS ANÁLISES DOS EPISÓDIOS	151
CONCLUSÕES	153
REFERÊNCIAS.....	157

INTRODUÇÃO

O clima é um dos aspectos que mais expressa a relação entre a sociedade e a organização econômica e social do espaço, sobretudo quando ocorrem eventos naturais extremos fora dos padrões habituais, repercutindo diretamente na qualidade de vida da população.

Os impactos causados pelos episódios climáticos extremos estão relacionados à vulnerabilidade de uma parte da sociedade ao fenômeno e a dificuldade na capacidade de previsão de sua ocorrência, devido principalmente à falta de planejamento governamental, pois nessas situações a tomada de decisões para medidas de prevenção e programas de emergência faz-se necessária.

Dentro desse contexto, optou-se por estudar a gênese dos ventos fortes no Estado do Paraná, pois os rápidos deslocamentos de massas de ar compõem eventos climáticos extremos com grande poder de destruição e o melhor conhecimento de sua variabilidade é importante para fornecer informações aos setores do governo que têm interesse na determinação de estratégias para diminuição dos impactos de tais eventos.

No contexto de atuação da Defesa Civil, a análise de extremos é a atividade inicial de preparação e planejamento, visando à mitigação de desastres de origem edífica. Seus resultados mapeiam as regiões mais propensas à ocorrência de ventos severos possibilitando o planejamento e a concentração de esforços em regiões mais sensíveis a este tipo de fenômeno (GONÇALVES, 2007, p. 3).

O estudo da ocorrência de ventos fortes não tinha, até pouco tempo, muita relevância para países como o Brasil, sendo que estudos realizados a respeito da pluviosidade, mais precisamente tratando a problemática das inundações, eram muito mais significativos e pesquisados. Porém, recentemente, com o aumento da ocorrência de ventos imprevisíveis de grande magnitude, como por exemplo, furacões e tornados na região sul, fizeram com que a comunidade científica também se voltasse para este problema, antes visto como algo fora de nossa realidade, existente somente em países mais distantes, como os Estados Unidos da América. Além disso, há uma escassez de dados disponíveis para a variável vento, pois nem todas as estações meteorológicas convencionais dispõem de anemógrafos e espera-se que, com a implantação cada vez maior das estações automáticas, este problema seja sanado com o tempo.

Há também outro problema enfrentado pelos pesquisadores no Brasil, que é a dificuldade na obtenção dos dados meteorológicos oriundos das instituições oficiais; não generalizando, mas a maioria dificulta o acesso aos dados, impondo barreiras por meio de excesso de burocracia.

Os ventos intensos derrubam árvores, destelham casas, causam danos às linhas de transmissão de energia, ao comércio e à indústria local, ocasionando problemas principalmente à população que, em sua maioria, não dispõe de moradias com infraestrutura adequada e, ainda, dispõe de menos recursos e capacidade de lidar com os eventos extremos ou de evitar seus prejuízos.

No campo da construção civil a quantificação da magnitude e frequência de ventos severos pode dar suporte a cálculos estruturais que, aliados ao desenvolvimento contínuo dos métodos de construção, pode resultar em um aumento significativo na segurança das edificações.

Em relação às áreas urbanas, é possível afirmar que os impactos causados pelos ventos fortes trazem muitos prejuízos para a população, que têm suas casas e comércios danificados. Estas áreas se tornam muito suscetíveis a este fenômeno, pois os ventos que se deslocam não encontram barreiras naturais para freá-los, devido principalmente ao processo de desmatamento ocorrido nos últimos anos.

Na agricultura, o vento também pode constituir um risco, pois reduz o potencial produtivo, quando ocorre acima de determinados limites característicos do nível de tolerância de cada espécie, trazendo consequências como: queda das folhas, flores e frutos e possibilitando o ingresso de vírus, fungos e bactérias nos locais afetados por quebras, além da diminuição da eficiência fotossintética (OMETTO; CARAMORI, 1981).

Mas, apesar do impacto dos ventos sobre as atividades socioeconômicas ser expressivo, foi constatado, a partir da revisão bibliográfica desenvolvida, que os trabalhos científicos relativos a este fenômeno, além de serem escassos, em sua maioria baseiam-se somente em métodos estatísticos e em médias climatológicas. Silveira (2003) cita que “os métodos puramente analítico-separativos, baseados em valores médios aplicados a Climatologia, deixam escapar os valores extremos apresentados pelas oscilações do tempo atmosférico, os quais por não serem habituais, geralmente causam impactos e significam riscos para a sociedade”.

Max Sorre (1951) não desconsiderava a importância do uso dos valores médios nem do emprego da estatística nos estudos climáticos que, segundo ele, seriam fundamentais para as análises sobre a variabilidade climática.

Por esta razão, junto à análise estatística e com a intenção de se obter uma análise mais completa sobre a dinâmica dos ventos no estado do Paraná, este estudo fundamenta-se no conceito de clima proposto por Sorre (1951, p.13), que o define como “a série de estados atmosféricos acima de um lugar em sua sucessão habitual” e, também, na metodologia da análise rítmica proposta por Monteiro (1969; 1971), ambas fundamentadas na Climatologia Dinâmica.

A análise rítmica permite o reconhecimento dos aspectos habituais que caracterizam o clima dos diferentes lugares, bem como os extremos, caracterizados como eventuais, mas que podem causar grandes impactos sobre o território e atividades socioeconômicas. Assim, Monteiro (1971, p. 9) destaca que “o ritmo climático só poderá ser compreendido por meio da decomposição cronológica pelo menos diária, compatível com a representação da circulação atmosférica regional, geradora dos estados atmosféricos que se sucedem e constituem o fundamento climático”.

Interpretar e conjugar toda essa gama de informações e a partir daí vislumbrar o ritmo de sucessão das massas de ar e dos tipos de tempo, isto é, da própria dinâmica atmosférica, é uma ação de caráter eminentemente geográfico, embora se esteja a lidar com informações predominantemente meteorológicas (ZAVATTINI, 2004, p. 346-352).

De acordo com Baldo (2006, p.1), além do entendimento da dinâmica, outros fatores geográficos como a latitude, a altitude, o uso da terra passam a ser parâmetros fundamentais nos estudos do clima, pois a atuação do homem, modificando a paisagem natural numa escala local, impõe à configuração topográfica uma situação de diversificação do uso do solo que, interagindo com o relevo, cria condições diversificadas de balanço de energia, gerando um quadro climaticamente peculiar.

Para Sant’Anna Neto (2008, p.63), “a repercussão dos fenômenos atmosféricos na superfície terrestre se dá num território, transformado e produzido pela sociedade, de maneira desigual e apropriado segundo os interesses dos agentes sociais, criando espaços de segregação, em variados níveis de vulnerabilidade”. Conforme o autor citado, a produção do espaço se dá a partir das

relações que se estabelecem entre a sociedade e a natureza e, nesse sentido, o conhecimento da dinâmica atmosférica torna-se significativo, em especial para o planejamento das atividades socioeconômicas e de políticas públicas que objetivam o desenvolvimento de uma região. Desta maneira, é possível prever com bastante acerto a frequência das rajadas de vento e seus efeitos a partir de uma série de dados históricos.

Em virtude da abrangência territorial e dos controles climáticos regionais que definem a circulação atmosférica desencadeadora dos episódios de ventos fortes no Paraná, a presente pesquisa, primeiramente, desenvolve uma análise regional do clima para a identificação dos períodos e áreas mais suscetíveis à ocorrência desses e, posteriormente, desdobra essa análise numa abordagem local por meio da análise rítmica, que está diretamente atrelada à análise regional devido à consideração dos dados oriundos das cartas sinóticas, que caracterizam a dinâmica da atmosfera regional que se manifesta na local por meio dos dados meteorológicos diários produzidos nas estações meteorológicas.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo geral caracterizar a gênese dos episódios de ventos extremos no estado do Paraná, no período de 1986 a 2009, subsidiados na dinâmica atmosférica regional e propiciar o estabelecimento de diretrizes para o planejamento das atividades socioeconômicas afetadas por tais eventos.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 A ANÁLISE DE SISTEMAS NO CONTEXTO DA GEOGRAFIA FÍSICA

A Geografia tem como particularidade ser uma ciência de relações, pois suas análises abrangem a relação Natureza e Sociedade, sendo que essa visão dual dos fatos que se materializam no espaço constitui um de seus problemas epistemológicos desde sua origem.

A origem da dicotomia da geografia se deu por meio da divisão da geografia física x geografia humana a partir da escola possibilista, na França do século XIX, como resultado das críticas de Vidal de La Blache à escola determinista criada por Ratzel, que pertencia à Geografia Alemã.

O debate sobre qual seria o objeto central da Geografia deu-se em um momento histórico em que também estava em discussão o caráter nomotético ou idiográfico da ciência geográfica. Tais debates se tornaram contínuos e abertos no contexto epistemológico dessa ciência, porém, em virtude do aparato metodológico mais eficiente das ciências físicas e da concatenação teórica elaborada por William Morris Davis, a Geografia Física rapidamente ganhou a imagem de ser cientificamente melhor elaborada que a Geografia Humana (CHRISTOFOLETTI, 2002).

Souza e Mariano (2008) apontam que, até o início do século XIX, os trabalhos de Geografia faziam parte de um saber globalizante da realidade, não desvinculado das outras ciências e que, a partir da segunda metade deste mesmo século, a Geografia, como ciência acadêmica, passa a ter um enfoque menos global, enfatizando que as condições do ambiente é que determinam o comportamento do homem e a sociedade passa a ser explicada por mecanismos que ocorrem na natureza.

No final do século XIX o possibilismo passou a ser aceito como concepção que definiria as relações homem-natureza, surgindo como reação ao Determinismo Ambiental, porém sem considerar a natureza como determinante do comportamento humano.

Segundo Mendonça (1989), a Geografia Física teve origem enquanto conhecimento científico com o desenvolvimento da Geografia Regional de

Paul Vidal de La Blache, concretizando-se enquanto ramo específico de estudo da ciência geográfica.

Esta Geografia procurava estudar as unidades componentes da diversidade areal da superfície terrestre. Em cada lugar, área ou região, a combinação e a interação das diversas categorias de fenômenos, refletiam-se na elaboração de uma paisagem distinta, que surgia de modo objetivo e concreto (CHRISTOFOLETTI, 2002, p. 13).

De acordo com Moraes (1983), as especializações que tentavam realizar as sínteses dos elementos ambientais se fortaleceram a ponto de se configurarem quase como áreas autônomas da Geografia, que se reencontrariam ao nível da Geografia Regional.

Assim, o Método Regional, que teve como principal responsável o geógrafo Richard Hartshorne, se caracteriza como mais um paradigma no interior da ciência geográfica e que teve destaque por meio dos estudos das diferenciações espaciais que permitiram a delimitação de áreas ou regiões baseadas em aspectos naturais e sociais, tendo maior nos anos de 1940.

Mendonça (1989, p. 34), fazendo um panorama sobre a caracterização da Geografia nos primeiros 50 anos do século XX, cita que “os estudos dos aspectos do quadro natural do planeta foram tratados de maneira individualizada entre si e completamente distante da Geografia Humana, constituindo-se verdadeiramente numa ciência da natureza consideravelmente distante do princípio básico da Geografia Geral”.

A partir dos anos 1950, o mundo passou por grandes mudanças caracterizadas pela explosão no número da população mundial, fator relevante para o desencadeamento da crise ecológica e nova organização do espaço mundial devido à segunda guerra, fatos que repercutiram sobre as ciências e o desenvolvimento tecnológico e econômico, ou seja, sobre toda a sociedade.

Este período coincide com o desenvolvimento epistemológico da Nova Geografia ou Geografia Quantitativa, que tomou outros rumos, diferentes das escolas geográficas citadas anteriormente, pois os fenômenos naturais foram inseridos no campo de estudo matemático-estatístico com o estabelecimento de modelos teóricos baseados em técnicas estatísticas com finalidades voltadas para os interesses dos Estados. Neste período há um rigor maior na aplicação da metodologia científica e um grande desenvolvimento de teorias gerais, como por

exemplo, a Teoria Geral de Sistemas, de Ludvig Von Bertalanfy, criada na Suécia, na Inglaterra e nos Estados Unidos, simultaneamente.

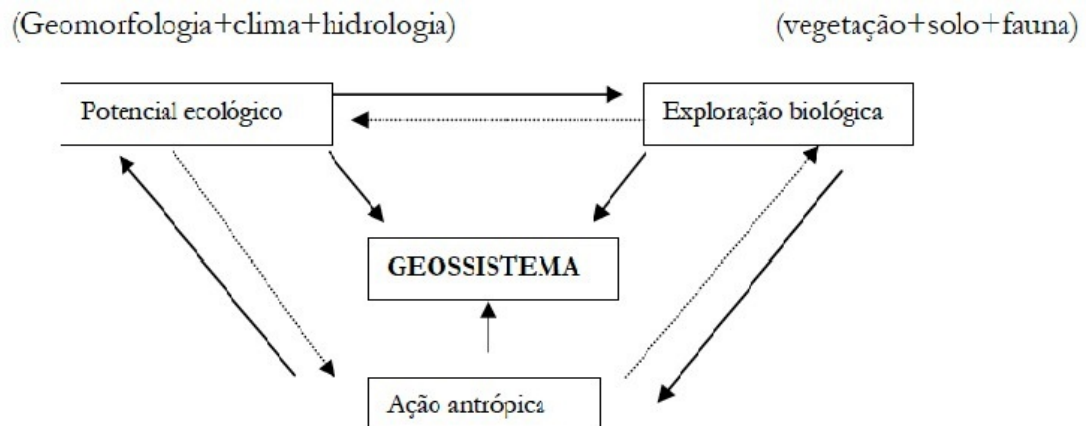
A aplicação da teoria dos sistemas aos estudos geográficos serviu para melhor focalizar as pesquisas e para delinear com maior exatidão o setor de estudo desta ciência, além de propiciar oportunidade para reconsiderações críticas de muito de seus conceitos (CHRISTOFOLETTI, 1979).

Desta forma, a Nova Geografia possuía um caráter neopositivista no que se refere à busca de explicações científicas, aceitando uma unidade entre as ciências e a possibilidade de transferência de teorias de um campo para o outro. Decorrente desse processo, foi desenvolvida uma nova metodologia no interior da Geografia e muito utilizada na Geografia Física, o Geossistema. O criador deste método foi Sotchava, em 1962, subsidiado nos princípios sistêmicos e na noção de paisagem.

No geossistema, a topografia, a vegetação, os solos e as águas são as fontes fornecedoras de energia e matéria, responsáveis pela dinâmica do sistema, mas o clima não é componente materializável e visível na superfície terrestre, embora seja perceptível e contribua significativamente para se sentir e perceber as paisagens. Entretanto, o clima é o fator fundamental para o geossistema, pois constitui o fornecedor de energia, surgindo como o controlador dos processos e da dinâmica do geossistema (CHRISTOFOLETTI, 2002, p. 42).

Os trabalhos de geógrafos físicos como Jean Dresch, Jean Tricart e Georges Bertrand podem ser citados como os mais característicos dentro desta linha teórica da Geografia Física, sendo que este último propõe o conceito de geossistema e estabelece um paralelo entre essa unidade de análise e o ecossistema.

O Geossistema propiciou um maior status metodológico à Geografia Física, facilitando e incentivando os estudos integrados das paisagens, além de possibilitar um prático estudo do espaço geográfico com a incorporação da ação social na interação natural com o potencial ecológico e a exploração biológica (NASCIMENTO; SAMPAIO, 2005) (figura 1).

Figura 1 - Geossistema

Fonte: Bertrand, G. (1972).

Por sua dinâmica interna, o geossistema não apresenta necessariamente homogeneidade, pois ele é formado de paisagens diferentes que representam os diversos estágios de sua evolução.

Bertrand (1972) propôs um sistema de classificação da paisagem que comporta seis níveis tempo-espaciais divididos em unidades superiores (zona, domínio e região) e unidades inferiores (geossistema, geofácies e o geotopo), como pode ser observado na tabela 1.

Tabela 1 - Proposta de classificação da paisagem em níveis tempo-espaciais e a relação de grandeza das unidades de paisagem.

Unidade de paisagem	Escala tempo-espacial G = grandeza	Unidades elementares				
		Relevo (1)	Clima (2)	Botânica	Biogeo-grafia	Unidade valorada pelo homem (3)
Zona	G I		Zonal		Bioma	Zona
Domínio	G II	Domínio estrutural	Regional			Domínio região
Região natural	G III	Região estrutural		Estádio série		Bairro rural ou urbano
Geossistema	G IV – V	Unidade estrutural	Local		Zona equipotencial	
Geofácies	G VI			Estádio Agrupamento		Exploração ou bairro parcelado (pequena ilha ou cidade)
Geotopo	G VII		Microclima		Biótopo biocenose	Parcela (p. ex. casa na cidade)

Fonte: Bertrand (1972).

Desta forma, o emprego destas metodologias geográficas contribuem como subsídios ao planejamento ambiental no que concerne à delimitação e análise integrada dos elementos do meio. Além disso, para Marques (1994), foi através da visão holística da paisagem e da necessidade de compreensão das relações entre a sociedade e a natureza que surgiram novas visões e enfoques para as pesquisas ambientais.

No decorrer do século XX o mundo passou por grandes transformações de ordem social (urbanização, explosão demográfica, melhoria das condições de vida dos homens, etc) e natural (maior pressão sobre os recursos naturais) que fizeram com que a sociedade voltasse seus olhares para as questões ambientais, criando grupos de movimentos sociais organizados para debater essa questão.

A conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente, realizada em 1972 em Estocolmo, configura um marco histórico desse debate.

A difusão dos debates e os movimentos ambientalistas possibilitaram tomada de consciência sobre implicações decorrentes do crescimento demográfico, do desenvolvimento da tecnologia e expansão das atividades econômicas, da grandeza atribuída aos fluxos de matéria e energia manipulados pelas atividades humanas, que se interagem com os fluxos dos ecossistemas e geossistemas (CHRISTOFOLETTI, 2002, p. 159).

Nas décadas de setenta e oitenta do século XX os aspectos geográficos passam a ser reinterpretados com base na teoria marxista, compondo as análises da chamada Geografia Crítica. O homem que, anteriormente era visto como um ser passivo, passa a ser encarado como principal agente sobre o ambiente, produzindo seu espaço (SOUZA; MARIANO, 2008), propiciando aos geógrafos uma busca pela compreensão da relação Natureza e Sociedade tendo como foco principal os processos sociais vinculados à produção do espaço.

No final da década de 1970 Jean Tricart e Jean Killian propõem uma nova abordagem metodológica para a geografia física subsidiada na ecologia, denominada de Ecogeografia.

Segundo Souza e Mariano (2008, p. 87), “a Ecogeografia é definida como o estudo de como o homem se integra nos ecossistemas e como esta integração é diversificada em função do espaço terrestre, envolvendo a dependência natural dos homens ao ecossistema e as modificações voluntárias”.

Desta forma, a geografia física passou por uma evolução ao longo do tempo e hoje seus estudos têm um papel muito importante no contexto do planejamento do desenvolvimento da sociedade, pois tais análises se mostram relevantes no auxílio de planejamentos dos mais variados espaços, sejam urbanos ou rurais.

Na atualidade as pesquisas na área da geografia física estão preocupadas com as necessidades e problemas da sociedade, não sendo mais possível separar as análises ambientais das sociais.

1.2 A ABORDAGEM SISTÊMICA E OS ESTUDOS CLIMÁTICOS

A partir do final do século XX até os dias atuais a sociedade tem demonstrado uma constante preocupação com as questões ambientais, tendo como foco a degradação ambiental e a busca por uma sustentabilidade como principais abordagens da geografia física contemporânea, devido principalmente à preocupação com os eventos naturais que desestabilizam a sociedade, tais como catástrofes climáticas, geológicas, etc; pois mesmo que estes fenômenos sejam de ordem natural, acredita-se que sejam intensificados devido às ações humanas, caracterizadas pelas novas formas de organização espacial.

Nesse contexto, a abordagem proposta pela Teoria Geral dos Sistemas, originalmente aplicada nos estudos de termodinâmica e de biologia que preconizam a existência de sistemas complexos desenvolvidos a partir das trocas de matéria e energia, passa a ser amplamente aplicada à geografia e, com maior ênfase, na Geografia física, pois tal teoria é vista como uma ferramenta metodológica que permite o rompimento da visão fragmentada dos fenômenos geográficos e que possibilita uma análise integrada dos mesmos.

Diferente da geografia praticada sob outros recortes metodológicos, a abordagem sistêmica vem completar a análise da relação sociedade-natureza de forma a compreender o conjunto dos elementos contidos na respectiva análise. Para o criador da Teoria Geral dos Sistemas, o biólogo Ludwig von Bertalanffy (1973), torna-se necessário o estudo não apenas das partes e dos processos de forma isolada, mas encontrar a resolução dos problemas na organização e nos processos que caracterizam as relações entre as partes, bem como procurar compreender a amplitude das questões, ou seja, buscar o entendimento do funcionamento do todo.

Camargo (2008) afirma que, dentro da inerente interconectividade que estrutura a natureza, os processos organizam-se em sistemas que buscam constantemente um determinado equilíbrio a partir de sua dinâmica, promovido pelos fluxos internos e externos aos mesmos.

O referido autor acrescenta ainda que aplicar à natureza um novo paradigma e encontrar respostas sistêmicas significou ir além da causalidade linear. Dessa forma, foi possível perceber uma dinâmica interconectada que envolve processos que vão além do meio natural, pois estão atrelados à sociedade e seus percursos.

Por ser compreendido como um método de aplicação universal, abrangendo vários campos do saber, a Teoria Geral dos Sistemas preconiza a existência de princípios e leis que podem ser aplicados aos sistemas e às suas subclasses, independentemente de seu tamanho, da natureza de seus componentes e da relação de forças que os envolve (Bertalanffy, 1973).

De acordo com Mendonça (1989), Sistema ou Teoria dos Sistemas pode ser definido como um conjunto de objetos ou atributos e suas relações, organizado para executar uma função particular.

Para Camargo (2008), a Teoria Geral dos Sistemas é um importante campo metodológico que se propõe suplantar a fragmentação e perceber os fenômenos a partir de sua interconectividade holística.

Ao nível mais geral da geografia a produção científica tem trabalhado sob a orientação da dialética da natureza e também tem buscado a aplicação desse direcionamento teórico à geografia física. Mas a análise de sistemas ainda configura-se como uma boa opção metodológica para os estudos da geografia física contemporânea, devido, principalmente, por seus direcionamentos nas análises das relações entre os elementos que compõem os sistemas e a proposição de mecanismos de feedback.

Segundo Sant'Anna Neto (1993), a abordagem sistêmica tem se revelado bastante eficiente na análise ambiental à luz da Geografia Física moderna, em que o conceito de geossistema tem sido intensamente discutido e a comunidade geográfica vem se empenhando em sua sistematização e no aperfeiçoamento de sua fundamentação teórica.

Tricart (1977) define um sistema como um conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia. Esses fluxos originam

relações de dependência mútua entre os fenômenos. Através da análise de um sistema são conceitualmente reconhecidas as suas partes interativas, o que torna possível captar a rede interativa sem ter de separá-las.

Uma das mais importantes características de um sistema são os processos que ele desenvolve em prol da busca por um equilíbrio a partir das trocas entre matéria e energia, encarado como um equilíbrio dinâmico.

Independentemente de qualquer tentativa de conceituação do sistema, ele sempre deverá conter, segundo Christofolletti (1979, p. 2):

- Elementos ou unidades - que são suas partes componentes.
- Relações – os elementos integrantes do sistema encontram-se inter-relacionados, um dependendo dos outros, através de ligações que denunciam os fluxos.
- Atributos – são as qualidades que se atribuem aos elementos ou ao sistema, a fim de caracterizá-los. Os atributos podem se referir ao comprimento, área, volume, características da composição, densidade dos fenômenos observados e outros.
- Entrada (input) – é constituída por aquilo que o sistema recebe. Cada sistema é alimentado por determinados tipos de entradas.
- Saída (output) – as entradas recebidas pelo sistema sofrem transformações em seu interior e, depois são encaminhadas para fora.

No estudo da composição dos sistemas vários aspectos devem ser abordados, tais como a matéria, a energia e a estrutura (CHRISTOFOLETTI, 1979).

Assim, a matéria corresponde ao material que vai ser mobilizado através do sistema; a energia corresponde às forças que fazem o sistema funcionar, gerando a capacidade de realizar trabalho e a estrutura do sistema é constituída pelos elementos e suas relações expressadas por meio do arranjo de seus componentes.

Os sistemas podem ser classificados conforme critérios variados, sendo que para a análise geográfica o critério funcional e o da complexidade estrutural são os mais importantes.

Segundo Christofolletti (1979), a totalidade dos sistemas que interessam ao geógrafo não atua de modo isolado, mas funciona dentro de um ambiente e faz parte de um conjunto maior.

Diante de tal afirmação, é importante enfatizar que a análise de sistemas aplicada à geografia propicia uma análise da Natureza que subsidia a sociedade a se preparar para lidar com situações emergenciais que, por conseguinte, permite amenizar perdas humanas e materiais e restabelecer a

normalidade da área atingida diante de eventos imprevisíveis, pois é um importante instrumento de gestão ambiental e que contribui para o planejamento do território.

Desta maneira, o território pode ser considerado um sistema complexo e para compreendê-lo são necessárias pesquisas que permitam o entendimento de sua dinâmica que subsidiarão o estabelecimento de propostas que possibilitem agir sobre seu funcionamento e modificar o cenário afetado, gerando processos de feedback que poderão resultar no equilíbrio dinâmico do sistema e, por conseguinte, da sociedade.

A partir da concepção da complexidade dos sistemas, Bentalanffy (1973) define ainda três características de fundamental importância para a análise dos sistemas, que são:

- Equifinalidade: se as condições iniciais ou processos são alterados durante o andamento de um evento em um sistema, o estado final do mesmo também o será.
- Retroação (feedback): processo ligado aos fluxos internos do sistema de energia livre que se encontram relacionados à informação e à comunicação que entram no sistema, sendo que estes fluxos, além de poder participar da evolução do sistema, também garantem o suprimento de energia e matéria indispensável para que qualquer conjunto mantenha seu equilíbrio.
- Adaptabilidade ou comportamento adaptativo: indica que, ao passar por um estado crítico, o sistema inicia um novo modo de comportamento. O comportamento adaptativo descreve o auto-ajuste ou a auto-organização a que se submete um fluxo sistêmico.

Além disso, Capra (1996 *apud* Camargo, 2008) destaca as seguintes propriedades referentes a um sistema aberto:

- Totalidade: o todo avança para sistemas mais complexos de organização, em que as partes, por complexidade e auto-organização, encontram patamares superiores de evolução. Em um novo nível hierárquico, cada componente do todo possui características específicas, podendo ser considerado como unidade, também analisada como totalidade.

- Padrão: teia de relações e uma totalidade em si. Uma teia possui determinadas características que afirmam seu conjunto. A partir do conhecimento de que os sistemas são auto-organizados observou-se que a natureza possui como característica a possibilidade de elaborar novas formas, alterando internamente as estruturas que compõem seus padrões.
- Estrutura: é a própria incorporação física do padrão de organização dos sistemas. A descrição da estrutura envolve a descrição dos componentes físicos efetivos do sistema, suas formas, composição química, etc.
- Organização: nesta propriedade Bertalanffy (1973) observa que, quanto mais cresce um sistema, maior é o caminho de sua organização e muitas organizações crescem além de seu limite crítico, gerando, assim, instabilidade ao sistema.

De acordo com Sotchava (1977), o estudo de geossistemas aparece como uma nova alternativa para a orientação de pesquisas científicas na moderna Geografia Física e é capaz de resolver o grave problema das subdivisões/especializações desta ciência, que acabaram por levar a um distanciamento do seu principal objetivo: as análises das relações entre a natureza e a sociedade.

Diante do exposto, compreende-se que as análises ambientais desenvolvidas pela geografia física subsidiadas no geossistema são de extrema relevância, possibilitando um estudo concreto do espaço geográfico, como por exemplo, os estudos de clima urbano.

Com a expansão da urbanização e o surgimento de grandes núcleos urbanos, o clima passou a ser compreendido como um fator relevante da análise de tais espaços, inclusive com a identificação de unidades microclimáticas (CHRISTOFOLETTI, 1979). Porém, a compreensão do clima urbano não se dá de forma isolada, sendo necessário entendimento dos outros componentes que constituem a superfície urbana (área edificada, rugosidade da topografia, áreas verdes, etc) juntamente com a camada atmosférica sobrejacente (densidade, diversidade e distribuição dos materiais sólidos, temperatura, umidade atmosférica, etc).

Conforme o exemplo do clima urbano, verifica-se que é possível delimitar o “sistema clima urbano” e o próximo passo passa a ser a escolha dos atributos relevantes aos diversos elementos que compõem o sistema e a mensuração dessas variáveis para, assim, identificar as relações existentes entre elas (CHRISTOFOLETTI, 1979).

Para o autor citado, os estudos da geografia, especialmente os da geografia física, estão interessados na representação dos sistemas em sequência, nos quais a estruturação procura salientiar o fluxo e as transformações de determinada entrada (água, energia, matéria-prima, etc), através de vários subsistemas integrados e funcionando de modo contíguo.

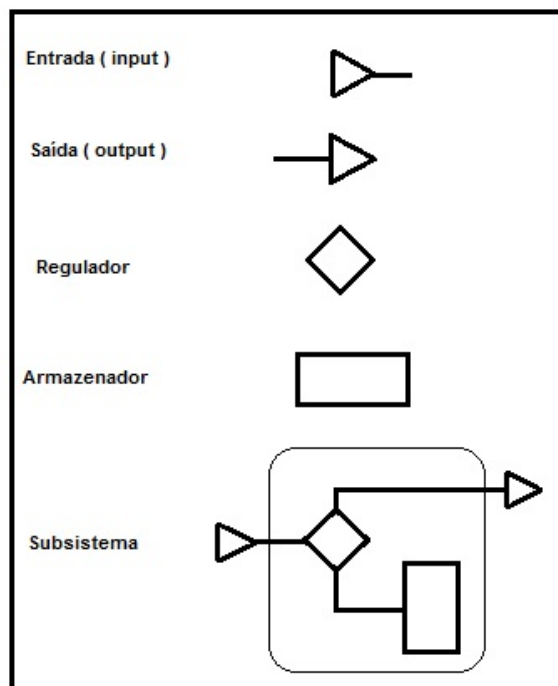
Segundo Christofolletti (2002), várias são as etapas que compõem a análise dos sistemas em sequência (Figura 2):

1ª - Consiste em diferenciar os diversos subsistemas componentes da cadeia, através dos quais se processa o fluxo da matéria ou energia;

2ª - Estabeler os reguladores, que são instrumentos aos quais atribuímos funções decisórias;

3ª - Colocação de armazenadores, cuja função é a de armazenar a energia que ficou retida no subsistema.

Figura 2 - Simbologia utilizada para descrição de sistemas em sequência.



Fonte: Christofolletti (2002).

Dentro desse contexto, a climatologia brasileira foi muito beneficiada, pois nos anos de 1970, Monteiro, subsidiado pela Teoria Geral de Sistemas, elaborou a proposição teórica e metodológica do Sistema Clima Urbano (SCU). Com a elaboração dessa proposta teórico-metodológica Monteiro procurou tratar a interação entre os elementos climáticos e os elementos que constituem a paisagem urbana.

O modelo de Monteiro que expressa a configuração do sistema climático urbano procura distinguir os fatores de controle, o núcleo do sistema, os níveis de resolução, os efeitos paralelos e a ação planejada que respectivamente, correspondem aos processos de insumo, transformação, produção, percepção e auto-regulação (CHRISTOFOLETTI, 2002, p. 64).

O SCU tem a atmosfera como operador e age sobre todos os processos naturais e sociais que o compõem. E, tudo que não é atmosférico, mas que está inserido no contexto urbano, constitui o operando, ou seja, um elemento do sistema que adquire, por meio de suas relações, atributos especiais, podendo ser considerado um sistema aberto, ou seja, uma organização complexa, cheia de mudanças e transformações que o homem tem o poder de intervir em sua auto-regulação.

A figura 3 representa o diagrama básico do SCU proposto por Monteiro (1976), demonstrando os fluxos de interações que podem ocorrer dentro de um sistema.

A entrada de energia no SCU (Input) é de natureza térmica (radiação), assim a superfície terrestre é o organismo urbano que recebe e reflete calor por meio das diversas formas de utilização, definidas pela sociedade. Esse organismo, por meio de suas diferentes formas de utilização, definirá a reflexão, a absorção, o armazenamento e a reirradiação do calor e, assim, as interações do organismo com o sistema acontecem todo o tempo.

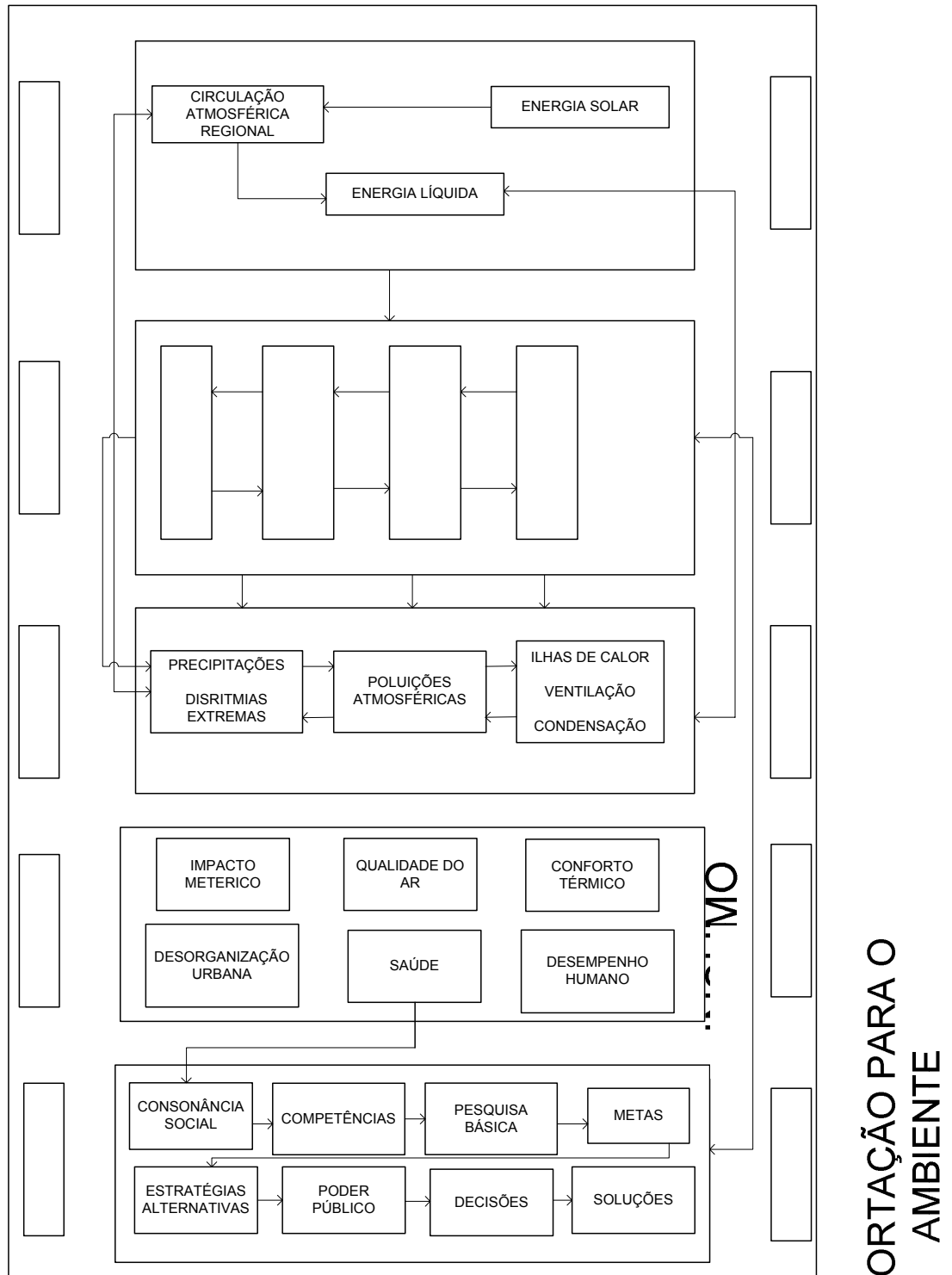
Essa energia gerada aparece como um ativador da circulação atmosférica, dando suporte ao funcionamento da estrutura interna do sistema, o núcleo, sendo que neste pode-se identificar elementos naturais ou sociais. Desta forma, esses elementos podem tanto alimentar os fenômenos gerados pelo clima urbano (precipitação, ventos, ilhas de calor, etc) como também ser alimentados por eles, existindo assim a retroalimentação energética dos fenômenos atmosféricos e a estrutura interna, gerando as diferentes percepções humanas destes elementos.

Em virtude de tais características, Monteiro (1976) sugere uma subdivisão para a compreensão do Sistema Clima Urbano em três canais de percepção humana: o conforto térmico (subsistema Termodinâmico), a qualidade do ar (Subsistema Físico-Químico), e o impacto meteórico (Subsistema Hidromecânico).

O canal do conforto térmico engloba as componentes termodinâmicas que, em suas relações, se expressam através do calor, ventilação e umidade; constitui um filtro perceptivo bastante significativo, pois permanentemente afeta a sociedade urbana.

Monteiro (1976) afirma que a análise termodinâmica da cidade fornece informação suficiente ao arquiteto e urbanista para a criação de espaços habitacionais e urbanos onde são estabelecidos os mecanismos de reciclagem e de adaptação do sistema ao clima e à qualidade-ambiente.

Figura 3 - Sistema Clima Urbano – Diagrama básico (MONTEIRO, 1976).



No canal da qualidade do ar, a poluição do ar associada às outras formas de poluição (água, solo, etc) é uma das mais decisivas na qualidade do ambiente urbano.

“Os mecanismos de auto-regulação do SCU neste canal, terão que ser exercidos na prevenção e correção das fontes de poluição. Estas constituem os

ÇÃO

detonadores a deflagrar um fluxo de produção inconveniente que percorre o sistema no sentido de uma auto-afirmação humana bastante perniciosa” (MONTEIRO, 1976, p. 136).

E no canal do impacto meteórico estão agrupadas todas aquelas formas meteóricas, hídricas (chuva, neve, nevoeiros), mecânicas (tornados) e elétricas (tempestades), que, assumindo eventualmente manifestações de intensidade, são capazes de causar impacto na vida da cidade, perturbando-a ou desorganizando-lhe a circulação e os serviços.

Segundo Monteiro (1976, p. 136), nesse canal são enfocados “[...] episódios ou eventos restritos no tempo que estão presos no tempo ao modo de transmissão de energia, ou seja, ao ritmo de sucessão dos estados atmosféricos”. Esses eventos são reflexos de variações extremas e de mudanças no ritmo climático, variando de acordo com os mecanismos de circulação regional em que atuam.

Para o autor citado, não há como dissociar os três canais de percepção uma vez que os mesmos estão diretamente ligados, mas para facilitar a análise, esse procedimento pode ser adotado.

1.3 A ANÁLISE DE EPISÓDIOS DE VENTOS FORTES POR MEIO DA CONCEPÇÃO SISTÊMICA

Visto que o objetivo principal do presente trabalho é a análise de ventos fortes no estado do Paraná e suas repercussões no espaço, partindo da proposta de estudo do sistema clima urbano de Monteiro (1976), pretende-se desenvolver a referida análise no contexto do canal de percepção do impacto meteórico. Neste canal a utilização da análise rítmica associada à estatística e a cartografia formam um conjunto de elementos que permitem a explicação dos fatores que ocasionam os eventos extremos.

Os eventos extremos naturais, como o próprio nome diz, são de ordem natural, sendo impossível evitá-los, porém inúmeras ações modificadoras do ambiente, feitas ao longo da história da sociedade, podem ser consideradas como agentes intensificadores do problema (retirada da vegetação original local, aumento da circulação de veículos e pessoas, impermeabilização generalizada do solo, mudanças no relevo, concentração de edificações, lançamento de gases poluentes na atmosfera) ou como formas de amenização de seus impactos.

Segundo LEAL (1986), a cobertura florestal do estado do Paraná encontra-se atualmente em níveis muito baixos, além de mal distribuída: na região noroeste, por exemplo, não ultrapassa 2% e nas micro-regiões de Assaí e Maringá não atinge 1% da área. O único obstáculo para a velocidade dos fortes ventos são as edificações residenciais e comerciais e árvores em ajardinamento, e essas, não resistindo à força dos vendavais, são abaladas. Assim, quando eventos dessa natureza ocorrem, cada lugar possui uma resposta ambiental específica, ligada diretamente à maneira como cada região foi sendo apropriada pela sociedade, pois o fato do espaço ser construído e apropriado de maneira desigual faz com que os efeitos de determinados tipos de tempo em determinado espaço sejam também desiguais.

Devido a essa desigualdade e, principalmente, à falta de infraestrutura, tanto as áreas urbanas quanto as rurais sofrem com os impactos da ocorrência de episódios de ventos fortes. Quando esses atingem velocidades muito elevadas causam destruição e prejuízos econômicos, como, por exemplo, o destelhamento de residências, problemas nas linhas de transmissão de energia, árvores arrancadas, acamamento de plantas, etc.

De acordo com Romero (2001), de todos os elementos climáticos, as condições do vento são as mais modificadas pela urbanização, pois o vento é muito instável, mudando de direção e velocidade em distâncias limitadas e em curtos períodos de tempo.

A questão exige maior cuidado dos setores de planejamento, maior atenção com a gênese e a dinâmica desses eventos, tanto com seus impactos sobre o ambiente urbano quanto rural, a fim de desenvolver mecanismos de defesa baseados em estudos consistentes.

Desta maneira, entende-se que a análise da ocorrência de episódios de ventos fortes a partir da análise de sistemas permite conhecer e avaliar seus diversos componentes e os processos e interações que neles ocorrem.

A ação humana, sendo vista como um processo interconectado contribui definitivamente para que os padrões de organização se revolucionem, pois a intervenção do homem envolve a própria dinâmica ambiental de cada lugar. E se as formas geográficas respondem a um modelo de desenvolvimento, então suas conseqüências são reproduzidas e irão interferir no equilíbrio de cada sistema, pois a essência do ambiente é a busca dinâmica do seu estado de equilíbrio, e, assim a evolução será uma resposta a essa relação geográfica (CAMARGO, 2008, p. 23).

Entretanto, Christofolletti (1979) cita que, quando os fenômenos são abordados enquanto sistemas, uma das principais atribuições e dificuldades está em identificar seus elementos, atributos e relações, a fim de delinear com clareza a extensão abrangida pelo sistema em foco.

Para que se possa estabelecer metas para fins de planejamento e, conseqüentemente, alcançar o equilíbrio do ambiente (feedback), o primeiro passo é a definição da escala que se pretende analisar, podendo ser de âmbito global a local, passando pela regional.

Os mecanismos da circulação atmosférica, partindo de centros de ação ou unidades celulares, individualizam-se em "sistemas" que se definem sob a influência dos fatores geográficos continentais e se expressam regionalmente através do ritmo de sucessão dos tipos de tempo (MONTEIRO, 1971, p. 13).

Além disso, a análise dos episódios de ventos fortes, sob o prisma da análise de sistemas, possibilita a identificação dos circuitos de retroalimentação, baseada na identificação e na prática de ações que devem ser tomadas para a prevenção de situações catastróficas; permite portanto traçar medidas preventivas.

A Defesa Civil (2003) sugere medidas que podem ser aplicadas a longo e em curto prazo para que os vendavais causem menores danos à população, propondo ações que amenizam os impactos, como por exemplo:

- Plantação de renques, com quatro a seis fileiras de árvores com enraizamento profundo, de alturas gradualmente ascendentes, em sentido transversal ao dos ventos dominantes, para proteger as plantações;
- Construção de habitações sólidas e bem situadas, evitando áreas alagáveis ou sujeitas a deslizamentos e, sempre que possível, protegidas dos ventos dominantes, por elevações ou quebra-ventos;
- Construção de coberturas com telhas cuidadosamente fixadas, para evitar deslizamentos ou destelhamentos. A construção de forros e lajes contribui para aumentar a segurança contra traumatismos;

- Proteção das aberturas, dificultando a entrada de fortes correntes de ar no interior das residências, através de janelas e portas que fechem hermeticamente;
- Desligar a entrada da corrente elétrica, para evitar curto-circuitos e incêndios;
- Proteger as pessoas do impacto de objetos, colocando-as embaixo de mesas e de outros móveis sólidos, caso as habitações não sejam sólidas e confiáveis;
- Fechar hermeticamente todas as aberturas da casa;
- Fixar todos os objetos que possam se tornar perigosos, caso sejam arrastados pelo vento;
- Manter a comunicação através de rádios de pilha;
- Estacionar o veículo automotor fora da estrada, em áreas protegidas de riscos de inundações, quedas de árvores, deslizamentos e desmoronamentos, com as luzes de alerta acionadas.

No que concerne à gênese do problema, é importante lembrar que muitas cidades “[...] crescem em proporção inversa à capacidade administrativa de planejá-las e de dotá-las de infra-estrutura” (MONTEIRO, 1976, p. 138). Desta maneira, para que se tenha o bom funcionamento do sistema e a solução dos problemas que o envolve, o planejamento é uma prática indispensável, sem deixar de levar em conta o conhecimento do ritmo climático da área em estudo.

É necessário propor alternativas de ações para as populações que residem nos municípios mais suscetíveis a este fenômeno, como os exemplos adotados pela Defesa Civil, apresentados anteriormente, bem como a implantação de um sistema de alerta contra vendavais, buscando a minimização dos prejuízos causados.

Assim, a aplicação da análise rítmica ao entendimento da gênese dos vendavais é uma importante ferramenta, auxiliando na compreensão do padrão de comportamento de tais episódios, amenizando os impactos decorrentes.

Entretanto, para que propostas sejam postas em prática é necessária a mobilização, principalmente do governo, considerando-as, por exemplo, na elaboração e desdobramento prático dos planos diretores municipais.

Monteiro (1976, p. 10) enfatiza que o geógrafo que investiga o campo da climatologia deve ter a plena consciência de que a organização do espaço é efetivada por decisões políticas, sob a ação de controles econômicos, por meio de execução tecnológica e assentada no contexto psicocultural do grupo social.

1.4 SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDOS QUE ENFOCAM A TEMÁTICA DOS VENTOS

A análise dos ventos tem sido pouco abordada em publicações de revistas, dissertações e teses. No levantamento bibliográfico efetivado foi identificado que a maioria das pesquisas que abordam o tema, além de serem escassas, foi desenvolvida principalmente a análise de dados estatísticos, sendo que uma abordagem dinâmica dos mecanismos deflagradores dos ventos é pouco enfocada, fato que justifica a presente proposta de trabalho.

Em um estudo realizado sobre os vendavais no estado do Paraná, Gonçalves (2007) utilizou registros horários de 32 estações meteorológicas automáticas da rede do Instituto Meteorológico SIMEPAR, com o objetivo de identificar a magnitude das rajadas extremas registradas entre 1998 e 2005. A metodologia empregada na análise dos dados e cálculo das estatísticas foi organizada a partir de controle de qualidade manual para a verificação dos dados suspeitos e identificação de rajadas fortes, incluindo a comparação com os registros de outras estações e com os registros de outras variáveis (precipitação, temperatura máxima e pressão), compilação dos registros de rajadas fortes e cálculo das estatísticas anuais (média dos máximos, máximo absoluto, histograma das intensidades e direções das rajadas fortes) e geração dos mapas dos extremos de vento com o uso de métodos geoestatísticos para interpolação espacial dos dados. A referida análise indicou que os vendavais dominantes no Paraná estão associados aos sistemas convectivos de mesoescala, que produzem tempestades nos meses mais quentes (outubro a março), com duração inferior a 1 hora, escala espacial inferior a 50 km e intensa convecção. A região composta pelas estações de Cascavel e Toledo apresentou os ventos mais severos do Paraná, com velocidades de 41,9 e 44,8ms⁻¹, respectivamente. As demais regiões estão sujeitas a ventos de 35,3 a 39,7ms⁻¹ no Oeste; 28,8 a 38,2ms⁻¹ na região Central; 26,4 a 36,6ms⁻¹ na região Norte e 21,4 a 30,6ms⁻¹ no Litoral, sendo que o Litoral apresentou as menores

intensidades dos vendavais em virtude do efeito da macro-rugosidade produzida pela Serra do Mar.

Prates, Zaicovski e Guetter (2002) analisaram o padrão de distribuição espacial do regime de ventos e de rajadas também para o estado do Paraná, abordando as características de velocidade média horária e rajada máxima horária. Este estudo foi realizado em quatro etapas. Na primeira etapa foi feita a recuperação dos dados horários do banco de dados do SIMEPAR para o período de 1° de janeiro de 1998 a 31 de dezembro de 2000. Posteriormente, na segunda etapa, foram aplicados testes para o controle de qualidade dos dados horários. Na terceira etapa foram feitos os cálculos das estatísticas (média, mínima e máximo) para cada uma das 24 horas do dia, que permitiram traçar mapas do vento médio e da rajada para as 9, 15 e 21 horas para cada mês do ano, compondo a quarta etapa.

As análises revelaram que os meses de junho, setembro e novembro apresentam os maiores valores anuais. Com relação à distribuição espacial dos ventos no estado, foi verificado que as regiões de Cascavel, Maringá, Francisco Beltrão, Guarapuava e Ponta Grossa apresentaram os maiores valores de velocidade média do vento ao longo do ano. No mapeamento do ciclo anual da rajada de vento, os meses de janeiro, setembro e outubro tiveram os maiores valores, sendo este último o mês que concentrou as maiores velocidades de rajada, entre 8ms^{-1} e 10ms^{-1} , observados na estação de Maringá. No período analisado os valores de rajada máxima não ultrapassaram 25ms^{-1} no estado.

Mendonça (1994) estudou o clima urbano do município de Londrina, abordando, em parte de sua tese de doutorado, os ventos predominantes no município. Em uma das etapas desse estudo foi feita a análise dos dados meteorológicos registrados pela Estação Agrometeorológica do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), localizada em Londrina e, posteriormente, foram identificados os principais tipos de tempo por meio de gráficos de análise rítmica para os períodos de 25/06 a 17/07/1992, de 25/12/1992 a 19/01/1993 e de 20/06 a 08/07/1993. A análise rítmica do período citado permitiu a descrição sinótica da situação de inverno de 1992 em que predominou a atuação dos Sistemas Tropical Atlântico e Polar Atlântico. No verão de 1993 foi identificada a atuação dos Sistemas Tropical Atlântico, Tropical Continental e Polar Atlântico. E no inverno de 1993 os sistemas que definiram os tipos de tempo foram: Polar Atlântico, Tropical Continental e Equatorial Continental. O autor concluiu que “[...] a dinâmica dos ventos de

superfície revelou importante participação no clima urbano, ora dissipando, ora intensificando a formação de ilhas de calor ou de frio urbanas”.

Wagner (1989) desenvolveu um estudo da caracterização do regime de ventos por meio de métodos estatísticos (velocidade média e frequência) e evidenciou que, no estado do Paraná, para o período analisado (1976 - 1986), a cidade de Londrina despontou, segundo a velocidade do pico máximo, com um valor máximo de 50ms^{-1} e com vários outros picos maiores que 30ms^{-1} . O autor concluiu que as variações mensais do pico máximo, apesar de bastante variáveis, mostram uma tendência de concentração de maiores valores nos meses de primavera e verão e dos menores valores nos meses de outono e inverno.

Leite e Virgens Filho (2007) avaliaram a distribuição de probabilidade Beta como modelo para ajuste e representação dos dados de velocidade média diária do vento na localidade de Ponta Grossa durante o período de janeiro de 1973 a dezembro de 1998. Tais autores observaram que, de julho a dezembro, ocorreram os maiores valores da velocidade média diária dos ventos, com destaque para o mês de setembro, e para os demais meses foi observado que os valores médios estiveram bem próximos entre si. Por outro lado, valores elevados de amplitude total de velocidade média do vento foram observados para todos os meses, havendo menores amplitudes no período de dezembro a fevereiro.

Os resultados desse estudo mostraram que a distribuição Beta apresentou ajustes adequados para todos os meses do ano, podendo ser considerada uma distribuição de probabilidade satisfatória para a representação dos dados de velocidade média do vento. Assim, foi concluído que os resultados obtidos para Ponta Grossa permitem a compreensão de que a exploração racional e direcionada deste elemento climático para a obtenção de recursos energéticos alternativos, nesta localidade, seja somente uma questão de tempo e conscientização dos agentes locais, entre eles os proprietários de áreas rurais.

Fagundes *et al.* (2006) identificaram e avaliaram a distribuição de frequência relativa dos ventos na região de Cascavel, utilizando dados de registros diários no período de 1° de maio de 2005 a 1° de maio de 2006. Os dados foram separados segundo a escala Beaufort e a análise dos resultados consistiu na construção da frequência relativa, que foi determinada pela razão entre o número de ocorrências nas diferentes escalas e o número total da amostra.

O referido estudo mostrou que o vento denominado de brisa atingiu o maior índice de frequência, com 37,2% das ocorrências e velocidade média de $2,4\text{ms}^{-1}$. Já a menor frequência foi demonstrada pelos ventos designados de regulares, apresentando apenas 0,2% e velocidade média de $8,3\text{ms}^{-1}$. A velocidade média anual foi de $2,3\text{ms}^{-1}$, com desvio padrão de $1,1\text{ms}^{-1}$.

Oliveira *et al.* (2003) também realizaram um estudo de análise climatológica do potencial eólico para Cascavel e possibilitou determinar a característica da velocidade predominante do vento, o potencial eólico médio disponível e a possibilidade de utilização do potencial eólico sazonal e anual, tendo como base três modelos diferentes de cata-ventos disponíveis no mercado. Para tal estudo foi utilizada uma série de dados diários da velocidade dos ventos para o período de janeiro de 1985 a dezembro de 1995 e, a partir do total diário acumulado, foram obtidas médias mensais, sazonais e anuais.

As velocidades médias dos ventos no referido município se apresentaram superiores a 3ms^{-1} a partir do inverno de 1989, porém o estudo demonstrou que as médias mensais da potência eólica formam dois períodos distintos, sendo o primeiro de 1985 a 1989 e o segundo de 1990 a 1995, com potência eólica superior a 15W^{-2} , viabilizando seu uso na agricultura para o bombeamento de água. A potência eólica cresceu com o passar dos anos, sugerindo a possibilidade da viabilidade do seu uso.

Em um estudo para a região de Santa Maria - RS, Heldwein *et al.* (2003) utilizaram 24 anos (1976 a 2002) de registros de um anemógrafo, instalado a 10m de altura, para analisar a velocidade e direção das rajadas de vento.

Os autores estabeleceram 4 categorias de velocidades para as rajadas de vento (>15 , >20 , >25 , $>30\text{ms}^{-1}$). Para estas categorias, os autores obtiveram as frequências relativas de ocorrência das rajadas e analisaram os horários de ocorrência no período de 6 anos (1981, 1982, 1983, 1986, 1987 e 1999), selecionados como os de maiores ocorrências de ventos fortes dentro da série histórica. Concluíram que as maiores rajadas, ou seja, acima de 30ms^{-1} , ocorreram com maior frequência na primavera e que, ao longo do dia, as rajadas ocorrem com maior incidência entre 04:00 e 11:00 horas.

Silva *et al.* (1997) estudaram o comportamento dos ventos em Pelotas - RS por meio de análises estatísticas, utilizando dados diários de velocidade média, velocidade máxima e direção predominante dos ventos no

período de 1952 a 1993. Os resultados mostraram que a primavera é a estação com ventos mais intensos, com destaque para os meses de outubro e novembro. Já o outono é a estação com os ventos de menores velocidades e o mês de maio tem os ventos mais fracos. Os dados de velocidade média apontaram um possível potencial eólico para a região. Quanto à direção predominante dos ventos, foi concluído que esta varia com a estação do ano: na primavera e no verão a direção predominante é E; no outono a direção é SE, e de NE no inverno. Esses autores ainda destacam que, para o local em estudo e em todas as estações do ano, há uma grande incidência de ventos de direção NE. Com este estudo houve uma contribuição para o planejamento de atividades que dependem das condições do vento no município, além de produzir subsídio para estudos mais aprofundados.

Munhoz e Garcia (2007) caracterizaram a velocidade e direção predominante dos ventos para a região de Ituverava – SP por meio da análise de frequência das observações diárias para cada um dos doze meses, referentes ao período de 1998 a 2002. O objetivo do trabalho foi obter maiores informações para subsidiar projetos que buscam o aproveitamento do vento no setor agrícola, auxiliando em práticas como a aplicação de defensivos e a localização de quebra-ventos.

Os resultados desse estudo mostraram que em Ituverava – SP predominam os ventos vindos de SE, com exceção do período de dezembro a fevereiro quando ocorrem, predominantemente, ventos de NW. De agosto a novembro os ventos sopraram com intensidade superior a média e de janeiro a julho foram menos intensos. A velocidade dos ventos foi muito variável no período, com um aumento de 40% nas velocidades dos ventos diurnos em relação aos noturnos.

Bautista et al. (2004) desenvolveram um estudo sobre a distribuição generalizada de valores extremos (GVE) aplicada ao ajuste dos dados de velocidade máxima do vento para o município de Piracicaba – SP, utilizando registros de anemógrafos instalados a 10 metros de altura referentes a um período de 43 anos. Para estimar os parâmetros dessa distribuição foi utilizado o método da máxima verossimilhança. O ajuste aos dados foi avaliado por meio dos gráficos quantil-quantil e do teste de Kolmogorov-Smirnov. A partir dessa pesquisa os autores identificaram a distribuição de Gumbel como a mais adequada para estudar a velocidade máxima dos ventos em todos os meses do ano, sendo que o período de setembro a dezembro apresentou as maiores velocidades máximas.

Diante do apresentado, nota-se que o estudo dos ventos no estado do Paraná, além de ser pouco pesquisado, demonstra a necessidade de uma abordagem sobre a dinâmica dos episódios de ventos fortes ou vendavais, pois conforme o levantamento bibliográfico efetivado foram produzidos estudos para poucas localidades do estado e das regiões sul e sudeste do Brasil.

Foi verificado que para a região nordeste do Brasil as análises climatológicas sobre o potencial eólico têm grande destaque, devido ao fato dessa área apresentar ventos contínuos com velocidades mais elevadas, ideais para a geração de energia eólica.

Silva *et al.* (2002) realizaram um trabalho com o intuito de determinar a potência eólica da direção predominante do vento de 22 estações climatológicas localizadas no estado da Bahia. Para tanto, foram consideradas todas as medições obtidas no período de janeiro de 1977 a dezembro de 1981 e foi desenvolvido um programa em linguagem FORTRAN 90 para gerar a distribuição de frequências associada a cada uma das direções. Uma vez identificada a direção predominante dos ventos para cada estação climatológica, passou-se à fase de análise da distribuição de frequências das velocidades correspondentes apenas àquela direção predominante. Foram determinadas as frequências acumuladas segundo a frequência Kimbal e os parâmetros da distribuição de Weibull.

Os resultados obtidos com a referida pesquisa permitiram concluir que a direção predominante do vento na Bahia varia de Norte a Sul, com predominância das direções Leste e Sudeste e que a distribuição de Weibull representa adequadamente a distribuição de frequências da velocidade do vento. A potência eólica no estado da Bahia apresentou grande variabilidade entre os meses e localidades, mas com locais de grande potencial. As variações de máximas estão entre junho e dezembro e as de mínimas entre março e maio. A exceção é o sul da Bahia que apresenta máxima entre junho e setembro, pois a razão climatológica deste comportamento diferenciado em relação ao restante do Nordeste deve-se ao fato da influência de sistemas sinóticos de latitudes médias que atuam na época do inverno provenientes do sul do Brasil. Para o litoral, os ventos alísios favorecem a penetração da brisa marítima no continente durante os períodos de máxima.

Silva *et al.* (2004b), determinaram a regionalização da potência eólica média horária da direção predominante do vento em 77 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia, localizadas no Nordeste do

Brasil, utilizando dados horários de velocidade e direção do vento no período de 1977 a 1981. Foi identificada a direção predominante do vento de cada localidade e foram estimados os parâmetros da distribuição de Weibull, por meio dos quais se calculou a potência eólica média horária.

Em função dos resultados apresentados no referido trabalho, constatou-se que a direção predominante do vento no Nordeste do Brasil é de Leste, com flutuações para Sudeste e Nordeste. O estado do Maranhão destaca-se como o de menor potencial eólico, enquanto os estados do Rio Grande do Norte, Sergipe, Ceará e Pernambuco apresentaram potencial superior aos 20Wm^{-2} . Os meses de maior potencial associados à direção predominante situam-se, em geral, entre junho e dezembro.

Melo *et al.* (2004) estudaram a variação do vento local em Petrolina - PE utilizando dados diários do vento à superfície em intervalos de 3 horas, provenientes de uma estação automática pertencente ao Instituto meteorológico do município.

A análise de dados do vento para os anos de 2001, 2002 e 2004 indica a existência de interação entre a circulação local e a de grande escala em Petrolina. O escoamento médio horário em Petrolina apresenta baixa intensidade e maior variação na direção no período chuvoso (primeiro trimestre). Ao longo do ano a intensidade do escoamento médio aumenta, associada a uma grande variação diária ocasionada pela intensificação da circulação local, enquanto há predominância da direção sudeste devido à atuação maior dos alísios. Com relação à variação diária, de modo geral, apresenta menores valores no final da noite e início da manhã e maiores valores em torno do meio-dia, evidenciando a existência de interação entre as circulações locais e de grande escala. A menor e a maior intensidade são observadas respectivamente em fevereiro e agosto.

Para as demais regiões do Brasil, constatou-se uma carência em referências bibliográficas que abordavam tanto a questão da energia eólica quanto os ventos intensos, tema pesquisado no presente trabalho.

2 ROTEIRO METODOLÓGICO

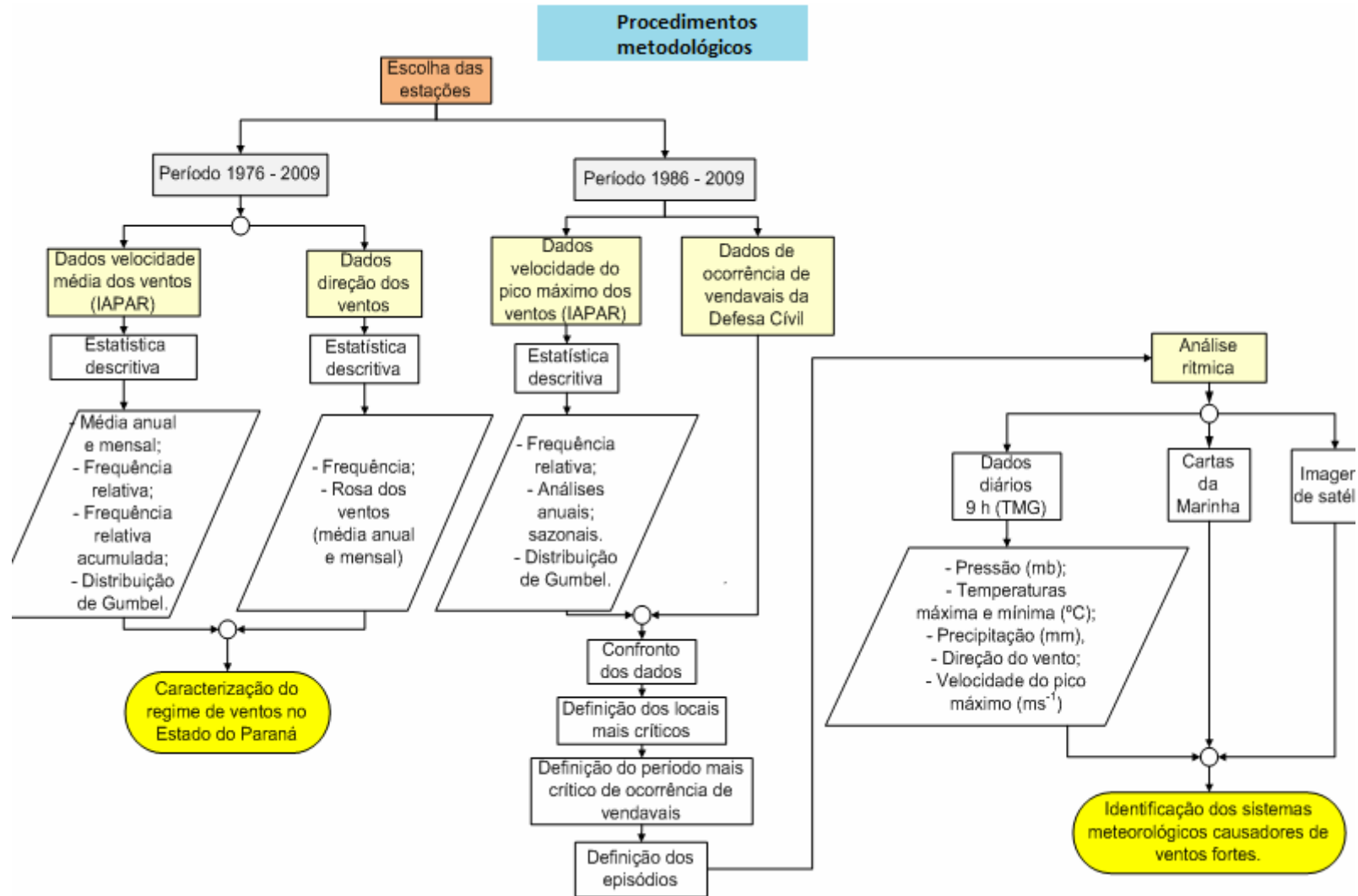
A metodologia adotada para esse estudo tem como base o SCU - Sistema Clima Urbano (MONTEIRO, 1976) focado no Canal de Percepção Impacto Meteorológico (subsistema hidrometeorológico). O SCU, idealizado segundo a Teoria Geral de Sistemas, constitui uma proposta de estudo do clima urbano que trata da interação entre os elementos meteorológicos atmosféricos e os elementos que constituem a paisagem urbana.

A utilização do Subsistema Hidrometeorológico auxilia nos estudos das manifestações meteorológicas de impacto como chuva, neve, nevoeiros, tempestades e, por fim, os ventos extremos, que constituem a abordagem desta pesquisa.

Assim, o estudo da interação entre a dinâmica atmosférica regional, a configuração dos controles geográficos e os atributos do clima urbano são ferramentas fundamentais para a análise de eventos extremos, principalmente os ventos que causam danos, tanto físico-estruturais quanto sociais, à população que, em sua maioria, não possui infra-estrutura necessária para suportar este tipo de evento climático.

Com relação às etapas da pesquisa (figura 4), inicialmente procedeu-se o estudo das médias das direções e velocidade dos ventos obtendo-se uma análise do comportamento do regime de ventos e, posteriormente, foram utilizados os dados diários de pico máximo do IAPAR, além dos dados de registro de ocorrência de vendavais no estado do Paraná pertencentes à Defesa Civil. A utilização de dados de dois órgãos diferentes teve como objetivo confrontá-los, validando assim os resultados encontrados por meio da estatística descritiva. Sendo assim, foi possível identificar as áreas de maiores riscos, bem como fazer o detalhamento da análise por meio do reconhecimento dos episódios de ventos fortes mais expressivos no estado para o recorte temporal considerado. A partir da escolha dos episódios, foi aplicada a análise rítmica como auxílio na identificação dos fenômenos geradores dos ventos intensos.

Figura 4 - Roteiro metodológico



2.1 MATERIAL E MÉTODOS

Para a elaboração da pesquisa foram utilizados registros de anemógrafos tipo 82a e 82b da marca R.Fuess, cujos sensores estão instalados a 10 metros acima do nível do solo, provenientes de 16 estações meteorológicas do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR). Para a análise de velocidade média e direção, o período de dados utilizados foi de 1976 a 2009; já para a análise dos picos máximos, o período foi de 1986 a 2009. Foi necessário utilizar dois recortes temporais, pois somente a partir de 1986 os dados diários dos picos máximos passaram a ser digitalizados para o banco de dados do IAPAR.

Também foram usados dados do SIMEPAR para dar continuidade às séries de algumas estações desativadas do IAPAR, como é o caso das estações de Cascavel e Ponta Grossa, desativadas em 1998 e 2001, respectivamente. Além disso, foram utilizados os dados da Defesa Civil Paraná para as ocorrências de vendavais no estado no período de 1986 a 2009.

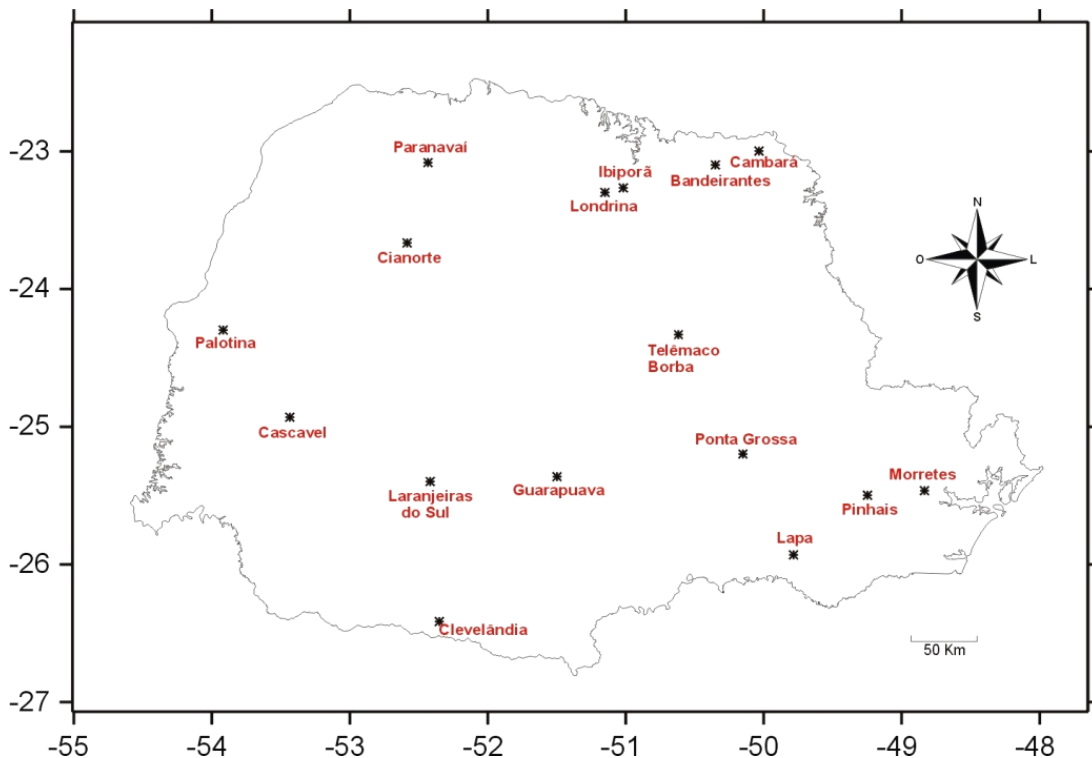
As 16 estações analisadas e seus dados físicos se encontram no quadro 1 e sua localização dentro do Estado na figura 5. Estas estações foram escolhidas por serem as que abrigam os anemógrafos do tipo universal.

Quadro 1- Estações meteorológicas utilizadas na pesquisa.

CÓDIGO	ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (m)
2350018	BANDEIRANTES	-23,60	-50,21	440
2350017	CAMBARÁ	-23,00	-50,20	450
2453023	CASCABEL	-24,56	-53,26	760
2352019	CIANORTE	-23,40	-52,35	530
2652003	CLEVELÂNDIA	-26,25	-52,21	930
2551010	GUARAPUAVA	-25,21	-51,30	1058
2351011	IBIPORÃ	-23,16	-51,10	484
2549091	LAPA	-25,47	-49,46	910
2552009	LARANJEIRAS DO SUL	-25,25	-52,25	880
2351003	LONDRINA	-23,22	-51,10	585
2548038	MORRETES	-25,30	-48,49	59
2453003	PALOTINA	-24,18	-53,55	310
2352017	PARANAÍ	-23,50	-52,26	480
2549041	PINHAIS	-25,25	-49,80	930
2550024	PONTA GROSSA	-25,13	-50,10	880
2450011	TELÊMACO BORBA	-24,20	-50,37	768

Fonte: IAPAR

Figura 5 - Localização das estações meteorológicas.



2.2. VELOCIDADE MÉDIA E DIREÇÃO DO VENTO

Para a realização desta etapa da análise, constituída pela caracterização da velocidade média e direção do vento, foram considerados os seguintes parâmetros:

1) Velocidade média dos ventos - obtida a partir do total diário acumulado, cotado com base nos anemogramas, das quais foram geradas as médias diárias mensais e anuais para cada estação meteorológica.

A análise dos resultados para a velocidade média dos ventos consistiu na construção da frequência relativa, que é determinada pelo número de eventos para cada classe em um determinado período.

Outra maneira de apresentar os dados foi por meio da distribuição de frequência relativa acumulada. Essa representação tem a vantagem de mostrar os eventos que são maiores ou menores do que certo valor (ASSIS *et al.*, 1996). A representação dos eventos foi obtida por meio das frequências relativas e a elaboração dos gráficos de frequência acumulada para cada estação, denominados de polígonos de frequência acumulada.

Para as análises de velocidades médias diárias dos ventos para diferentes níveis de probabilidades foi utilizada a distribuição estatística de valores extremos denominada de Gumbel. A função de probabilidade acumulada da distribuição de Gumbel é:

$$F(v) = \exp\{ \exp[+ \alpha (v + \beta)]\}$$

em que α e β são, respectivamente, os parâmetros de locação e de forma da distribuição, sendo mensurados por meio do método dos momentos, onde os parâmetros α e β são estimados com base nos dois primeiros momentos da amostra (média e desvio padrão), obtidos pelas seguintes equações:

$$\beta = \frac{\sqrt{6}}{\pi} s \text{ e } \alpha = \bar{X} - 0,5772\beta$$

2) Direção predominante dos ventos - caracterizada por meio da análise de frequência das observações diárias do vento em cada um dos quadrantes: N, NE, E, SE, S, SW, W e NW.

As horas com direção indefinida foram contadas como de direção variável. Com base nesses dados foram apresentadas graficamente as rosas-dos-ventos com as médias mensais e anuais.

2.3 VELOCIDADE MÁXIMA DO VENTO

Esta etapa consiste na análise da velocidade do pico máximo que se refere à abordagem principal do presente trabalho.

Os picos máximos foram obtidos por meio da cotação dos anemogramas para cada estação meteorológica.

Primeiramente, foi realizada uma análise para a velocidade máxima diária dos ventos, que consistiu na construção de histogramas de frequência relativa. Optou-se por estimar as classes de velocidade do vento segundo a escala Beaufort (tabela 2), que apresenta uma quantificação da intensidade dos ventos considerando a sua velocidade e os efeitos decorrentes no mar e no continente.

Tabela 2 - Escala de vento de Beaufort

Escala	Designação	Velocidade do vento (m.s ⁻¹)	Aspecto do mar	Influências em terra
0	Calmaria	0 – 0,2	Espelho d'água.	Fumaça na vertical.
1	Aragem	0,3 – 1,5	Pequenas rugas com aparência de escamas.	A direção do vento é mostrada pela fumaça.
2	Brisa leve	1,6 – 3,3	Ondulações leves com cristas, mas sem arrebentação.	Sensação de brisa na face, sussurro de vento.
3	Brisa fraca	3,4 – 5,4	Ondulações pronunciadas, começo da arrebentação.	Folhas e pequenos galhos em movimento constante.
4	Brisa moderada	5,5 – 7,9	Pequenas ondas que tornam-se mais compridas.	Levantamento de poeira e perda de folhas de papel.
5	Brisa fresca	8,0 – 10,7	Ondas moderadas são formadas.	Pequenas árvores oscilam, ondas com cristas se formam em águas interiores.
6	Brisa forte	10,8 – 13,8	Grandes ondas começam a se formar	Grandes galhos se movimentam e guarda chuvas são usados com dificuldade.
7	Ventania fraca	13,9 – 17,1	O nível do mar começa a oscilar e a espuma produzida pela arrebentação das ondas é levada pelo vento.	Movimentação dos caules e dos galhos das árvores.
8	Ventania	17,2 – 20,7	Ondas moderadamente altas e de grande comprimento, com o limite de suas cristas começando a arrebentar.	Quebra de galhos de árvores. Geralmente impede o progresso de humanos.
9	Ventania forte	20,8 – 24,4	Ondas altas tombam e rolam produzindo espuma suficiente para dificultar a visibilidade.	São causados suaves danos estruturais (coberturas de chaminés são removidas).
10	Tempestade	24,5 – 28,4	Ondas muito altas e superfície do mar toda branca.	Árvores são desenraizadas e danos estruturais consideráveis são produzidos.

11	Tempestade severa	28,5 – 32,6	Ondas excepcionalmente altas (pequenos e médios navios são ocultados pela altura das ondas). Visibilidade afetada.	Danos estruturais por toda parte.
12	Furacão	Acima de 32,7	O ar é tomado por espuma e névoa. A superfície do mar torna-se completamente branca.	-

Fonte: Organização Meteorológica Mundial (1995).

Os resultados foram plotados com o objetivo de identificar, por meio da comparação das estações, as regiões mais sujeitas aos ventos extremos. Além disso, foram feitas tabelas com a média das velocidades máximas anuais, assim como a média dos dados diários de pico máximo separando-os para cada época do ano (verão, outono, inverno e primavera).

Para cada estação do ano foi realizada a análise da frequência de ventos fortes acima de $24,4\text{ms}^{-1}$, considerado “tempestade” na escala 10 de Beaufort; a partir desse valor tem-se a escala de “vendaval”, gerador de episódios deflagradores de impactos sobre o território de acordo com a Defesa Civil Paraná. Com isso identificou-se o período do ano mais vulnerável à ocorrência de tais eventos.

A partir da utilização da distribuição estatística de valores extremos, denominada Gumbel, foi possível calcular os valores de alfa e beta por meio do método dos momentos (tabela 7), que mostrou os valores de velocidade máxima diária com probabilidades de não serem extrapolados em 95% e 99%, para cada município, ou seja, essa estatística revelou os dados que tiveram até 5% e 1% da velocidade máxima acima do valor registrado na série analisada. Segundo Bautista *et al.* (2004) estes resultados, juntamente com o conhecimento climático da região, proporcionam aos diversos profissionais da construção civil uma grande margem de segurança em suas obras.

Além desta análise, também foi realizada outra estimativa de probabilidade de ocorrência de ventos extremos, considerando somente os valores acima de $17,1\text{ms}^{-1}$ que, segundo a escala Beaufort, já podem causar danos como a

quebra de galhos de árvores. Também foi levado em consideração o tempo de retorno em dias, que é definido como o tempo médio decorrido entre as ocorrências de um evento que excede ou iguala-se em uma certa magnitude.

Assim, segundo Assis *et. al* (1996, p. 24), a relação entre a probabilidade de ocorrer o evento x , $p(X)$ e o período de retorno (T) é tal que:

$$T = \frac{1}{P(X \geq x)}$$

ou seja, o período de retorno é o inverso da probabilidade de ocorrer um valor do evento X com magnitude igual ou maior a um certo valor x .

Tendo como base os dados da Defesa Civil Paraná foi possível realizar um estudo complementar que possibilitou considerar dados dos episódios de ventos fortes em municípios que não dispõem de estação meteorológica do IAPAR, definindo assim os locais de maiores ocorrências para todo o Paraná, bem como seus impactos. Para uma melhor visualização do comportamento desses dados dentro do estado, foram confeccionados mapas, utilizando o software ArcGIS versão 9.3.

A partir desta etapa foram definidos os locais mais propícios a vendavais no estado do Paraná que, posteriormente, foram analisados por meio do desvio padrão. Para esta análise foram utilizados os dados de velocidade máxima mensal das estações.

O Desvio Padrão é representado como a raiz quadrada da variância e sua função na climatologia é de fundamental importância, pois permite analisar a variação e a irregularidade dos valores em relação a sua média:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

N = número de eventos da amostra; x_i = i ésimo evento da amostra; \bar{x} = média da amostra.

Todas as amostras com valores acima do limite superior (média mais o desvio padrão) foram consideradas eventos extremos.

Sendo assim, foi possível escolher os anos e o período do ano em que o fenômeno obteve maior repercussão para os municípios escolhidos, auxiliando na identificação dos episódios.

Após esta etapa, os episódios foram analisados por meio da metodologia da análise rítmica (MONTEIRO, 1971) visando a identificação da dinâmica atmosférica responsável pela ocorrência dos mesmos.

2.4. ANÁLISE RÍTMICA

A caracterização da dinâmica climática que compõe os episódios de ventos fortes foi realizada por meio da análise rítmica (MONTEIRO, 1971), que consiste na interpretação da sequência sobreposta dos elementos fundamentais do tempo sobre um determinado local e da circulação atmosférica predominante, observadas a partir das cartas sinóticas de superfície.

Através da análise das variações diárias dos elementos climáticos associados à circulação regional é possível entender a gênese dos fenômenos climáticos estudados. Segundo Monteiro (1973), o nível geográfico é alcançado quando se coloca a análise dos tipos de tempo em sequência contínua.

Essa metodologia permite o reconhecimento dos aspectos habituais que caracterizam o clima dos diferentes lugares, bem como aqueles que ocorrem de modo mais extremo e que podem causar grandes impactos sobre o território. Assim, o referido autor destaca que “[...] o ritmo climático só poderá ser compreendido por meio da decomposição cronológica pelo menos diárias, compatíveis com a representação da circulação atmosférica regional, geradora dos estados atmosféricos que se sucedem e constituem o fundamento climático” (MONTEIRO, 1971, p. 9).

Ainda, segundo o autor, identificar a sucessão habitual dos sistemas atmosféricos para determinada região e entender suas repercussões em cada atributo meteorológico específico constituem fatores fundamentais para verificar o seu impacto sobre o espaço geográfico. E, de acordo com Baldo (2006), com base em uma análise dinâmica e genética do clima pode-se desvendar diversas relações de causa e efeito no conjunto formado pela interação entre a atmosfera, a superfície terrestre e a sociedade na constituição das diferentes territorialidades.

Com base no exposto, a análise rítmica foi desenvolvida para os episódios de ventos fortes no estado do Paraná e foram definidos da seguinte forma:

- Episódios ocorridos no período da primavera, época do ano em que foi constatada a ocorrência de vendavais em todas as estações meteorológicas analisadas;
- Para a seleção dos dias que compuseram a análise rítmica foram consideradas as estações meteorológicas com maior risco à ocorrência de vendavais e que, pelo menos quatro das cinco estações meteorológicas consideradas tivessem atingido a velocidade do pico máximo igual ou superior ao valor considerado extremo, lembrando que para cada localidade há um valor.
- Com auxílio do programa computacional RitmoAnálise – programa específico para a confecção dos gráficos da Análise Rítmica (BORSATO, 2008), foram elaborados gráficos com os valores diários dos elementos climáticos (pressão atmosférica, temperaturas máximas, médias e mínimas, umidade, chuva acumulada nas 24 horas do dia, rajada e direção do vento predominante do dia e da rajada) registrados nas estações agrometeorológicas do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e o sistema atmosférico atuante no dia.
- Para a identificação dos sistemas atmosféricos atuantes foram utilizadas cartas sinóticas da Marinha do Brasil, das 12 horas TMG, na escala diária e imagens do satélite meteorológico GOES-12, no canal infravermelho termal (IV, 11 μm), disponibilizadas no *site* do CPTEC-INPE. Segundo Macedo *et al.* (2004), este satélite permite observar e quantificar várias características da nebulosidade e as vantagens das imagens GOES são: sua frequência (uma a cada 15 minutos), a definição espacial (em torno de 4 x 4 km^2) e seu caráter operacional, isto é, a previsão de disponibilidade contínua por um período extenso de tempo. Tais características são úteis para desenvolver e aplicar métodos de monitoramento destinados a fornecer informações para a previsão do impacto de alguns fenômenos meteorológicos e sua avaliação posterior, na escala de horas.

Há situações em que a simples análise da carta sinótica e da imagem de satélite não conseguem explicar os tipos de tempo; nessas condições a

análise integrada dos principais elementos do tempo é um importante subsídio na identificação do tipo de tempo e do sistema atmosférico atuante. Além disso, o CPTEC disponibiliza mensalmente um boletim de monitoramento e análise climática denominado Climanálise, que descreve os aspectos climáticos e sinóticos do Brasil, constituindo uma importante ferramenta no auxílio da identificação dos sistemas produtores dos tipos de tempo.

Como salientado, a análise rítmica propicia uma análise genética dos tipos de tempo correlacionada com os atributos geográficos locais e a circulação da atmosfera, constituindo uma metodologia de grande importância para os estudos do meio ambiente, agricultura, planejamento urbano-regional, entre outros (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

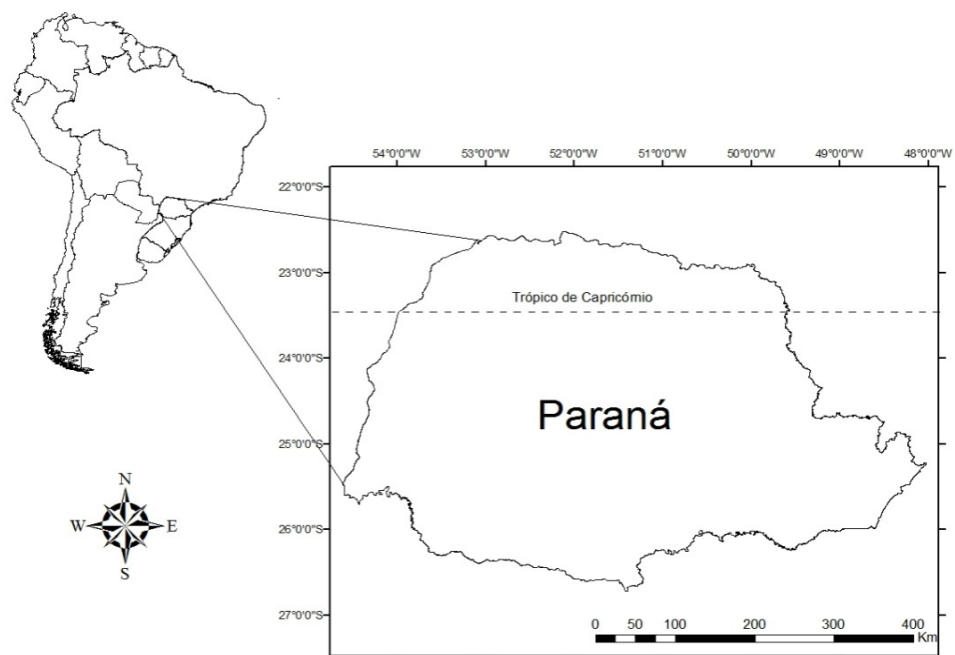
Assim, por meio desta análise pretende-se estabelecer os padrões de atuação dos sistemas atmosféricos e sua participação na geração dos episódios de ventos fortes no estado do Paraná para o recorte temporal destacado.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 DINÂMICA ATMOSFÉRICA DOMINANTE

O estado do Paraná está localizado no Sul do Brasil, no Planalto Meridional, entre as latitudes $22^{\circ}29'33''$ e $26^{\circ}42'59''S$ e longitudes $48^{\circ}02'24''$ e $54^{\circ}37'38''W$, com uma área de 199.880 km^2 (figura 6).

Figura 6 - Localização do Estado do Paraná.



O clima da região sul do Brasil apresenta características particulares e diferenciadas em relação à configuração climática brasileira como um todo. O clima da região sul do Brasil é definido como sendo subtropical, de caráter mesotérmico, com forte amplitude térmica regional, farta distribuição anual das chuvas, sem ocorrência de período seco (NIMER, 1989).

Os centros de ação que mais exercem influência na região sul são o Anticiclone Migratório Polar, o Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul e a Depressão do Chaco (MONTEIRO, 1963).

O Anticiclone Migratório Polar se forma através do acúmulo de ar polar sobre os oceanos, nas latitudes subpolares, sendo muito importante para a caracterização do clima da região sul do Brasil. Esse centro de ação se desloca em direção ao norte no decorrer do outono e do inverno no hemisfério sul, pois é

[...] atraído pelo gradiente térmico dirigido, então, para o equador, e encontrando facilidades de propagação para o norte, pelo litoral, através do corredor de planícies interiores e sobre o Planalto Brasileiro, migra constantemente. Bifurcado em dois grandes ramos, por obra da cordilheira dos Andes, pelas vertentes atlântica e pacífica, não raro se define mais na primeira, quando o ar polar da segunda extravasa por sobre a parte meridional menos elevada dos Andes para a Patagônia (MONTEIRO, 1963, p. 122).

O anticiclone migratório Polar desenvolve uma movimentação do sul para o norte, mas no verão perde força e atua de forma mais direta no sul da América do Sul.

O Anticiclone Semifixo do Atlântico Sul é móvel devido ao deslocamento sazonal das altas pressões, posicionando-se ora mais próximo ora mais distante do continente; portanto, seu deslocamento é leste-oeste. No verão, quando se move para oeste, exerce forte influência sobre a região Sul, gerando chuvas, por formar massa quente e úmida (MENDONÇA, 2007).

A depressão do Chaco, segundo Monteiro (1963), tem sua gênese ligada a importantes componentes dinâmicos decorrentes da acentuação das condições de frontogênese na Frente Polar Atlântica. Mesmo no inverno, quando a depressão se reduz a uma simples calha, graças às ondulações da Polar Atlântica, se define pela fusão de vários outros pequenos centros depressivos do interior do continente, exercendo, assim, importância na atração dos sistemas intertropicais para o sul.

Assim, as massas de ar resultantes destes centros de ação são: a Polar Atlântica (mPa), a Tropical Atlântica (mTa), Tropical Continental (mTc) e a Equatorial Continental (mEc).

A massa Polar Atlântica predomina no Paraná com maior intensidade nos meses de inverno, quando são registrados os menores valores térmicos e hídricos, é originária da região do anticiclone migratório polar, sendo que esta área geradora de massas de ar frio segue por dois caminhos, sendo eles o do Pacífico, a oeste da Cordilheira dos Andes e o caminho do Atlântico, a leste da cordilheira andina (MONTEIRO, 1963).

Além da massa Polar Atlântica, o estado do Paraná tem seu clima controlado pelas incursões das massas Tropical Atlântica, originária do anticiclone semi-fixo do Atlântico Sul. Segundo Monteiro (1963), por suas propriedades de origem, é uma massa quente, úmida e com tendência à estabilidade pela

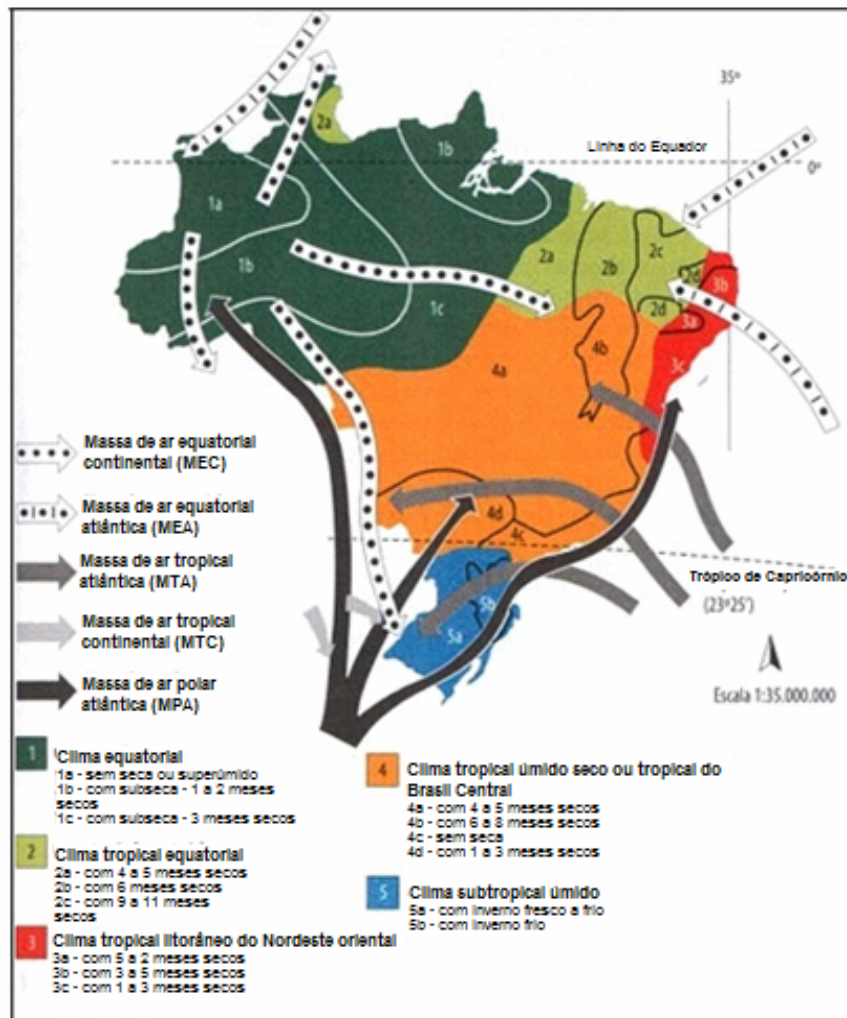
subsidiência superior daquela célula oceânica de altas pressões dinâmicas. Devido ao sistema de emissão contra-horário daquele anticiclone austral, tem grande poder de penetração para o interior do continente.

No estado do Paraná, também atua a massa Tropical Continental, originária da Depressão do Chaco (área entre o Paraguai, norte da Argentina e Pantanal Mato-Grossense), ou resultante do ciclone que precede a Frente Polar Atlântica, conforme o autor citado, com atuação mais restrita ao verão. Constituída de uma circulação ciclônica na superfície, de forte convergência. Entretanto, a baixa umidade relativa do ar associada à forte subsidiência da alta superior, dificulta a formação de nuvens de convecção e trovoadas, sendo responsável, portanto, por tempo quente e seco.

A massa Equatorial continental, caracterizada sobre a baixa da Amazônia, também influencia o Paraná, principalmente a região norte do estado, com característica quente e úmida. Ainda segundo Monteiro, a massa Equatorial continental é uma célula de divergência dos alísios que tende a se manter durante todo ano na zona amazônica e no verão austral, mas atraída pelos sistemas depressionários do interior do continente, tende a avançar do NW ora para SE, ora para ESSE, de acordo com a Frente Polar atlântica.

Conforme Mendonça (1994, p. 102) tais massas de ar contribuem para a variação térmica anual do Brasil Meridional e, por conseguinte, do Paraná. Os sistemas intertropicais (mTa , mEc e mTc) atuam sobre o seu aquecimento, enquanto que o extra-tropical (mPa) no seu resfriamento (figura 7). No transcorrer sazonal os confrontos entre esses sistemas produzem uma grande variação barométrica e que podem desencadear episódios de ventos fortes no estado.

Figura 7 – Atuação das massas de ar no Brasil.



Fonte: Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p. 109)

Nas figuras 8a e b verifica-se que a baixa atmosfera sobre o estado do Paraná é bastante dinâmica com a atuação das frentes frias, de anticiclones extratropicais, da zona de convergência do Atlântico Sul, dos jatos de baixos níveis e complexos convectivos de mesoescala, reforçando a afirmação de que o Paraná se configura em uma zona de confronto entre sistemas atmosféricos de diferentes porções do hemisfério sul, caracterizando-se como uma área de transição climática em que ora predomina a atuação dos sistemas tropicais, ora os polares (MONTEIRO, 1968; MENDONÇA, 1994).

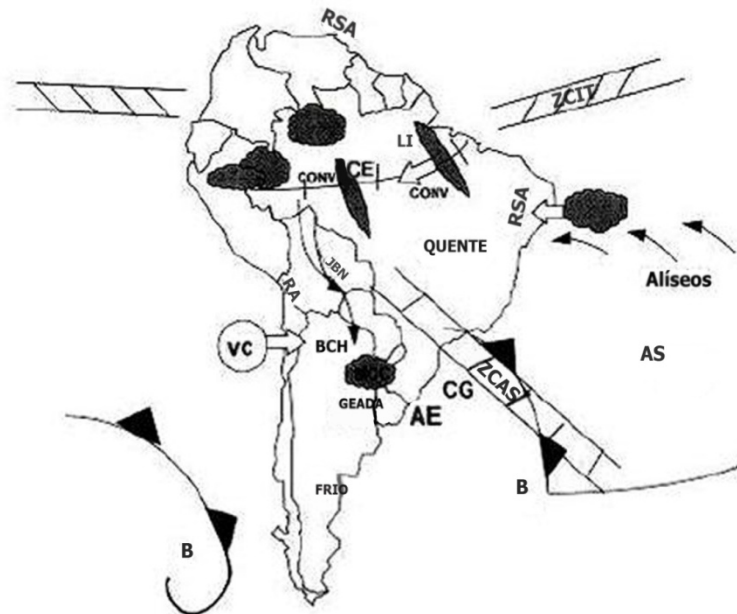
Conforme as figuras 8a e b, em geral, a circulação dos ventos na baixa atmosfera na América do Sul e, conseqüentemente sobre o Paraná, provém da região do Atlântico norte originária do centro de alta pressão subtropical que flui ao longo do oeste dos Andes, na Colômbia e no Peru, onde os ventos são

bloqueados pelo declive e pela alta topografia e retornam gradualmente com direção norte e noroeste a leste das montanhas. Sobre a costa leste, os fluxos penetram o continente com ângulos e velocidades levemente diferentes nas diversas estações e têm um efeito significativo sobre a precipitação costeira. A região deprimida entre os dois anticiclones (do Atlântico e do Pacífico) conecta-se sobre o continente no cinturão latitudinal entre 15° e 40°S, constituindo uma região frontogenética. Nesta região existe uma indicação da presença de um jato de baixos níveis de direção norte (com velocidade dos ventos da ordem de 15ms^{-1}) abaixo de 850 hPa que é responsável pelo transporte de vapor d'água e calor da Amazônia para a região do Paraguai e norte da Argentina (SATYAMURTY *et al.*, 1998, p. 128 *apud* ELY; PEREIRA, 2011).

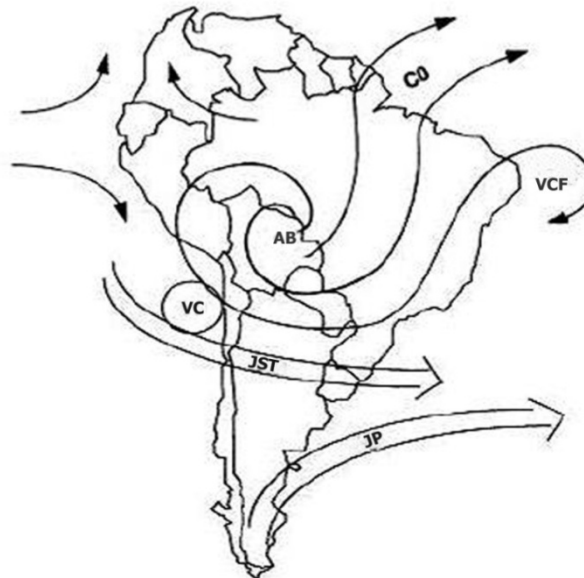
As regiões do Paraguai, norte da Argentina, Uruguai e o sul do Brasil experimentam os efeitos do rápido desenvolvimento dos complexos convectivos de mesoescala. Tais complexos se formam, comumente, nas primeiras horas do dia, antes do nascer do Sol e têm um ciclo de vida curto, menos que um dia. Eles são possivelmente alavancados pela brisa das montanhas associada a uma atmosfera instável. Nas proximidades da interseção do jato de baixos níveis de norte e o jato subtropical, de níveis superiores, a lâmina de instabilidade é máxima, propiciando o desencadeamento da atividade convectiva. O jato de baixos níveis fornece o transporte de umidade necessário para a formação de nuvens e precipitação em tais complexos, que se movem a leste de sua região de origem em direção ao norte da Argentina e Paraguai, afetando com chuvas intensas o sudoeste do Brasil e o Uruguai (SATYAMURTY *et al.*, 1998, p. 128 *apud* ELY; PEREIRA, 2011).

Figuras 8a e b – Características da circulação regional na América do Sul.

(a) **Baixa Troposfera**



(b) **Alta troposfera**



LI= Linha de Instabilidade; ZCIT= Zona de convergência Intertropical; BCH= Baixa do Chaco; JBN=Jato de Baixos Níveis; AS= Alta subtropical; CE= Cavado Equatorial; RA= Região árida; RSA = Região semi-árida; CONV= Atividade Convectiva; CG= Ciclogênese; EA= Anticiclone Extratropical; B= Centro de baixa pressão; VC= Vórtice ciclônico; AB= Alta da Bolívia; VCF= Vórtice Ciclônico frio; CO= Cirrus Outflow; JST= Jato Subtropical; JP= Jato Polar.

Fonte: Ely e Pereira (2011, p. 593)

Ainda com relação aos controles climáticos que atuam sobre o sul do Brasil e Paraná, Grimm (2009, p. 263) destaca que a principal influência sobre os ventos de superfície é o sistema de alta pressão do Atlântico sul. Esse sistema atua sobre o sul do Brasil em todas as estações do ano e produz vento de leste/nordeste em superfície e de fraca intensidade.

Outro sistema de pressão importante para o Sul do Brasil é um centro de baixa pressão intermitente no noroeste da Argentina, Paraguai e sul da Bolívia, originado da interação entre os Andes, ventos de oeste em altos níveis e aquecimento da superfície. Essa baixa pressão aprofunda-se antes da passagem das frentes frias e diminui um ou dois dias depois. É um sistema quente, menos intenso no inverno, que afeta apenas a baixa troposfera (até 700 hPa) e com frequência é acompanhado por subsidência, e, conseqüentemente, por ausência de nebulosidade. Esse centro de baixa pressão estende-se e aprofunda-se no verão (Baixa do Chaco), fortalece o gradiente zonal subtropical de pressão e, com isso, o componente meridional do vento, ajudando a fortalecer os ventos de noroeste em baixos níveis que conectam os trópicos a região Sul (GRIMM, 2009, p. 264-265).

Grimm (2009, p. 266) destaca que em nenhuma época do ano é observado vento médio de sul em baixos níveis sobre a região sul do Brasil, sendo que o componente norte é mais significativo e mais forte no inverno e na primavera, enfatizando que nos ventos de norte e noroeste, com frequência, se desenvolve uma corrente de jato de baixos níveis que pode aumentar a ocorrência de chuvas e ventos na região sul.

Os ventos médios na alta (e média) troposfera sobre a região Sul são predominantemente de oeste, especialmente no inverno. [...] No inverno, ventos de oeste estendem-se para o norte, atingindo o sudeste/centro do Brasil, enquanto no verão restringem-se ao extremo sul, pois se estabelece sobre grande parte do continente uma circulação anticiclônica em torno da alta da Bolívia. [...] Nas estações de transição, o jato subtropical de altos níveis está centrado sobre o sul do Brasil/nordeste da Argentina, o que influencia os máximos de precipitação na região e a ocorrência de complexos convectivos de mesoescala (GRIMM, 2009, p. 267).

Os vendavais podem se originar dos sistemas de grande escala como os frontais e as linhas de instabilidade, produzindo ventos fortes sobre regiões com escalas maiores que 50 km, onde as características de relevo e vegetação local acentuam a intensidade dos ventos.

A atuação de sistemas meteorológicos como linhas de instabilidade, frentes, ciclones e anticiclones é diretamente responsável pelas variações do tempo meteorológico.

Uma linha de instabilidade (LI) tropical é a porção dianteira de um distúrbio propagante em mesoescala associada, em geral, a alguns sistemas de baixa pressão em escala sinótica. Sua extensão pode ser de várias centenas de quilômetros, nos quais verifica-se basicamente nuvens *cumulonimbus* e, em sua retaguarda, uma nuvem do tipo bigorna que, em geral, possui considerada precipitação (GONÇALVES, 2007).

Essas formações atuam principalmente no verão, sendo que no continente sul-americano, ocorrem no interior da massa equatorial continental, com o forte aquecimento diurno desempenhando papel de destaque em sua formação. Assim, frequentemente, na estação do verão, o dia amanhece calmo e o céu azul e, à medida que a intensa radiação solar incide sobre a região tropical, inicia-se o processo de desenvolvimento de nuvens *cumulus*, atingindo expressivo número à tarde, quando a convecção é máxima. Frequentemente, formações de *cumulonimbus*, isoladas ou alinhadas, desenvolvem-se rapidamente, provocando pancadas fortes e localizadas, associando-se a rajadas, granizo, descargas elétricas ou trovoadas. O deslocamento geral dessas linhas de instabilidade tropical no Brasil é de oeste para leste, em geral à frente de uma onda frontal. Tais linhas perturbadas desempenham importante papel no regime pluvial das regiões norte, centro-oeste e sudeste do Brasil (VIANELLO; ALVES, 1991).

O sistema frontal é produzido no encontro de massas com características distintas de temperatura e umidade, sendo este sistema composto por uma frente fria, uma frente quente e um centro de baixa pressão em superfície, denominado ciclone. Há entre as massas uma camada de transição, normalmente com vários quilômetros de espessura, onde se verifica mistura de ar das massas presentes. Essa camada é conhecida como superfície frontal e nessa região ocorrem deslocamentos de ar (ventos), mudanças na pressão atmosférica de superfície e, frequentemente, nuvens e precipitação (VAREJÃO, 2000).

Os ciclones extratropicais atuantes no Oceano Atlântico Sul, próximo à costa do Paraná surgem em latitudes extremas no Oceano Pacífico Sul e atravessam a Cordilheira dos Andes ao sul de 40°S associados a sistemas frontais (por esta razão são classificados como sistemas de escala sinótica). Estes sistemas

podem ser intensificados no litoral do Uruguai e da Argentina, gerando ventos da ordem de 15ms^{-1} que, eventualmente, podem atingir a costa paranaense (TABAJARA *et al.*, 2004; GONÇALVES, 2007).

Por último, as tempestades severas podem ser definidas como tempestades capazes de gerar rajadas de vento com valores muito elevados, além de granizos de grandes dimensões. As tempestades são fenômenos meteorológicos altamente localizados, pois sua abrangência espacial é, geralmente, de um diâmetro menor que 25km. São desenvolvidas onde as massas de ar úmidas, quentes e instáveis predominam em camadas verticais consideráveis de, aproximadamente, 8.000 metros. A maioria dessas tempestades são de origem convectiva e resultantes de intenso aquecimento solar, porém algumas são causadas por brisas marítimas e terrestres (AYOADE, 2004, p. 121-122).

3.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA, OS COMPARTIMENTOS DO RELEVO E A CIRCULAÇÃO DOS VENTOS NO PARANÁ

Como citado anteriormente, o estado do Paraná é cortado, ao norte, pelo Trópico de Capricórnio e situa-se na transição entre as zonas climáticas tropicais e subtropicais, caracterizando-se como um território que apresenta paisagens bastante diversificadas, tanto em termos climáticos quanto geomorfológicos, pedológicos e de cobertura vegetal.

A temperatura média no Paraná varia de acordo com as latitudes e, principalmente, com as altitudes, pois no noroeste do estado onde predominam altitudes entre 100 e 500m a temperatura média anual é de 24°C , enquanto que no centro e no sul, onde as altitudes ultrapassam os 1.000m, as temperaturas médias anuais são de 19°C e 15°C , respectivamente (IAPAR, 2000).

O período de maior aquecimento do estado vai de dezembro a janeiro e fevereiro, coincidindo com o solstício de verão; enquanto o mais frio vai de junho a agosto, devido ao solstício de inverno. Segundo Prates *et al.* (2001), o mês de agosto é o mês de maior variabilidade de temperatura, podendo apresentar períodos frios e quentes em um mesmo dia, como também dias muito frios e dias muito quentes no mesmo mês. E dezembro é o mês em que a temperatura atinge o maior valor do ano, chegando a 34°C , enquanto julho é o mês mais frio do ano.

Correlacionada a tais padrões térmicos, a evapotranspiração média anual é de 1.200 a 1.600mm no norte e noroeste do estado, atingindo valores médios de 700 a 800mm no litoral. Vale ressaltar que a ocorrência de ventos fortes influencia negativamente na evapotranspiração, pois favorece um alto índice de transpiração e conseqüente ressecamento das plantas.

Em relação à média pluviométrica anual, o norte e noroeste paranaense apresentam precipitações médias de 1.200 a 1.400mm, enquanto que o litoral e o sudoeste do estado apresentam médias anuais entre 2.000 a 3.500mm (IAPAR, 2000).

O estado apresenta as estações seca e chuvosa de forma bem definidas, principalmente nas regiões Norte e Nordeste. O período da estação chuvosa no Paraná inicia em agosto; no litoral e até o último decêndio de outubro atinge todas as áreas do estado. Já a data climatológica para o fim da estação chuvosa ocorre entre março e o último decêndio de maio (Pereira *et al.* 2008).

Conforme Boin (2000, p. 53–55), a disposição da hidrografia no estado contribui para a distribuição pluviométrica. Verifica-se um aumento da pluviosidade média de norte para o sul, com valores que vão de 1.400 a 1.700mm justamente sobre a Serra Geral, onde as cotas altimétricas variam de 800 até 1.800m.

A hidrografia do estado é composta por 16 bacias hidrográficas principais, sendo que a maior delas é a bacia do Paraná, tendo como seus principais afluentes os rios: Iguaçu, Paranapanema, Tibagi, Ivaí e Piquiri.

Os rios do maior complexo hidrográfico, com 186.321 km², correm para o interior do continente e pertencem à região de captação do grande sistema do rio Paraná. Já o complexo hidrográfico menor, com 14.674 km², deságua diretamente no oceano Atlântico através do vale do rio Ribeira, sendo conhecido por bacia hidrográfica Atlântica ou do Leste (MAACK, 2002, p. 294–295).

Segundo Boin (2000, p. 53-55), os vales dos rios Tibagi e Paranapanema contribuem para o deslocamento das frentes frias e da massa Polar em direção às latitudes menores, situação que ocorre principalmente no verão, quando os anticiclones polares, de pressão mais baixa do que no inverno, circulam com umidade em altitudes mais elevadas. No inverno, quando há um maior número de anticiclones polares, com pressões mais elevadas, a umidade associada ao

deslocamento das frentes frias circula em menor altitude e precipita em baixas cotas altimétricas.

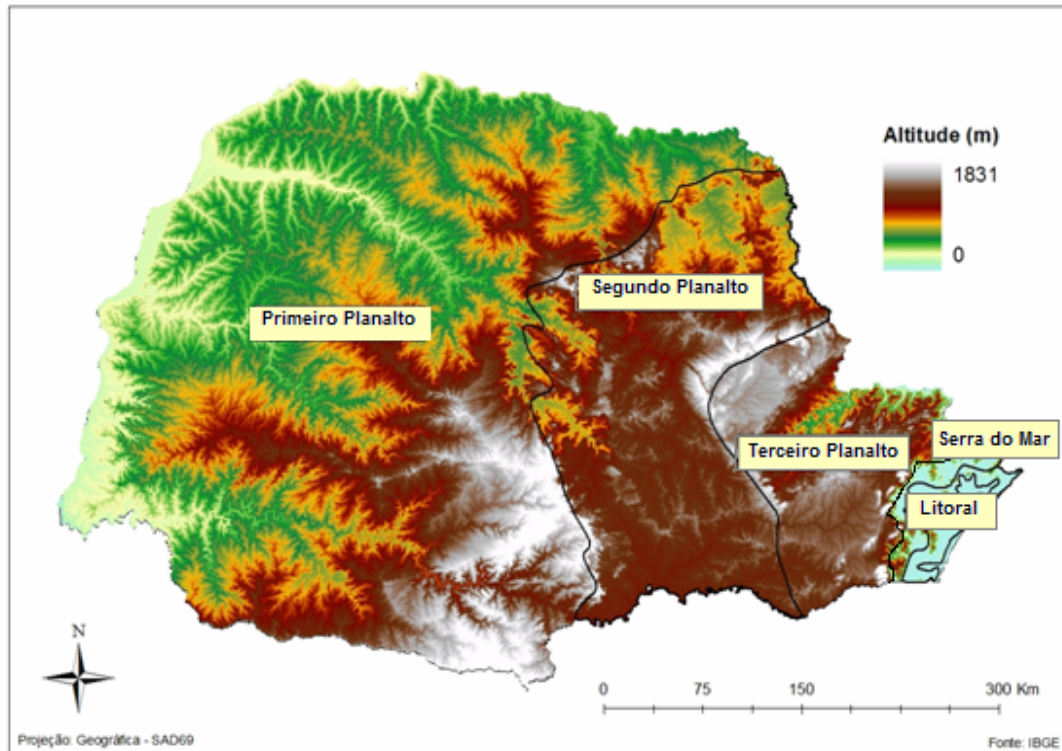
Além dos sistemas atmosféricos que produzem a dinâmica atmosférica sobre o Paraná, os ventos também são fortemente influenciados pelas características regionais e locais da topografia e consequente atrito com a superfície.

Grimm (2009) aborda essa relação dos ventos com a topografia da região sul do Brasil, afirmando que em níveis mais altos o vento tende a soprar paralelamente às isóbaras e seu componente predominante é de norte, já em níveis baixos pode variar muito, de acordo com o relevo e com os sistemas meteorológicos que atravessam a região, tendendo a uma direção predominante de leste/nordeste.

Também é possível afirmar a existência de uma forte correlação entre a cobertura vegetal e a caracterização climática de um determinado local, principalmente no que tange à velocidade dos ventos, pois os processos históricos de desmatamento promoveram a retirada das barreiras naturais formadas pelo conjunto de árvores e o ar se movimenta quase que livremente, atingindo maiores velocidades e restando somente ao relevo e à cidade a ação freadora (MENDONÇA, 1994).

Com relação ao relevo, Maack (2002) classificou o estado do Paraná em cinco regiões, do leste para o oeste (figura 9), sendo que a maior parte do estado, em termos geomorfológicos, é constituída por três planaltos que se inclinam suavemente para W, NW e SW.

Figura 9 - Relevo do Estado do Paraná



. **Fonte:** Pereira, L. M. P. (2012).

- Litoral: Abrange tanto as porções de abaixamento do complexo cristalino, com as enseadas de ingressão, como as recentes regiões de entulhamento marinho e terrestre. A planície litorânea é constituída de formação arenosa de restinga, paludais terrestres, manguezais e de terrenos de aluvião terrestres nas proximidades do complexo cristalino. Sua altitude geralmente varia entre 0 e 10 metros sobre o mar. É bordada a leste pelo oceano e ao oeste pela serra do Mar (BIGARELLA, 1947).

O litoral do estado do Paraná possui uma pequena extensão, quando comparado às outras áreas litorâneas brasileiras, representando cerca de 100 km deste total, numa área de aproximadamente 6.600 km².

De acordo com Vanhoni e Mendonça (2008, p. 61-63), a atmosfera do litoral do Paraná é controlada, na maior parte do ano, pelo Anticiclone do Atlântico Sul, sendo que as massas polares são mais atuantes no inverno e a tropical atlântica no verão. A configuração geral do relevo é o fator estático mais importante na caracterização climática da região costeira paranaense, pois contribui para a existência da grande variedade de climas e de paisagens, devido às diferenças de altitudes e da disposição de suas formas.

As características climáticas da área revelam a atuação de sistemas atmosféricos tropicais, como a MTa e MTc, MPa e FPA – Frente Polar Atlântica.

- A Serra do Mar: compreende um complicado tectonismo de falhas e zonas de maiores elevações das rochas cristalinas, formando uma serra marginal que se eleva de 500m a 1000m sobre o nível médio do planalto, sendo que a zona de maiores elevações está localizada no Pico Paraná com 1965m e o Pico Caratuba com 1939m (MAACK, 2002).

A Serra do Mar constitui o limite entre o primeiro planalto e a planície litorânea e funciona como barreira para o avanço de massas de ar, influenciando na distribuição da umidade, na manutenção da temperatura assim como na intensidade do vento.

Os movimentos sazonais do centro de alta pressão no Atlântico Sul determinam a maior ou menor penetração de vento em baixos níveis na costa e, conseqüentemente, maior ou menor precipitação orográfica na Serra do Mar. No semestre quente, essa penetração cresce na região Sul, enquanto no semestre frio, cresce mais na região Nordeste do Brasil, sendo insignificante no Sul (GRIMM, 2009, p. 264).

- O Primeiro Planalto, ou Planalto de Curitiba: estende-se entre a escarpa devoniana e a serra do Mar. Sua estrutura compreende rochas cristalinas como o gnaisse, granito, quartzito, filito, calcário, entre outras. Caracteriza-se como zona de eversão do complexo cristalino mediante desnudação e erosão dos rios em planos laterais. Em consequência deste fato tem-se uma peneplanície recente de meia laranja, suavemente ondulada, rebaixada do seu nível antigo. O rio Ribeira e seus afluentes, em erosão regressiva, retalham essa região que constitui a parte do primeiro planalto, transformando-a numa região montanhosa (BIGARELLA, 1947).

A porção meridional é drenada pelo rio Iguaçu e afluentes, enquanto a porção setentrional pelos afluentes do Ribeira e a NW por afluentes do Paranapanema. A parte meridional abrange a área de Curitiba, caracterizada por uma topografia ondulada de colinas suavemente arredondadas, cuja altitude situa-se entre 850 a 950m. A parte setentrional caracteriza-se por um relevo mais enérgico originado pela dissecação provocada pelo rio Ribeira e seus afluentes. Nele ocorrem numerosos cabeços de estratos, espigões e vales profundos seguindo as estruturas geológicas (BIGARELLA, 1947).

De acordo com Beneti *et al.* (2007), no vale do Ribeira do Iguapé a direção nordeste, predominante do vento nesta região, contribui para a constante advecção de umidade para a área, com o ar quente e úmido vindo da costa e penetrando através do vale do rio durante o ano inteiro.

- Segundo Planalto, ou Planalto de Ponta Grossa: a limitação entre o primeiro e segundo planalto é feita por uma linha de escarpa ou *cuesta*, conhecida por escarpa devoniana. De acordo com Bigarella (1947), a formação dessa escarpa, com borda de erosão de uma plataforma estrutural em forma de meseta, é consequente à posição, aproximadamente horizontal, de bancos de arenitos, conhecidos como arenito de furnas. Este planalto é limitado a oeste pela escarpa triássica, conhecida como serra da Esperança e a leste pela escarpa devoniana. As camadas sedimentares constituintes desse planalto se distinguem pela heterogeneidade de composição química intensa de todas as rochas, relacionadas com os fatores climáticos, assim como uma energia hidrodinâmica para a modelação das formas superficiais.

As altitudes da escarpa devoniana oscilam entre 1090 e 1200m e as da escarpa triássica variam de 750 até 775m, com cortes de vales na entrada da escarpa com 445m de altitude no rio Ivaí, 490m no rio Tibagi e 735m no rio Iguapé. Todas as camadas desde o devoniano até o jurássico denotam uma suave inclinação para oeste, à bacia do Paraná e para norte em direção ao rio Paranapanema (MAACK, 2002), influenciando diretamente no comportamento da direção dos ventos dentro do estado.

Foram produzidos estudos (LEITE; VIRGENS FILHO, 2007; VIRGENS FILHO; LEITE, 2007; BERUSKI *et al.*, 2009) que exploram essa região do Paraná em relação ao regime dos ventos, destacando Ponta Grossa e Lapa, ambas localizadas nos Campos Gerais, como municípios estratégicos para implantação de energia eólica, devido principalmente às particularidades locais do relevo que favorecem uma intensa circulação dos ventos, como por exemplo a altitude, além dos sistemas atmosféricos atuantes na região.

O clima da região dos Campos Gerais sofre influência de diversos fatores, tais como: a infiltração das massas de ar frio, especialmente durante os meses do inverno; ação dos ventos marítimos úmidos influenciados pelo Anticiclone do Atlântico Sul, que ocasionam chuvas orográficas na Serra do Mar e, até mesmo, no interior do estado e variações na posição do Equador Térmico e do Anticiclone do

Atlântico Sul que, no verão, posicionam-se mais ao sul (VIRGENS FILHO; LEITE, 2007).

- O Terceiro Planalto, ou Planalto de Guarapuava: corresponde a uma grande área agrícola do Estado, apresentando relevo levemente ondulado a aplainado. De acordo com Bigarella (1947), este planalto desenvolve-se a oeste da escarpa triássica da serra da Esperança. Formado, principalmente, por camadas de efusivas básicas, *trapp* do Paraná, suavemente inclinada para o vale do rio Paraná, apresentando-se como região levemente ondulada, com chapadas de encostas suaves. As camadas de *trapp* deram lugar a plataformas estruturais que regulam a progressão de erosão. A gênese da Escarpa (serra da Esperança) é explicada pelas relações entre os fenômenos erosivos e a estrutura da série São Bento.

Os vales dos rios Ivaí, Piquiri, Iguaçu e Tibagi dividem o terceiro planalto em quatro blocos principais (MAACK, 2002):

- 1 - O bloco norte do planalto de Apucarana, que inclina de 1100m de altitude na escarpa (Serra da Bufadeira), numa extensão de 150 km, até 290m no rio Paranapanema e numa extensão de 240 km para oeste até 235m de altitude no rio Paraná;
- 2 - O bloco médio do planalto do Campo Mourão (650 m) que tem na testa da escarpa, na Serra da Boa Esperança, num percurso de 265 km, um declive de 1100 m de altitude para 225m no rio Paraná;
- 3 - O bloco sul do planalto de Guarapuava com 1220m, na testa da escarpa e atinge 550m nas serras Boi Preto e São Francisco, onde cai abruptamente numa *cuesta* à 350m, mostrando, na borda do *cañon* do rio Paraná, 197m; enquanto que o rio corre no *cañon* 94m mais baixo, tendo a água, no nível baixo, uma profundidade de 40-50m.
- 4 - A parte nordeste do terceiro planalto de Araíporanga (ex-São Jerônimo) que se estende entre os rios Tibagi e Itararé é relativamente baixa e desdobrada pelos rios das Cinzas, Laranjinhas e Congonhas numa série de mesetas e platôs pequenos. A parte do platô mais elevada tem um declive desde a Serra da Boa Esperança, ao sul de Araíporanga, de 1150m até 300m para o rio Paranapanema. A leste do rio Congonhas, como

também entre os rios Laranjinhas e das Cinzas, algumas mesetas isoladas avançam para o sul com cotas de cerca de 800m; geralmente, porém, as latitudes desta paisagem de platôs estruturais oscilam entre 300 e 650m.

Numa série de trabalhos desenvolvidos anteriormente (KIM *et al.* 2002; PRATES *et al.* 2006; LIMA JÚNIOR, 2009; FINOTTI, 2010), as regiões sudoeste, oeste, centro-oeste e noroeste do estado do Paraná, que compreendem áreas do terceiro planalto, foram identificadas como as mais afetadas por vendavais. Os autores citados associaram a ocorrência de vendavais à atuação de nuvens convectivas de grande desenvolvimento vertical, forçadas por sistemas de escala sinótica como frentes frias ou de mesoescala, como os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) e linhas de instabilidade.

Diante disso, estas regiões do Paraná se tornam mais suscetíveis a tais eventos, sendo a porta de entrada destes sistemas que, ao ingressarem no estado, afetam principalmente os municípios localizados no oeste/centro-oeste e, devido às características locais, associado à dinâmica de grande escala, os ventos podem ser mais ou menos intensificados.

Kim *et al.* (2002), em um estudo realizado sobre a frequência de vendavais no Paraná, utilizando algumas estações meteorológicas, observou que há uma tendência de formação de um corredor de ventos fortes que atravessa o estado do Paraná numa diagonal de sudoeste a nordeste e ao lado deste corredor estão localizadas outras estações meteorológicas que revelam um segundo plano de velocidades do vento.

Além das regiões mencionadas anteriormente, o norte do Paraná, também localizado no terceiro planalto, compreende uma zona de transição climática entre os sistemas tropicais e extratropicais. Na altura de sua posição latitudinal e, também, por influência do relevo do continente, o ar polar que se desloca genericamente em direção norte/nordeste disputa intensamente com o ar tropical/equatorial, de deslocamento sul/sudoeste, o domínio da atmosfera da região (MENDONÇA, 1994), fazendo com que a ocorrência de ventos fortes e tempestades seja uma de suas características climáticas

Além disso, os municípios localizados na região norte do Paraná desenvolvem um agricultura intensiva e vêm registrando, nos últimos anos, um

acelerado crescimento urbano que contribui para a redução da mata nativa, tornando essas áreas cada vez mais suscetíveis aos fortes vendavais.

Diante do exposto, com uma geografia tão diversificada, pode-se esperar que a ocorrência de ventos intensos não apresenta uma distribuição uniforme em todo o Paraná, especialmente devido às grandes variações mostradas por sua orografia.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 VELOCIDADE MÉDIA DOS VENTOS

Os valores médios mensais e anuais da velocidade média dos ventos para as 16 localidades estudadas estão dispostos na tabela 3 e nas figuras de número 10 a 25.

Os locais que apresentaram as maiores velocidades médias diárias anuais dos ventos foram Cascavel, Clevelândia e Ponta Grossa, apresentando valores de $3,6\text{ms}^{-1}$, $3,7\text{ms}^{-1}$ e $3,5\text{ms}^{-1}$, respectivamente¹.

Os valores abaixo de 2ms^{-1} foram registrados em Morretes e Telêmaco Borba. As médias da velocidade dos ventos oscilaram entre 2ms^{-1} e 3ms^{-1} para as demais localidades.

Os regimes de vento são fortemente influenciados pelas características locais de topografia e rugosidade do terreno e que, em conjunto com as atuações dos diversos sistemas atmosféricos, fazem com que ao longo do ano haja diferenças na quantidade, direção e intensidade do vento para cada localidade do estado do Paraná.

Tabela 3 - Velocidade média mensal e anual do vento em ms^{-1} , para as 16 estações estudadas.

Local		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
BANDEIRANTES	LI	1,8	1,7	1,6	1,9	1,6	1,5	1,7	2,0	2,4	2,5	2,6	1,9	
	M	2,5	2,4	2,6	2,6	2,4	2,2	2,6	2,9	3,6	3,6	3,5	3,0	2,8
	LS	3,1	3,1	3,6	3,3	3,1	3,0	3,5	3,7	4,7	4,8	4,4	4,0	
CAMBARÁ	LI	1,6	1,4	1,6	1,8	1,5	1,4	1,6	1,8	2,4	2,5	2,7	2,0	
	M	2,3	2,1	2,2	2,3	2,1	2,0	2,3	2,5	3,3	3,4	3,4	2,8	2,6
	LS	3,0	2,7	2,9	2,9	2,6	2,6	3,0	3,2	4,1	4,3	4,2	3,5	
IBIPORÃ	LI	1,6	1,6	1,7	1,8	1,8	1,5	1,7	1,9	2,2	2,2	2,2	2,0	
	M	2,4	2,3	2,4	2,5	2,3	2,2	2,5	2,6	2,9	2,9	2,9	2,6	2,5
	LS	3,2	3,0	3,0	3,2	2,8	2,8	3,2	3,3	3,7	3,6	3,6	3,2	
LONDRINA	LI	1,8	1,7	1,7	1,8	1,6	1,6	1,8	1,9	2,2	2,3	2,3	2,1	
	M	2,4	2,2	2,2	2,3	2,1	2,0	2,3	2,4	2,8	2,8	2,8	2,6	2,4
	LS	3,0	2,8	2,8	2,7	2,6	2,4	2,9	2,9	3,3	3,3	3,3	3,0	
CASCAVEL	LI	2,4	2,4	2,2	2,5	2,3	2,2	2,8	2,9	1,9	2,7	2,8	2,3	
	M	3,1	3,1	3,1	3,4	3,5	3,8	4,0	3,9	3,9	3,9	3,8	3,4	3,6
	LS	3,8	3,8	3,9	4,4	4,7	5,3	5,3	5,0	5,9	5,1	4,8	4,4	
CIANORTE	LI	1,7	1,6	1,7	1,6	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2	2,0	2,0	1,8	

¹ 1m/s é igual a 3,6km/h.

	M	2,1	2,1	2,0	2,1	2,0	2,1	2,4	2,4	2,6	2,5	2,4	2,2	2,3
	LS	2,6	2,5	2,4	2,6	2,4	2,4	2,9	2,9	3,0	3,0	2,9	2,7	
<u>PALOTINA</u>	LI	1,4	1,4	1,4	1,3	1,2	1,4	1,6	1,7	1,9	1,9	1,8	1,5	
	M	1,8	1,7	1,8	1,9	1,8	1,8	2,0	2,1	2,5	2,4	2,3	1,9	2,0
	LS	2,2	2,1	2,2	2,4	2,4	2,2	2,4	2,5	3,0	2,9	2,8	2,4	
<u>PARANAVAÍ</u>	LI	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,6	1,7	1,9	1,9	1,8	1,8	1,6	
	M	2,2	2,1	2,0	2,1	2,1	2,3	2,6	2,7	2,8	2,6	2,5	2,3	2,4
	LS	3,1	2,9	2,8	2,9	3,0	3,0	3,6	3,5	3,7	3,3	3,2	3,0	
<u>CLEVELÂNDIA</u>	LI	3,1	2,9	2,9	3,0	2,8	3,1	3,4	3,4	3,5	2,2	2,3	2,1	
	M	3,5	3,4	3,3	3,5	3,5	3,7	4,2	4,0	4,2	3,8	3,8	3,5	3,7
	LS	3,9	3,8	3,6	4,0	4,2	4,4	5,0	4,6	4,9	5,5	5,3	5,0	
<u>GUARAPUAVA</u>	LI	1,9	1,8	1,9	2,1	1,9	2,1	2,4	2,5	2,7	2,5	2,6	2,2	
	M	2,9	2,6	2,7	2,8	2,6	2,6	3,0	3,0	3,4	3,3	3,2	2,9	2,9
	LS	3,8	3,4	3,5	3,4	3,2	3,1	3,6	3,6	4,2	4,0	3,8	3,6	
<u>LARANJEIRAS DO SUL</u>	LI	1,5	1,4	1,4	1,5	1,5	1,8	2,1	2,0	2,0	1,8	1,8	1,7	
	M	2,2	2,1	2,0	2,0	2,1	2,3	2,6	2,5	2,7	2,4	2,4	2,2	2,3
	LS	2,9	2,7	2,6	2,5	2,6	2,8	3,2	3,1	3,4	3,1	3,0	2,8	
<u>MORRETES</u>	LI	1,1	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,8	0,9	1,1	1,1	1,1	1,2	
	M	1,5	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,5	1,3
	LS	1,8	1,7	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,8	1,9	2,0	1,8	
<u>PONTA GROSSA</u>	LI	2,7	2,3	2,4	2,6	2,3	2,6	2,8	2,9	3,3	3,2	3,2	2,9	
	M	3,3	3,0	2,9	3,2	3,1	3,2	3,6	3,7	4,0	3,9	3,9	3,6	3,5
	LS	4,0	3,6	3,5	3,7	3,8	3,9	4,5	4,5	4,6	4,6	4,6	4,4	
<u>TELÊMACO BORBA</u>	LI	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	
	M	1,8	1,7	1,5	1,5	1,4	1,4	1,6	1,6	1,8	1,8	1,9	1,9	1,6
	LS	2,1	2,0	1,8	1,8	1,7	1,8	1,9	1,9	2,2	2,0	2,2	2,2	
<u>PINHAIS</u>	LI	1,8	1,7	1,7	1,8	1,4	1,7	1,9	1,8	2,1	2,1	2,1	2,0	
	M	2,4	2,2	2,1	2,1	1,9	2,1	2,3	2,2	2,6	2,6	2,6	2,5	2,3
	LS	3,1	2,8	2,6	2,5	2,5	2,5	2,8	2,7	3,0	3,0	3,1	3,0	
<u>LAPA</u>	LI	2,2	2,1	2,1	2,1	1,8	1,9	2,2	2,3	2,7	2,6	2,7	2,4	
	M	2,7	2,5	2,4	2,5	2,3	2,5	2,7	2,7	3,1	3,0	3,1	3,0	2,7
	LS	3,2	3,0	2,8	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1	3,4	3,4	3,5	3,6	

LI = limite inferior; LS = limite superior; M = média.

As análises das figuras 10 a 25 revelam pequena variabilidade das velocidades médias mensais dos ventos em relação às anuais. Observam-se maiores velocidades médias durante o inverno e primavera, sendo que o mês de setembro apresentou os maiores valores para quase todas as estações analisadas, exceto para Morretes, confirmando os dados identificados por Prates, Zaicovski e Guetter (2002) em um estudo para o Paraná em que foram encontrados valores mais expressivos para o mesmo período (setembro).

Nos meses de verão, a pressão atmosférica diminui do litoral em direção ao continente. Como o interior também se aquece mais durante o dia, dá-se um abaixamento da pressão atmosférica. Além disso, a existência de uma região de

pressão baixa das massas de ar equatorial e continental quentes, à noroeste da depressão do Paraná, formam ciclones condutores de chuva com ventos norte e noroeste sobre o estado. Com o avanço dos meses, a região de baixa pressão vai se deslocando lentamente para o norte e deixando que haja a aproximação das massas subtropicais de pressão alta do Atlântico Sul. Os ventos com alta velocidade e com força considerável, caracterizando as rajadas, ocorrem com mais frequência no estado do Paraná em períodos de transição entre uma estação e outra, como o período entre os meses de abril e maio e entre setembro e outubro. No período do outono as rajadas ocorrem durante o avanço dos Anticiclones do Atlântico Sul e com o recuo das massas de ar tropical de baixa pressão. Já os ventos fortes que ocorrem entre os meses de setembro e outubro são devido ao avanço das massas de ar de baixa pressão (MAACK, 2002).

Figura 10 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a estação de Ibiporã.

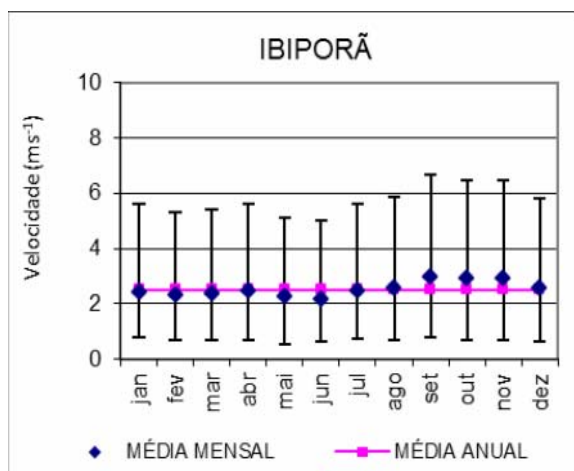


Figura 11 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a estação de Bandeirantes.

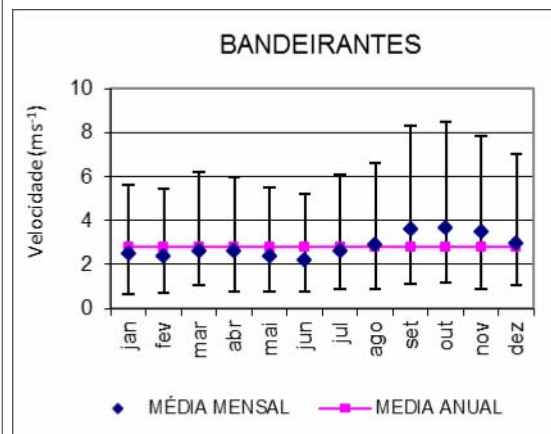


Figura 12 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a estação de Cambará.

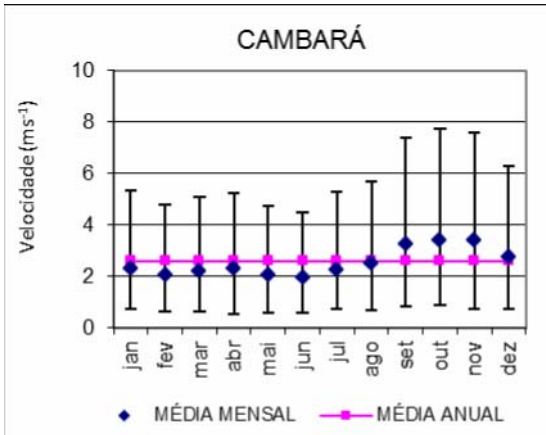


Figura 13 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a estação de Londrina.

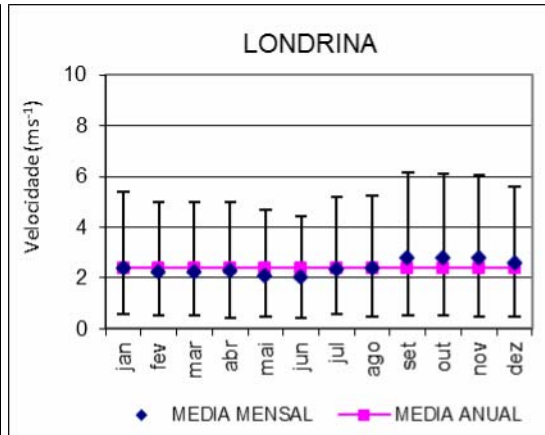


Figura 14 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a estação de Cianorte.

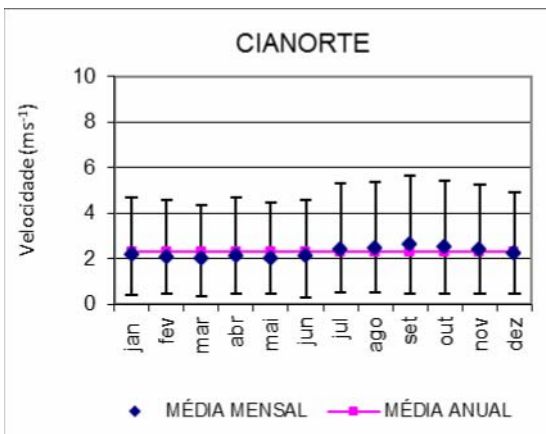


Figura 15 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a estação de Paranaíba.

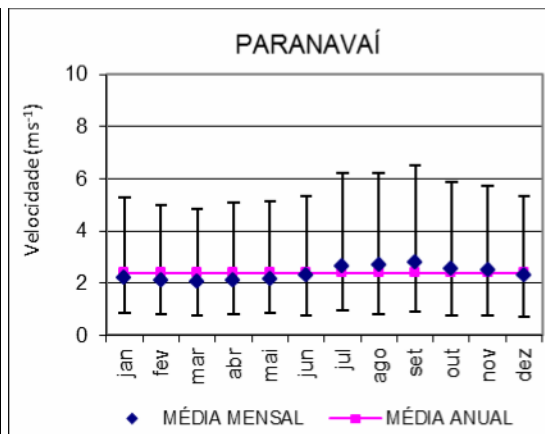


Figura 16 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a estação de Palotina.

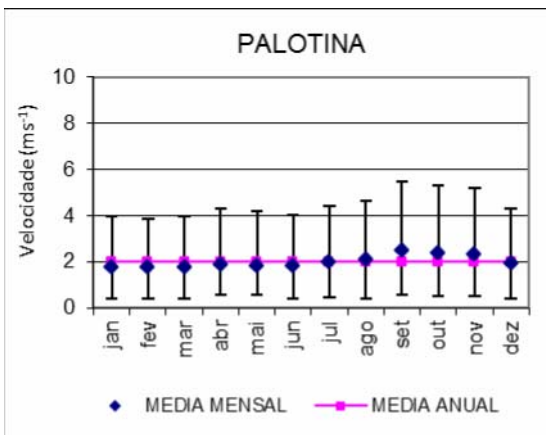


Figura 17 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a estação de Cascavel.

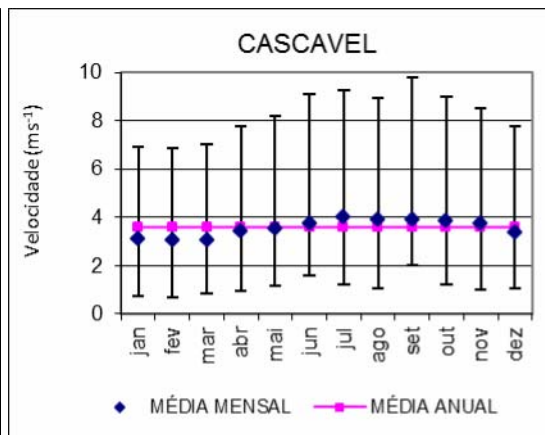


Figura 18 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a estação de Guarapuava.

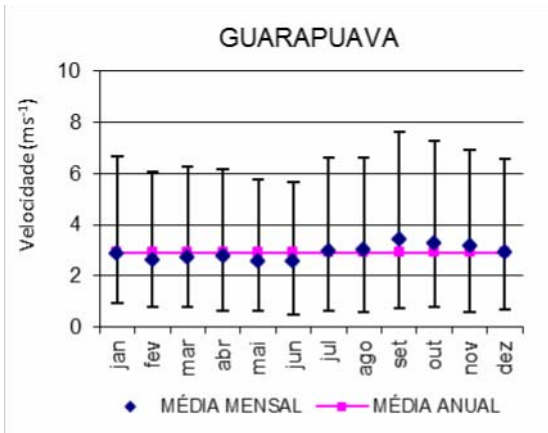


Figura 19 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a estação de Clevelândia.

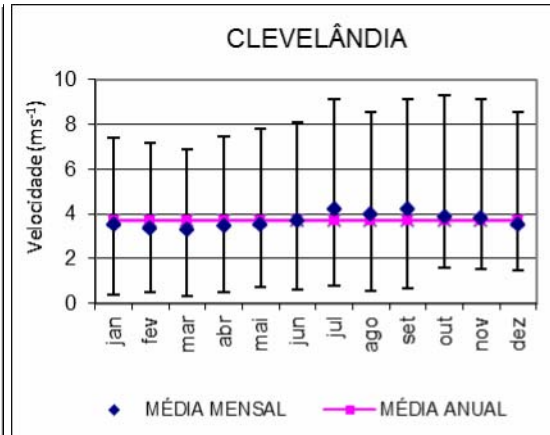


Figura 20 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a estação de Laranjeiras do Sul.

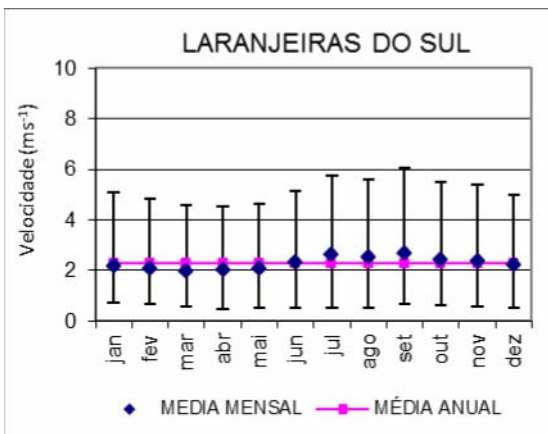


Figura 21 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a estação de Lapa.

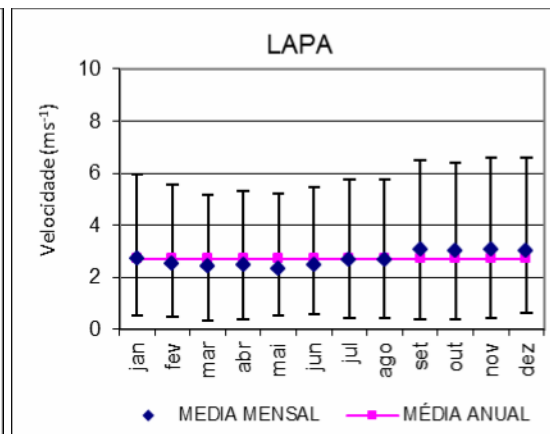


Figura 22 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a estação de Telêmaco Borba.

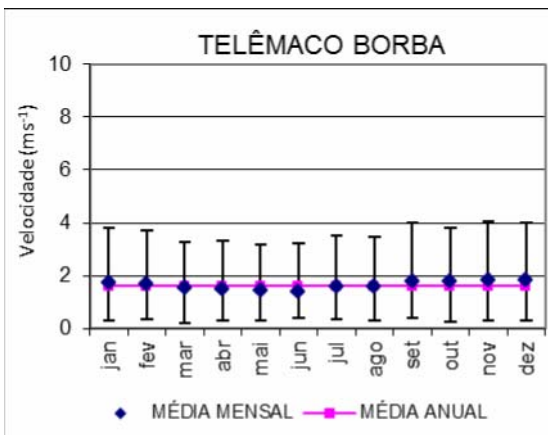


Figura 23 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a estação de Ponta Grossa.

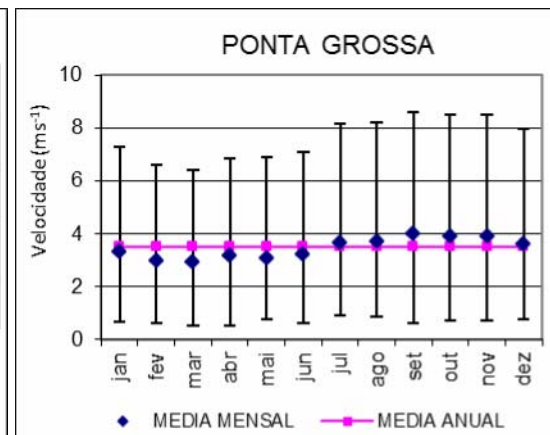


Figura 24 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a estação de Pinhais.

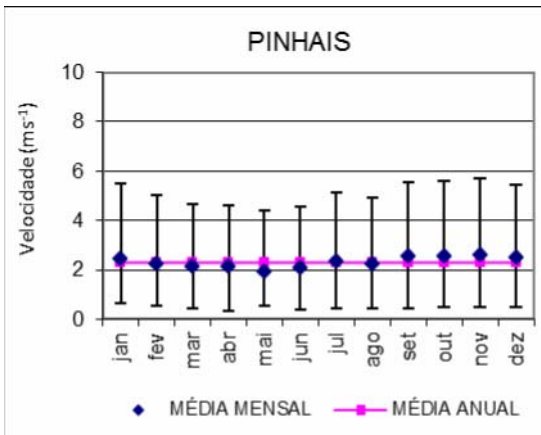
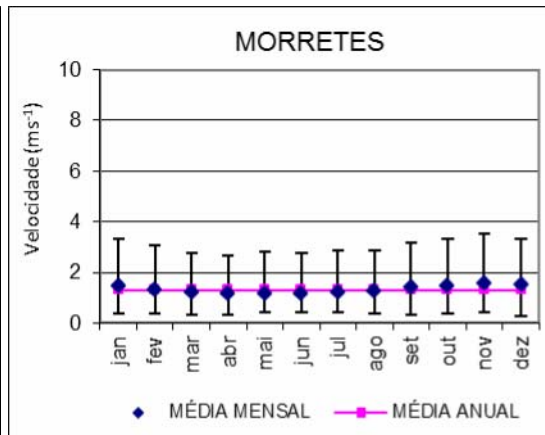


Figura 25 - Velocidade média mensal, anual e intervalo de confiança para a estação de Morretes.



Por meio da distribuição de frequência das velocidades médias diárias do vento (tabela 4) foi possível uma melhor análise e comparação dos dados, mostrando uma ampliação de sua concentração com valores entre as velocidades de $1,5$ e $4,5\text{ms}^{-1}$. Como demonstrado anteriormente, as cidades de Cascavel, Ponta Grossa e Clevelândia apresentaram velocidades médias diárias elevadas (9ms^{-1} , $9,5\text{ms}^{-1}$ e 10ms^{-1}). Localizados em regiões de relevo acidentado, onde há a “canalização” dos ventos incidentes nos vales e altitudes elevadas (760m, 880m e 930m), que favorecem uma intensa circulação dos ventos, estes municípios são considerados locais estratégicos para a implantação de aerogeradores para a produção de energia eólica no estado. Outro fator que pode influenciar nesse resultado está atrelado ao intenso uso do solo com atividades agrícolas nestas áreas, devido ao processo histórico de desmatamento que reduziu a cobertura vegetal primitiva, considerada uma barreira natural contra os ventos. Além disso, o município de Cascavel situa-se no oeste do Estado, considerada uma área de risco de vendavais devido ao frequente embate entre os sistemas atmosféricos tropicais e polares, além da atuação de Complexos Convectivos de Mesoescala que atuam principalmente na primavera.

Em locais como Cambará, Bandeirantes e Guarapuava, que anteriormente apresentaram velocidades médias mensais e anuais baixas, na análise da frequência da média diária foram computados registros de ventos de $8,5$ a 10ms^{-1} no período da primavera.

Municípios situados ao norte do Estado, como Cambará e Bandeirantes, localizados em uma zona de transição climática considerada como área de embates de massas polares e intertropicais, continentais e oceânicas, apresentam episódios de ventos fortes intensificados, devido às características locais, como o crescimento urbano e o intenso desmatamento que a região sofreu nos últimos anos para a implantação da agricultura.

Já Guarapuava, apresenta a frequência média diária elevada, pois encontra-se em uma das maiores altitudes do estado (1.058 metros), possui o relevo acidentado e sofre a influência da dinâmica das massas de ar, devido a sua localização.

Em Morretes houve o maior número de ocorrências de médias diárias dos ventos com velocidades de 0,5 a 1ms^{-1} . Entretanto, a análise dos dados para Pinhais demonstrou que essa localidade apresenta os menores valores, não registrando ventos, em nenhum dia, acima de 5ms^{-1} . Assim, estas duas últimas estações, devido às suas localizações, sofrem diretamente a influência do relevo que exerce o atrito sobre o ar que se desloca do oceano em direção ao continente, funcionando como barreira para o avanço de massas de ar e conseqüentemente na intensidade do vento.

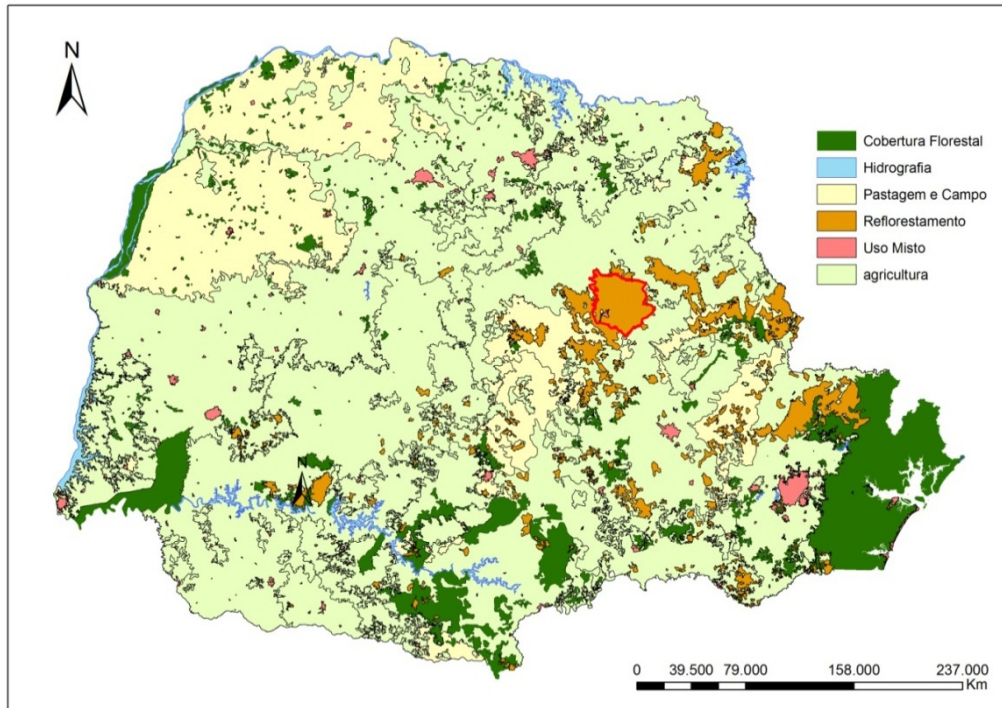
Tabela 4 - Frequência de velocidade do vento (dias), obtida das séries com anos completos

Frequência de velocidade do vento (dias)	Municípios															
	Cambará	Bandeirantes	Londrina	Ibiporã	Paranavaí	Cianorte	Telêmaco Borba	Pinhais	Palotina	Cascavel	Morretes	Lapa	Ponta Grossa	Guarapuava	Laranjeiras do Sul	Clevelândia
0,5	13	1	2	0	4	2	1	2	9	0	377	0	1	0	6	0
1	281	112	51	30	375	60	887	105	874	4	3007	8	14	39	181	2
1,5	1791	862	1259	945	1465	1102	4362	1062	2882	75	4144	320	279	606	1295	17
2	2510	1655	3345	2870	2273	2738	3485	1375	2999	362	2376	1025	841	2120	3140	272
2,5	2141	1462	2729	2841	2363	2606	1465	804	2034	946	655	1759	1319	2298	2709	1024
3	1493	890	1711	1933	1945	1564	558	389	1233	1505	182	1633	1565	1817	1729	1866
3,5	1044	609	1124	1268	1263	820	220	149	705	1572	81	1158	1427	1310	968	2184
4	747	445	671	790	650	328	72	47	398	1236	50	669	1352	944	476	1940
4,5	493	314	364	428	312	137	31	17	190	918	31	286	1051	672	245	1410
5	342	277	209	235	134	57	6	4	102	554	29	114	707	470	121	1020
5,5	254	218	96	124	58	9	5	0	37	400	9	57	485	299	62	627
6	161	177	37	39	29	5	3	0	26	278	8	16	299	222	23	363
6,5	105	118	11	17	12	1	0	0	8	157	3	6	150	125	14	242
7	73	89	6	9	3	1	0	0	6	106	1	1	74	71	2	105
7,5	29	77	1	0	1	0	0	0	1	37	1	2	32	25	6	65
8	14	44	0	1	1	0	0	0	1	25	0	0	18	25	3	22
8,5	7	21	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	12	8	0	14
9	1	9	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	3	4	1	9
9,5	1	6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	2	0	3
10	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
Total	11501	7387	11616	11530	10888	9431	11095	3955	11505	8194	10954	7054	9631	11059	10981	11187

Por meio do mapa de uso do solo (figura 26) é possível uma melhor visualização e detalhamento de como se dá a utilização do espaço físico territorial no estado do Paraná. Nota-se um predomínio da agricultura intensiva e atividades mistas (atividade agrícola não intensiva, ou seja, diversidade de culturas, além de pequenas parcelas com uso destinado à pecuária); exceto na região litorânea e a serra do mar, que são áreas cobertas por florestas, sendo estas também encontradas na região sul do estado. No noroeste e parte da região central há um grande espaço utilizado para pastagem e campos. Tais características do uso do solo associadas à dinâmica das massas de ar produzem o clima e, no caso do presente estudo, verifica-se que a configuração do relevo, a vegetação local e as

diferentes atividades econômicas podem contribuir para acentuar ou intensificar a velocidade do vento.

Figura 26 - Uso do solo do Estado do Paraná 2001/2002. Destaque em vermelho o município de Telêmaco Borba, onde predomina atividade de reflorestamento.



Fonte: ITCG (2008); Pereira, L. M. P. (2012).

A partir da frequência relativa acumulada, apresentada nas figuras de número 27 a 31, foram obtidos os valores de velocidade média diária dos ventos associados aos níveis de probabilidade. Na tabela 5 são encontrados os valores de velocidade média diária com probabilidades de não serem extrapolados em 50, 90, 95 e 99%. Isso significa que os dados tiveram 50, 10, 5 e 1% de velocidade média acima do valor registrado na tabela citada.

Cascavel, Ponta Grossa e Clevelândia foram os locais que apresentaram os maiores valores de velocidade média diária dos ventos, com 10% dos seus dados igual ou acima de 4,1, 3,7 e 3,9ms⁻¹ respectivamente, evidenciando que nesses locais é possível se obter energia eólica.

Oliveira *et al.* (2003) avaliaram o potencial eólico da região de Cascavel e obtiveram potência eólica superior a 15Wm⁻² (densidade de potência eólica instantânea média horária), o que viabiliza seu uso na agricultura para bombeamento de água.

Leite e Virgens Filho (2007) realizaram um trabalho utilizando a distribuição de probabilidade Beta como modelo para ajuste e representação dos dados de velocidade média diária na localidade de Ponta Grossa e que também sinalizaram um possível potencial eólico a ser aproveitado na região.

Já cidades como Telêmaco Borba, Morretes e Palotina, que têm suas médias anuais baixas, mostradas anteriormente, apresentaram na mesma porcentagem valores de 1,8, 1,5 e 2,1 ms^{-1} . Entende-se que um dos fatores que interfere na apresentação de valores mais baixos em Telêmaco Borba é a característica predominante do uso do solo no município, com abundante vegetação oriunda da atividade de silvicultura (reflorestamento – figura 26) com grande concentração de árvores que acabam servindo de quebra-ventos e, conseqüentemente, minimizam sua velocidade.

Figura 27 - $P(V \leq v)$ = probabilidades empíricas de ocorrência de valores menores ou iguais à velocidade média diária do vento (v), para as estações de Cambará, Bandeirantes, Londrina e Ibiporã.

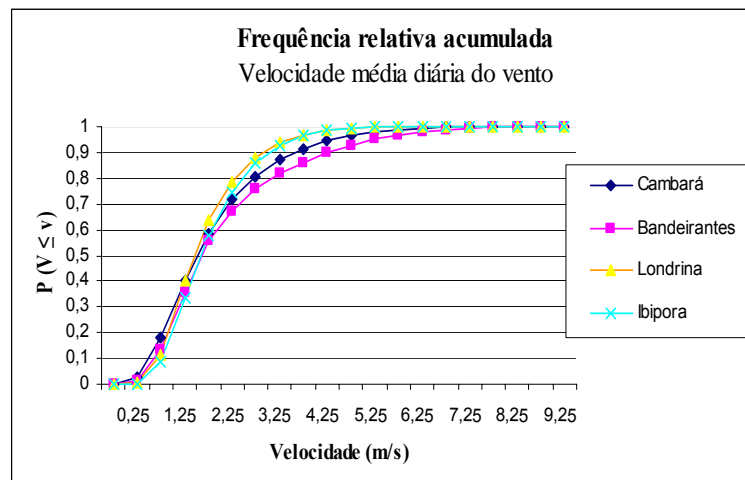


Figura 28 - $P(V \leq v)$ = probabilidades empíricas de ocorrência de valores menores ou iguais à velocidade média diária do vento (v), para as estações de Guarapuava, Laranjeiras do Sul e Clevelândia.

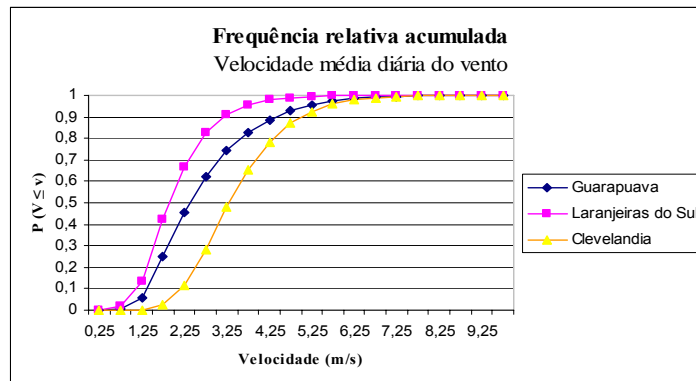


Figura 29 - $P(V \leq v)$ = probabilidades empíricas de ocorrência de valores menores ou iguais à velocidade média diária do vento (v), para as estações de Paranavaí, Cianorte, Palotina e Cascavel.

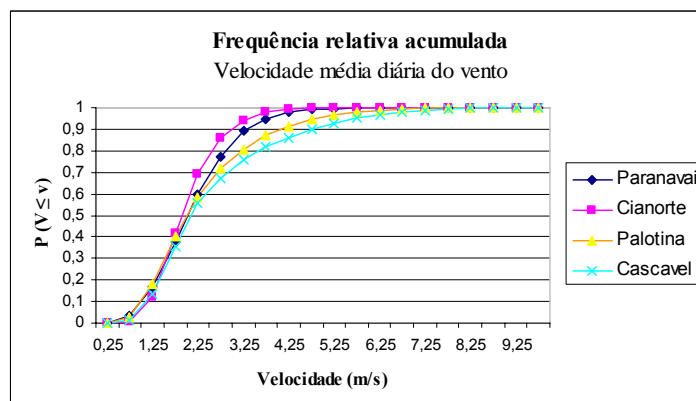


Figura 30 - $P(V \leq v)$ = probabilidades empíricas de ocorrência de valores menores ou iguais à velocidade média diária do vento (v), para as estações de Lapa, Ponta Grossa e Telemaco Borba.

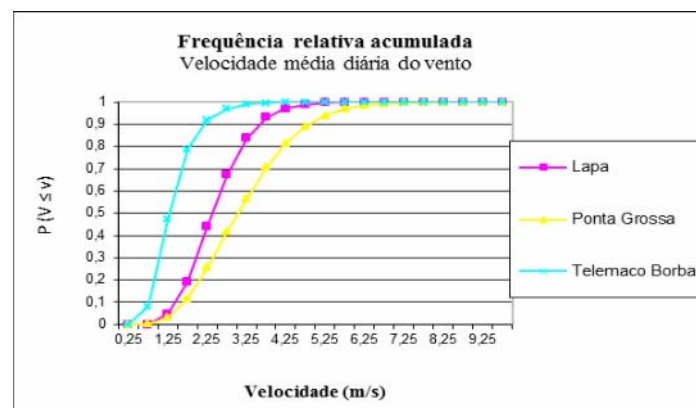


Figura 31 - $P(V \leq v)$ = probabilidades empíricas de ocorrência de valores menores ou iguais à velocidade média diária do vento (v), para as estações de Morretes e Pinhais.

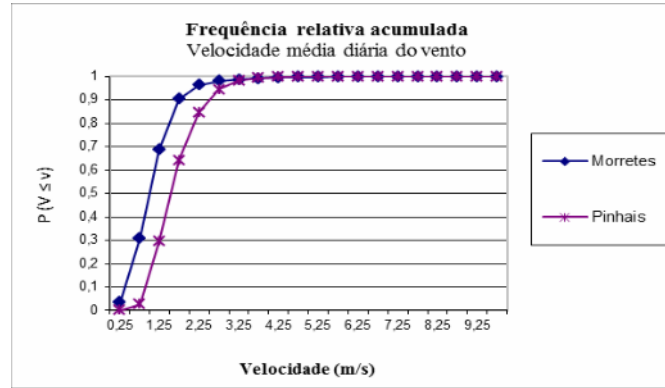


Tabela 5 - Velocidades médias diárias (ms^{-1}) observadas em diferentes níveis de probabilidade.

$P(V \leq v)$ Local	0,50	0,90	0,95	0,99
Cambará	2,6	2,8	2,9	3,2
Bandeirantes	2,8	3,2	3,3	3,6
Londrina	2,4	2,6	2,7	2,8
Ibiporã	2,5	2,9	3,0	3,4
Paranavaí	2,3	2,8	3,0	3,5
Cianorte	2,2	2,5	2,5	2,7
Telêmaco Borba	1,6	1,8	1,8	1,9
Palotina	2,0	2,1	2,2	2,3
Cascavel	3,5	4,1	4,3	4,9
Morretes	1,3	1,5	1,5	1,7
Pinhais	2,3	2,5	2,6	2,9
Lapa	2,7	2,9	2,9	3,1
Ponta Grossa	3,4	3,7	3,8	4,1
Guarapuava	2,9	3,1	3,2	3,4
Laranjeiras do Sul	2,3	2,6	2,7	2,9
Clevelândia	3,7	3,9	4,1	4,3

4.2 DIREÇÃO DOS VENTOS

A distribuição das direções predominantes dos ventos no estado está apresentada na figura 32 com a média anual para as 16 estações analisadas.

Foi observado que, tanto para os meses como para as estações do ano, não ocorrem mudanças significativas nas direções dos ventos nos locais estudados. Os dados revelam predominância de vento nordeste (NE) para a maioria das localidades, sendo elas: Paranaíba, Palotina, Clevelândia, Guarapuava, Ponta Grossa, Cascavel e Morretes. A segunda direção de maior ocorrência foi Leste (E) para Londrina, Cianorte, Laranjeiras do Sul, Lapa e Pinhais. Em seguida verificou-se a direção predominante de sudeste (SE) para as localidades de Bandeirantes, Ibiporã, Cambará e Telêmaco Borba.

Como mencionado anteriormente, um dos fatores responsáveis pela dinâmica dos ventos de superfície na região Sul do Brasil é a atuação do anticiclone do Atlântico Sul, controlando o clima da região em todas as estações do ano, mas principalmente no inverno, pois se comporta como bloqueio na atmosfera. Este centro de alta pressão produz vento médio de E-NE sobre a superfície da região Sul associado à divergência do ar.

Para as cidades que apresentaram direção NE dos ventos como predominante, a segunda direção mais frequente foi E, com exceções de Clevelândia e Morretes, cujas direções secundárias foram N e SO, respectivamente.

Nas estações onde houve o predomínio da direção E, a segunda direção mais frequente para este mesmo local, foi a NE. Constatou-se que para os locais de maior ocorrência da direção SE vieram a seguir, para a mesma estação, as direções S e E.

Figura 32 - Frequência média anual da direção predominante do vento para as 16 estações meteorológicas.



Fonte: Pereira, L. M. P. (2012).

Os resultados mostraram que a direção predominante dos ventos para o estado se concentra entre os quadrantes NE-E-SE. Segundo Nimer (1989), ventos de noroeste e de sudeste no hemisfério sul são genericamente conhecidos como ventos Alísios e estão relacionados à dinâmica do anticiclone do Atlântico Sul. A posição e a intensidade desse anticiclone são modificadas sazonalmente, alterando também o padrão de ventos. Estes sistemas de ventos têm duas direções principais: nordeste e leste durante a primavera e o verão e sudeste durante o outono e o inverno. Isso ocorre devido à migração, para o norte, da célula anticlinal do Atlântico Sul no inverno e para sul no verão.

Simultaneamente, outro fator que conduz o movimento atmosférico no Paraná são as massas de ar frio descendentes, provenientes do sul, de periodicidade irregular e que podem variar a direção do vento em 360°. De acordo com Maack (2002), com a entrada da frente polar nos meses hibernais, predominam os ventos do quadrante sul (S e SE) no estado. Os anticiclones que se infiltram desfazem a camada de nuvens em pouco tempo, trazendo consigo dias claros e ensolarados. As massas de ar estagnadas sobre o continente são aquecidas novamente devido ao acúmulo das radiações solares, motivando a mudança da direção dos ventos de E para NE.

Wagner (1989) realizou um estudo preliminar dos ventos no estado do Paraná e constatou que a direção do vento predominante na maior parte dos locais estudados foi a NE, seguida das direções E e SE, fato que pode estar relacionado com os centros de alta pressão do Atlântico e do Pacífico que originam ventos nesta direção. Para os picos máximos dos ventos, embora a maior porcentagem tenha se concentrado nas direções NE, E e SE, os maiores valores verificados pelos autores citados ocorreram nas direções S, SW e W. Segundo a autora, altos valores de ventos na direção S-SW-W evidenciam uma correlação entre a entrada de massas de ar polares que são acompanhadas de ventos do quadrante Sul e a ocorrência de picos máximos extremos, atingindo principalmente os municípios localizados nestas regiões do estado, como por exemplo, Cascavel.

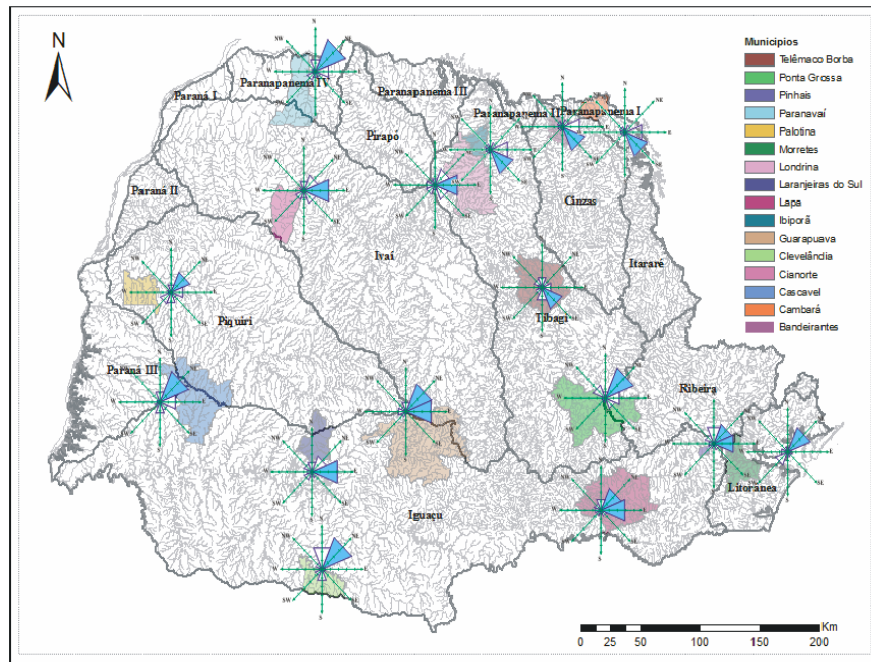
Galvani *et al.* (1999), em análises realizadas para Maringá, observaram que ao longo do ano a direção predominante dos ventos foi Nordeste, apresentando a mesma direção durante análises realizadas em horários diferentes ao longo do dia (9:00 e 15:00); já nas medições efetuadas a noite a direção Sudeste predomina nos meses de janeiro a maio e de outubro a dezembro; Leste de julho a setembro; e Nordeste para o mês de junho.

Além da atuação dos sistemas atmosféricos que influenciam as direções do vento durante o ano, observou-se que a disposição das bacias hidrográficas também constitui um fator relevante que interfere nas direções dos ventos que circulam no estado. Apesar dos ventos se deslocarem em várias direções durante os dias, a disposição das bacias influenciam diretamente no comportamento da média anual da direção dos ventos no Paraná, pois quando esses adentram o continente por meio do sistema de alta pressão do Atlântico Sul, que gera ventos no sentido leste/nordeste, são canalizados e direcionados pelo posicionamento das bacias hidrográficas, tendendo seguir o sentido das cotas altimétricas mais altas para as mais baixas, em direção à bacia do Paraná, como mostra a figura 33.

Um exemplo da influência da disposição das bacias hidrográficas nas direções dos ventos pode ser visto para os municípios de Londrina e Ibiporã (leste e sudeste respectivamente), pois mesmo sendo cidades vizinhas, apresentam diferentes direções predominantes dos ventos. Isto se deve principalmente à localização da estação meteorológica de Ibiporã, que está situada próxima ao vale do Rio Tibagi, além das características do relevo onde se encontra a referida

estação. Outro exemplo, que já foi citado anteriormente, (BOIN, 2000, p.53-55), refere-se aos vales dos rios Tibagi e Paranapanema que contribuem para o deslocamento das frentes frias e da massa Polar em direção às latitudes menores, situação que ocorre principalmente no verão, quando os anticiclones polares, de pressão mais baixa do que no inverno, circulam com umidade em altitudes mais elevadas.

Figura 33 - Relação das bacias hidrográficas com a direção do vento no Paraná.



Fonte: Pereira, L. M. P. (2012).

4.3 OCORRÊNCIA DE VENTOS EXTREMOS

4.3.1 Pico Máximo

O pico máximo foi analisado a partir dos histogramas de distribuição de frequência das velocidades máximas diárias do vento (figuras 34 a 49). Obteve-se uma concentração dos dados nas classes de velocidades de $7,9$; $10,7$ e $13,8\text{ms}^{-1}$, consideradas brisa moderada, brisa fresca e brisa forte, respectivamente, para a maioria das estações, exceto para Pinhais, Morretes e Telêmaco Borba que apresentaram, como anteriormente, os menores valores com dados concentrados nas velocidades $5,4\text{ms}^{-1}$, considerada brisa fraca; $7,9$ e $10,7\text{ms}^{-1}$. Como

anteriormente destacado, Morretes e Pinhais apresentam interferência da Serra do Mar e da vegetação sobre o registro das velocidades dos ventos, sendo que este último fator também tem grande influência em Telêmaco Borba, fazendo com que estas estações não apresentem uma significativa concentração de velocidades elevadas de pico máximo em sua série histórica, porém estudos futuros de escala local são necessários para um melhor detalhamento.

Já os municípios de Bandeirantes, Cascavel, Ponta Grossa e Clevelândia apresentaram um número elevado de ocorrências na classe de $17,1\text{ms}^{-1}$ (884, 676, 1.066 e 765, respectivamente), considerado um valor que pode causar prejuízos, tendo como principais características a movimentação dos caules e dos galhos das árvores. Um exemplo de tais prejuízos é que as seguradoras garantem a indenização das perdas e danos causados por ventos iguais ou acima de 15ms^{-1} por considerarem um valor capaz de gerar danos.

Figura 34 - Frequência de velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries de anos completos (1986 a 2009) para Bandeirantes.

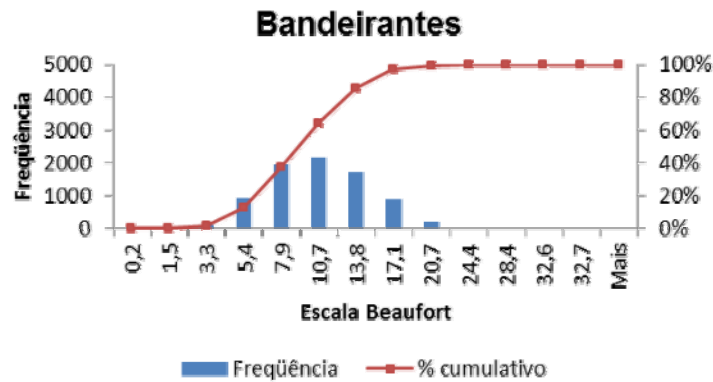


Figura 35 - Frequência de velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries de anos completos para Cambará.

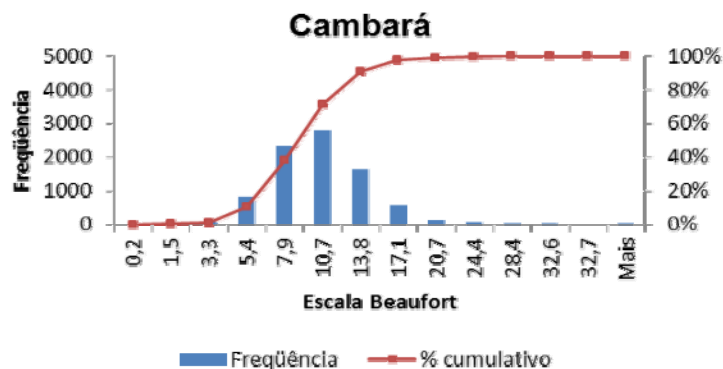


Figura 36 - Frequência de velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries de anos completos para Ibioporã.

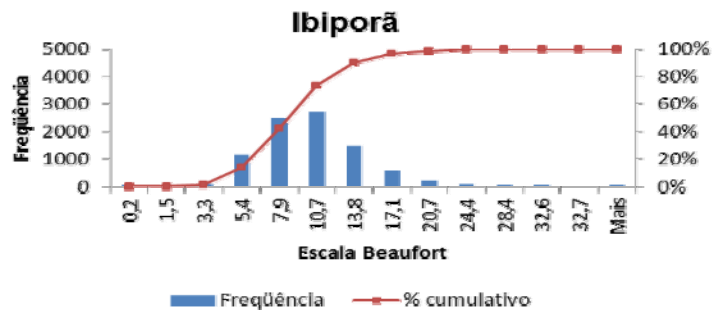


Figura 37 - Frequência de velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries de anos completos para Londrina.

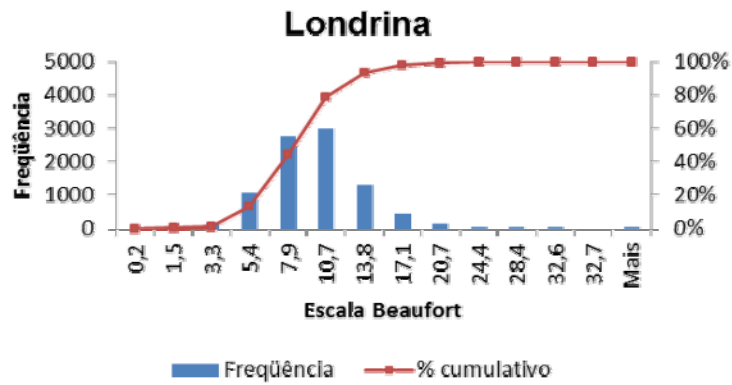


Figura 38 - Frequência de velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries de anos completos para Cianorte.

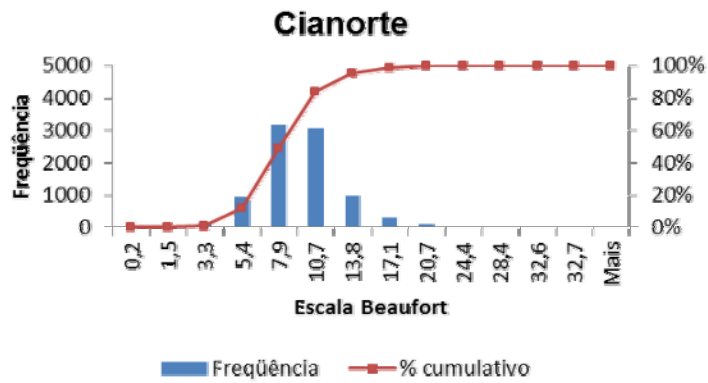


Figura 39 - Frequência de velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries de anos completos para

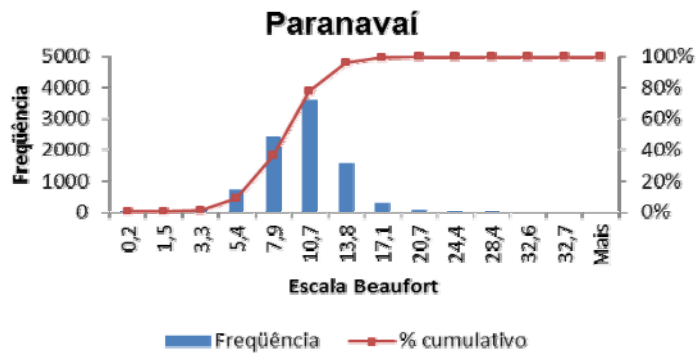


Figura 40 - Frequência de velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries de anos completos para Palotina.

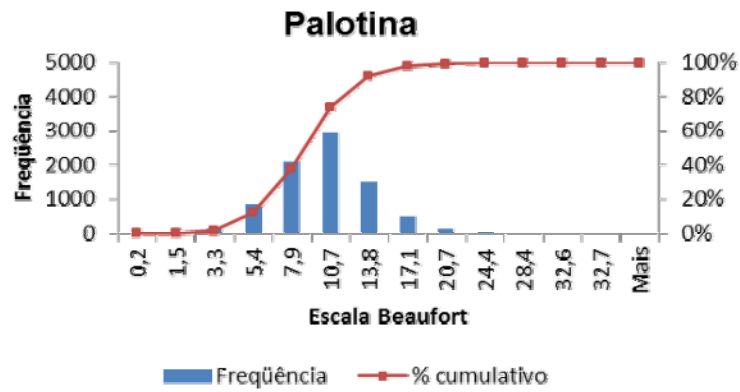


Figura 41 - Frequência de velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries de anos completos para

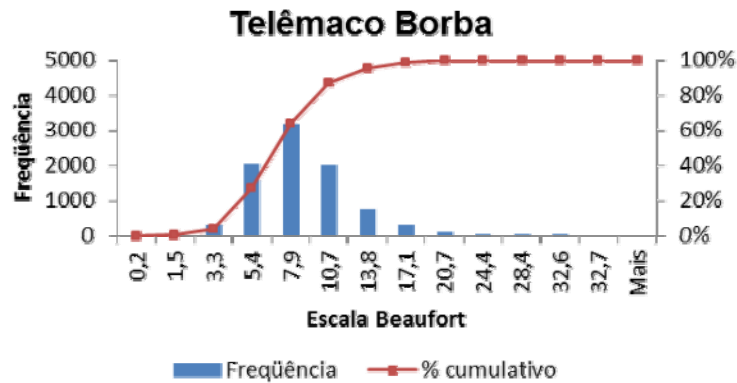


Figura 42 - Frequência de velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries de anos completos para Cascavel.

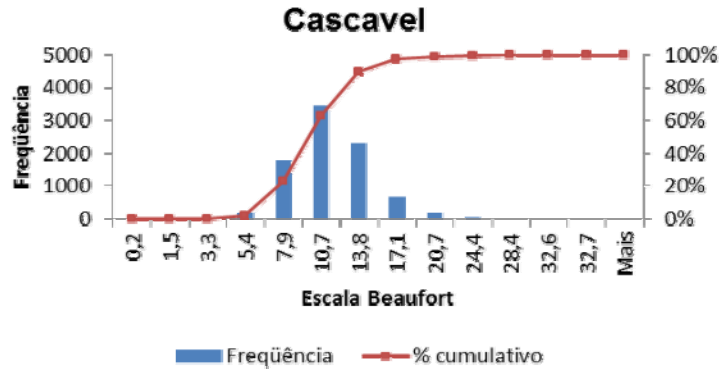


Figura 43 - Frequência de velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries de anos completos para

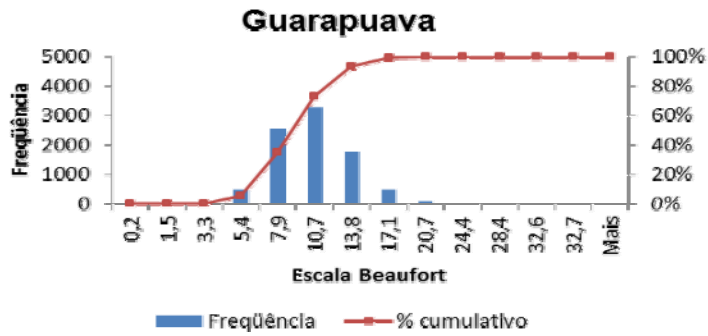


Figura 44 - Frequência de velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries de anos completos para

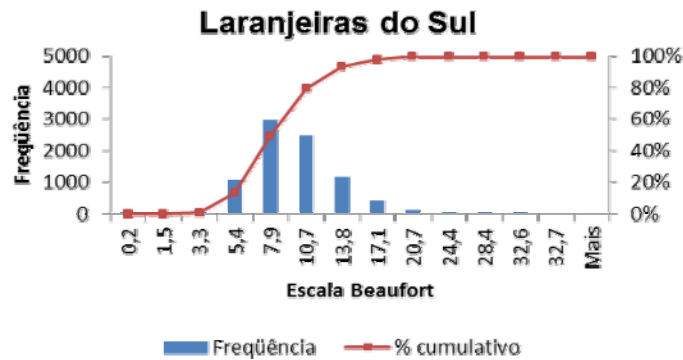


Figura 45 - Frequência de velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries de anos completos para Lapa.

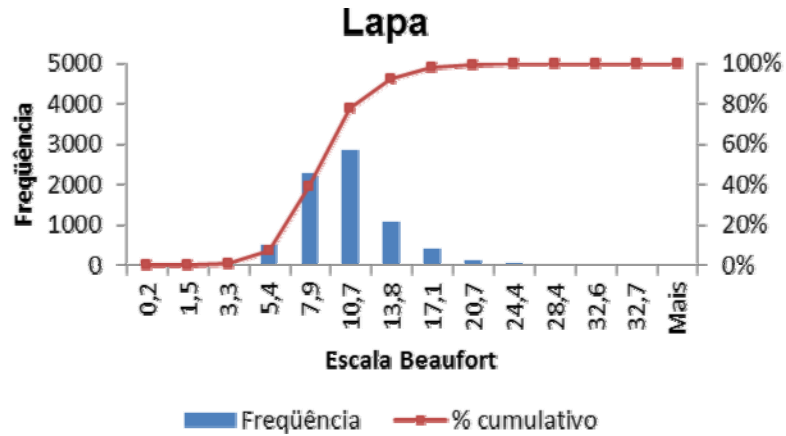


Figura 46 - Frequência de velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries de anos completos para Clevelândia.

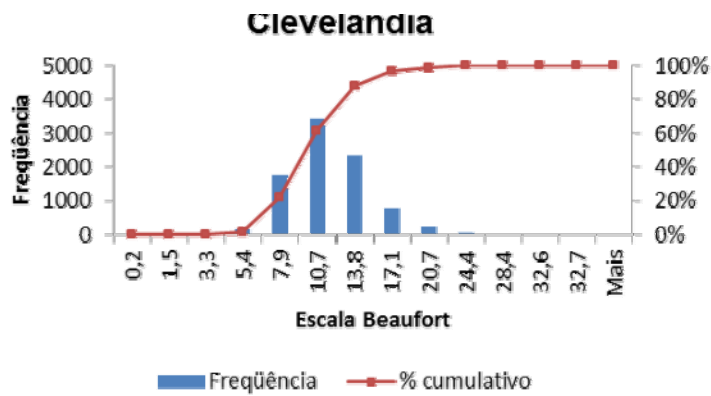


Figura 47 - Frequência de velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries de anos completos para Ponta Grossa.

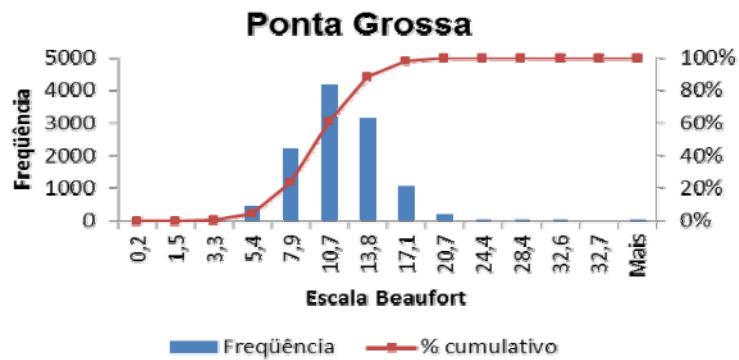


Figura 48 - Frequência de velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries de anos completos para Pinhais.

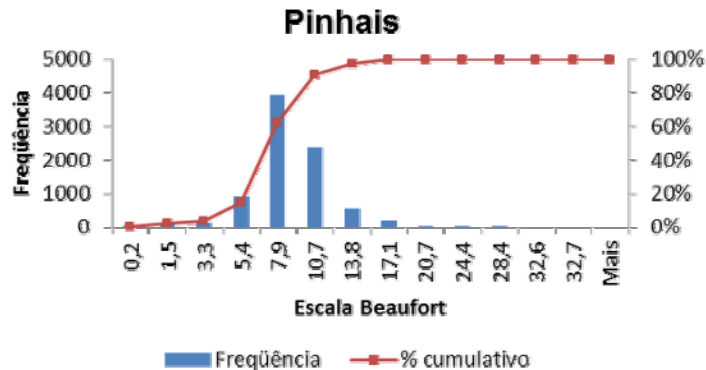
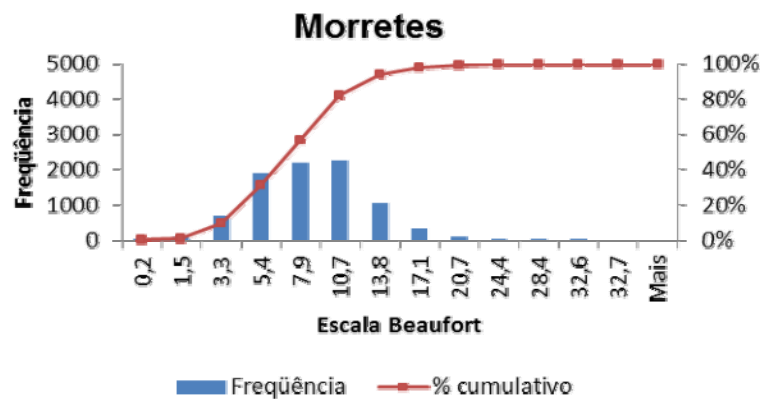


Figura 49 - Frequência de velocidade máxima do vento (dias), obtidas das séries de anos completos para Morretes.



4.3.2 Velocidades Máximas Anuais

Para as médias das velocidades máximas anuais (tabela 6), o menor valor foi encontrado na estação de Pinhais ($16,3\text{ms}^{-1}$). Para as demais localidades os resultados ficaram entre as classes de $21,5$ a $26,8\text{ms}^{-1}$, considerados ventania forte e tempestade. Nesta análise percebe-se que os municípios localizados ao norte do estado, como Londrina, Ibiporã e Cambará, situados bem próximos um dos outros, apresentaram valores médios extremos, sendo $25,1\text{ms}^{-1}$, $26,5\text{ms}^{-1}$ e $26,2\text{ms}^{-1}$, respectivamente; Bandeirantes, que também se encontra nesta região, apresentou valor mais baixo que os demais municípios ($24,2\text{ms}^{-1}$), porém considerado elevado, evidenciando assim ser uma região de risco.

Tabela 6 - Média da velocidade máxima anual (1986 -2009)

Municípios	Média da V _{máx} - anual (ms ⁻¹)
BANDEIRANTES	24,2
CLEVELÂNDIA	26,8
IBIPORÃ	26,5
PONTA GROSSA	24,4
CASCADEL	25,0
CAMBARÁ	26,2
PALOTINA	24,5
MORRETES	24,4
LAPA	24,7
LONDRINA	25,1
LARANJEIRAS DO SUL	23,6
GUARAPUAVA	22,6
TELÊMACO BORBA	24,7
PARANAVAÍ	21,5
CIANORTE	22,1
PINHAIS	16,3

Nas análises sazonais (tabela 7) observam-se maiores médias das velocidades máximas dos ventos durante a primavera para quase todas as estações meteorológicas analisadas, com valores de até 11,6ms⁻¹, considerada Brisa forte na escala Beaufort. Neste período de transição sazonal ocorre o gradativo aquecimento do continente sul-americano, favorecendo os contrastes barométricos com o retorno do anticiclone do Atlântico Sul para sua posição climatológica, que se confronta com as passagens frontais, e a massa Polar atlântica que ainda atua sobre o estado, bem como o recuo das massas de ar tropicais de baixa pressão.

No verão ocorreu uma maior concentração das velocidades entre 8,5ms⁻¹ e 9,5ms⁻¹, consideradas Brisa fresca, com destaque para as altas velocidades nas estações de Clevelândia e Ponta Grossa. Nesta época do ano são comuns a atuação das Linhas de instabilidade e as rápidas passagens frontais. O

forte aquecimento diurno dá origem às nuvens tipo *Cumulunimbus*, gerando pancadas de chuvas localizadas, acompanhadas de ventos fortes.

No inverno houve uma maior amplitude nos dados, que ficaram entre as velocidades 6,7 e 10,5ms⁻¹, consideradas brisa moderada e brisa fresca respectivamente, evidenciando maiores valores na região de Ponta Grossa. No outono foram encontradas as menores rajadas médias, com valor de 6,6ms⁻¹ (Brisa moderada) para as localidades de Morretes e Telêmaco Borba e nenhum valor acima de 10ms⁻¹.

Segundo Kim *et al.* (2002), a incursão do ar quente e úmido que se desloca desde a região norte e central do Brasil, além da Bolívia, mantém condições apropriadas para a formação de tempestades durante o verão e a primavera nas regiões mais a oeste do Paraná, como é o caso de Cascavel, que no presente trabalho apresentou valores altos de velocidade dos ventos, principalmente nestas épocas do ano. Em contrapartida, a trajetória das massas polares durante o verão e as variações de temperaturas da superfície do oceano Atlântico influenciam diretamente a faixa litorânea do Paraná até o Primeiro Planalto, explicando assim o comportamento da estação de Ponta Grossa que, devido à sua localização, apresenta valores elevados de velocidade do vento em sua série histórica.

Tabela 7 - Média das rajadas de vento por estação do ano (1986-2009)

Município	VERÃO	OUTONO	INVERNO	PRIMAVERA
BANDEIRANTES	9,7	8,4	8,9	11,3
CLEVELÂNDIA	10,1	9,7	10,5	11,2
IBIPORÃ	9,7	8,1	8,2	10,5
PONTA GROSSA	10,1	9,3	10,1	11,3
CASCAVEL	9,6	9,6	10,4	11,6
CAMBARÁ	9,4	8,1	8,5	10,8
PALOTINA	9,4	8	8,8	10,3
MORRETES	8,9	6,6	6,7	8,6
LAPA	9,5	8	8,9	9,9
LONDRINA	9,3	7,7	8	9,8
LARANJEIRAS DO SUL	8,3	8	9	9,1
GUARAPUAVA	9	8,5	9,3	10,3
TELÊMACO BORBA	8,2	6,6	7,1	8,3
PARANAVAÍ	8,9	8	9	9,9
CIANORTE	8,5	7,4	8,3	9,3
PINHAI	7,8	7	7,4	7,9

Também foi confeccionada a frequência sazonal de ventos acima de $24,4\text{ms}^{-1}$, considerado tempestade (escala 10 de Beaufort) quando árvores são desenraizadas e danos estruturais consideráveis são produzidos, sendo que este valor é adotado pela Defesa Civil para a identificação de vendavais (figura 50).

Esta análise apresentou maior frequência de vendavais na primavera em quase todos os municípios, com destaque para Ibiporã que obteve 17 ocorrências, enquanto que Cianorte não registrou nenhum evento nesta época do ano.

Em Londrina a quantidade de eventos na primavera e verão foram quase equivalentes, 8 e 7. Em Cambará, Cascavel, Clevelândia, Ibiporã e Palotina as ocorrências na primavera foram bem discrepantes em relação aos outros períodos sazonais, apresentando nesta época do ano uma frequência muito mais expressiva, sendo respectivamente, 16, 16, 14, 18 e 10 eventos.

Telêmaco Borba, como foi visto nas análises anteriores, não é um município que registra valores altos de velocidade dos ventos em sua série histórica. Porém, na análise dos dados da Defesa Civil, a ocorrência de ventos acima de $24,4\text{ms}^{-1}$ para o referido município, na primavera, foi maior quando comparado a Ponta Grossa e igual a Bandeirantes, locais considerados de risco de acordo com os estudos já realizados.

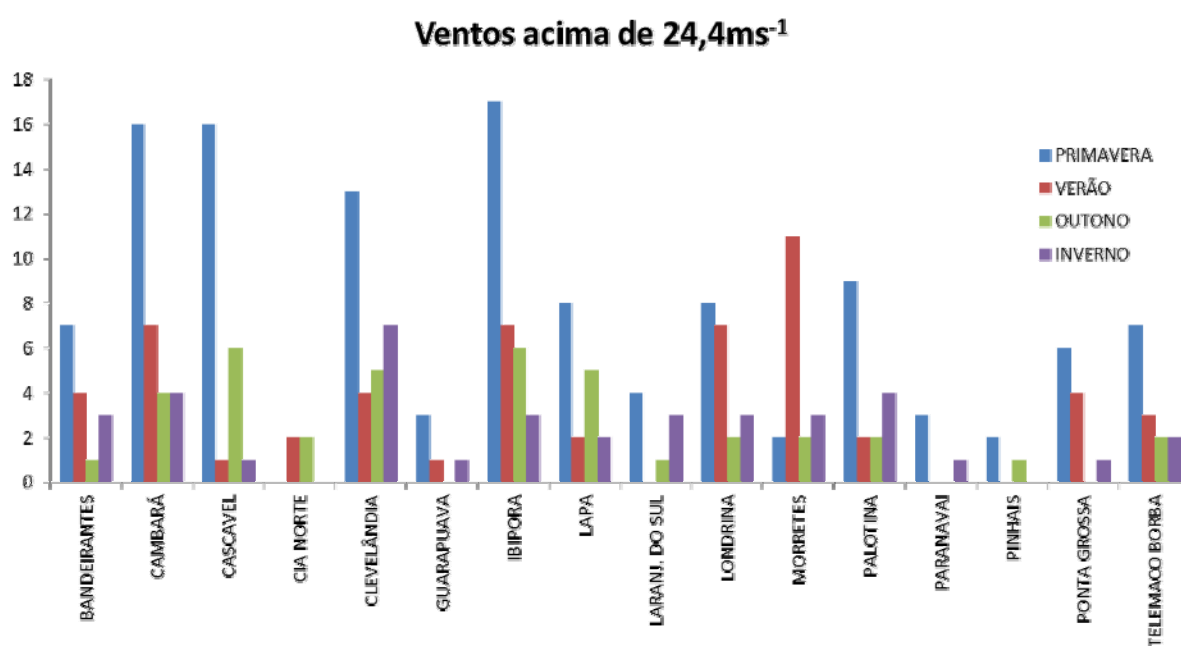
Situações de discrepância entre os dados do IAPAR e da Defesa Civil Paraná são verificadas com muita frequência, pois muitas vezes onde a Defesa Civil registrou a ocorrência de vendavais os dados registrados na estação meteorológica não registraram e vice-versa. O evento extremo na maioria das vezes não atinge todo o município, sendo de característica localizada, podendo afetar por exemplo, somente o centro urbano, como também somente as áreas rurais.

No verão, Morretes foi o único município em que a ocorrência de vendavais foi maior, computando 11 eventos, enquanto que na primavera foram somente 2. Este fato está relacionado com a dinâmica do anticiclone do Atlântico Sul, que no verão se desloca mais ao oeste e exerce influência direta no litoral. Já Pinhais, Laranjeiras do Sul e Paranavaí não tiveram ocorrências no período analisado.

Guarapuava, Paranavaí e Ponta Grossa não registraram nenhum evento no outono, sendo que as maiores ocorrências foram encontradas em Cascavel e Ibiporã, com um total de 6 em cada município.

No inverno, os municípios de Cianorte e Pinhais também não apresentaram nenhum registro e o maior número de ocorrências para esta época do ano foi registrado em Clevelândia, totalizando 7 vendavais.

Figura 50 - Frequência de velocidade de vento acima de $24,4\text{ms}^{-1}$ por estação do ano no período de 1986 a 2009, registrada pelo IAPAR.



4.3.3 Distribuição de Extremos

A aplicação do método dos momentos (tabela 8) mostrou que Bandeirantes, Clevelândia e Ibiporã foram os locais que apresentaram os maiores valores de velocidade máxima diária dos ventos, com 5% dos seus dados iguais ou acima de 16ms^{-1} . Na análise da probabilidade de 99% destaca-se Bandeirantes, que tem 1% dos seus dados iguais ou acima de 21ms^{-1} , diferente de Pinhais que, na mesma porcentagem, o vento não excederia $15,9\text{ms}^{-1}$.

Tabela 8 - Valores de estimativas dos parâmetros β e α e valores de X (ms^{-1}) para probabilidade de 95% e 99%.

Municípios	B	α	F(X)=95%	F(X)=99%
BANDEIRANTES	3	7,9	16,67	21,48
CLEVELÂNDIA	2,5	8,9	16,46	20,60
IBIPORA	2,9	7,4	16,12	20,88
CAMBARÁ	2,7	7,7	15,72	20,14
PONTA GROSSA	2,4	8,8	15,99	19,95
CASCADEL	2,4	8,8	15,95	19,88
PALOTINA	2,6	7,6	15,38	19,65
MORRETES	2,9	6	14,62	19,34
LAPA	2,5	7,6	14,98	19,00
LONDRINA	2,6	7,2	14,83	19,00
LARANJEIRAS DO SUL	2,5	7,1	14,58	18,67
GUARAPUAVA	2,2	8	14,63	18,29
TELÊMACO BORBA	2,5	6,1	13,65	17,80
PARANAVAÍ	2,2	7,7	14,12	17,65
CIANORTE	2,2	7,1	13,75	17,40
PINHAIS	2,1	6,4	12,54	15,92

A partir da estimativa de probabilidade de ocorrência de ventos extremos (tabela 9), considerando somente os valores acima de $17,1\text{ms}^{-1}$, o município de Bandeirantes despontou como o de maior probabilidade de ocorrência de ventos acima desse valor, sendo o único local com mais de 4% de probabilidade e, juntamente com Clevelândia, Ibiporã e Ponta Grossa, mostrou um tempo de retorno inferior a um mês para essa escala. Em locais como Pinhais a probabilidade de ocorrer ventania (escala Beaufort) foi inferior a 1%, com tempo de retorno superior a 100 dias.

A partir da escala de $20,7\text{ms}^{-1}$ (ventania forte) são evidenciados que valores mais altos passam a ser inferiores a 1% do total dos dados para quase todos os locais, exceto para Bandeirantes e Ibiporã, que apresentaram maior número de

ocorrência de ventos acima desta faixa, sendo que nesta escala o tempo de retorno é mais longo do que na primeira analisada.

A última escala destacada demonstrou que valores acima de $24,4\text{ms}^{-1}$ (tempestade) ocorrem com menor frequência no Paraná, sendo que todos os municípios tiveram a probabilidade inferior a 1%, podendo ser, assim, considerado um valor extremo. O tempo de retorno apresentou uma grande amplitude entre dias, como por exemplo, o município de Bandeirantes, em que há a probabilidade de ocorrer ventos com esta intensidade a cada 268 dias e Pinhais a cada 5.916 dias.

Tabela 9 - Probabilidades de ocorrência de rajadas máximas diárias de vento com velocidade acima de 17,1, 20,7, $24,4\text{ms}^{-1}$ a 10 m acima do nível do solo e o tempo de retorno em dias estimado das mesmas velocidades para todas as estações analisadas.

Município	PROB > 17,1 (61km)	T. retorno (Dias) 17,1	PROB > 20,7 (74km)	T. retorno (Dias) 20,7	PROB > 24,4 (87km)	T. retorno (Dias) 24,4
BANDEIRANTES	4,33%	23	1,26%	79	0,37%	268
CLEVELÂNDIA	3,91%	26	0,93%	108	0,23%	444
IBIPORA	3,60%	28	1,03%	97	0,30%	332
PONTA GROSSA	3,20%	31	0,71%	142	0,16%	624
CASCADEL	3,14%	32	0,68%	146	0,15%	651
CAMBARÁ	3,03%	33	0,78%	128	0,21%	480
PALOTINA	2,63%	38	0,64%	155	0,16%	612
MORRETES	2,15%	46	0,61%	165	0,18%	571
LAPA	2,15%	47	0,48%	207	0,11%	887
LONDRINA	2,09%	48	0,49%	202	0,12%	826
LARANJEIRAS DO SUL	1,86%	54	0,43%	232	0,10%	973
GUARAPUAVA	1,69%	59	0,33%	305	0,07%	1511
TELÊMACO BORBA	1,31%	76	0,31%	324	0,08%	1328
PARANAVAÍ	1,29%	78	0,23%	426	0,04%	2246
CIANORTE	1,14%	87	0,22%	454	0,04%	2266
PINHAIS	0,57%	176	0,10%	1045	0,02%	5916

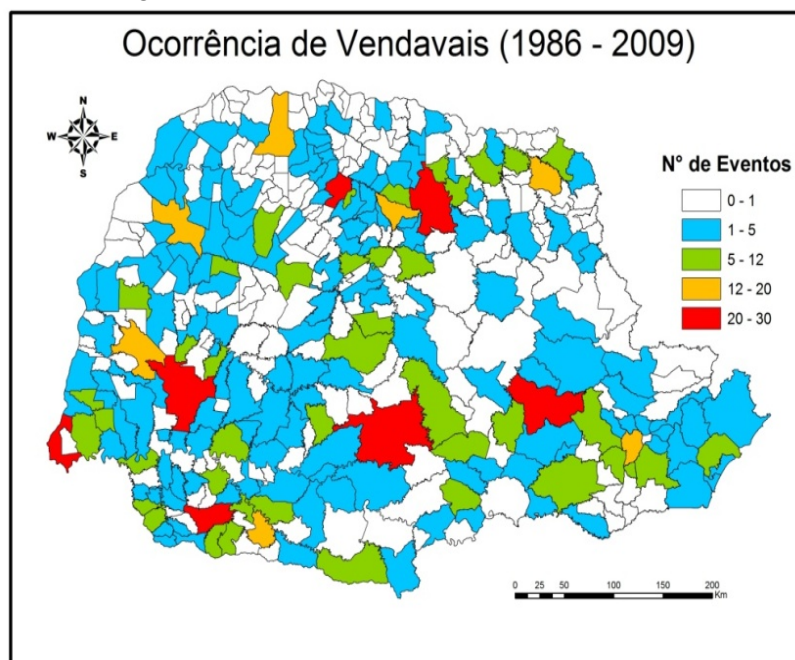
4.4 PREJUÍZOS E OCORRÊNCIAS DE VENDAVAIS NO PARANÁ IDENTIFICADOS PELA DEFESA CIVIL

As ocorrências de vendavais no Paraná, de acordo com os dados da Defesa Civil (valores acima de $24,4\text{ms}^{-1}$) para o período de 1986 e a 2009, revelaram uma grande discrepância entre os municípios, pois enquanto alguns locais chegaram a registrar 29 eventos outros não apresentaram nenhum em todo o período analisado (figura 51).

Londrina, Maringá e Cascavel apresentaram os maiores valores, totalizando 29 ocorrências, seguidos de Ponta Grossa com 27, sendo que estes dois últimos municípios também foram identificados como áreas de risco a vendavais por meio da análise dos dados disponibilizados pelo IAPAR.

Francisco Beltrão e Guarapuava apresentaram o mesmo número de ocorrências (24), Foz do Iguaçu registrou 23 eventos e Curitiba, 20. O município de Ibiporã, que se destacou nas análises com os dados oriundos do IAPAR, não registrou mais que 10 vendavais nos dados da Defesa Civil.

Figura 51 - Número de vendavais ocorridos no Paraná no período de 1986 a 2009, registrados pela Defesa Civil.

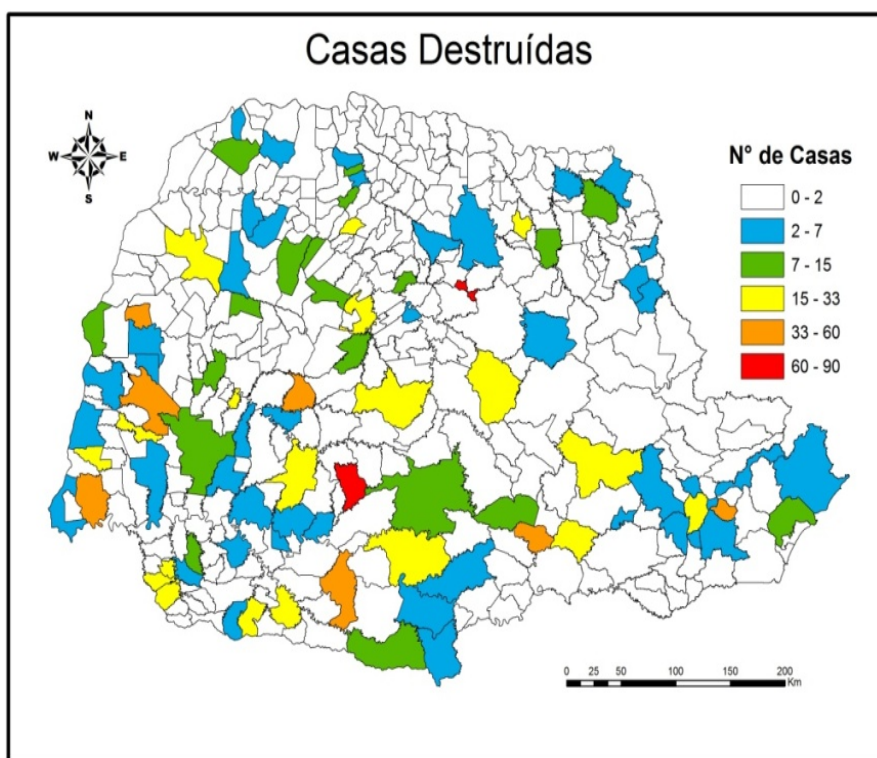


Fonte: Pereira, L. M. P. (2012).

Em relação à quantidade de casas destruídas no período analisado (figura 52), destacam-se os municípios de Cantagalo (com 88 casas destruídas) e Mauá da Serra (com 74). Muitos municípios apresentaram valores entre 20 e 40; porém, para a maioria dos locais os números de casas destruídas foram baixos. Mas quando o número de casas danificadas (figura 53) é analisado, os valores apresentados são mais elevados, chegando a quantidade de 7.222 no município de Piraquara; 4.492 em Curitiba; 4.359 em Cascavel e 3.671 em Nova Laranjeiras.

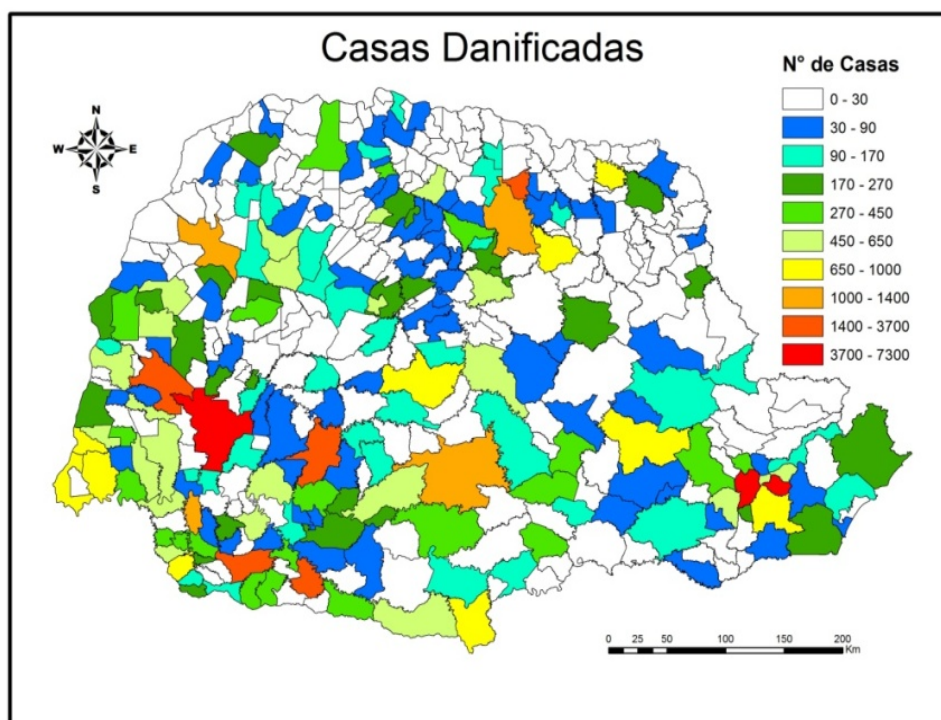
Francisco Beltrão, Toledo, Pato Branco e Ibiporã apresentaram números na faixa entre 2 e 3 mil. Londrina, Guarapuava e Umuarama se destacaram na faixa de 1 a 2 mil casas danificadas. Ponta Grossa, Foz do Iguaçu, Itaipulândia e Bandeirantes tiveram seus dados na faixa de 1 mil a 800 casas danificadas.

Figura 52 - Número de casas destruídas por vendavais no Paraná no período de 1986 a 2009, registradas pela Defesa Civil.



Fonte: Pereira, L. M. P. (2012).

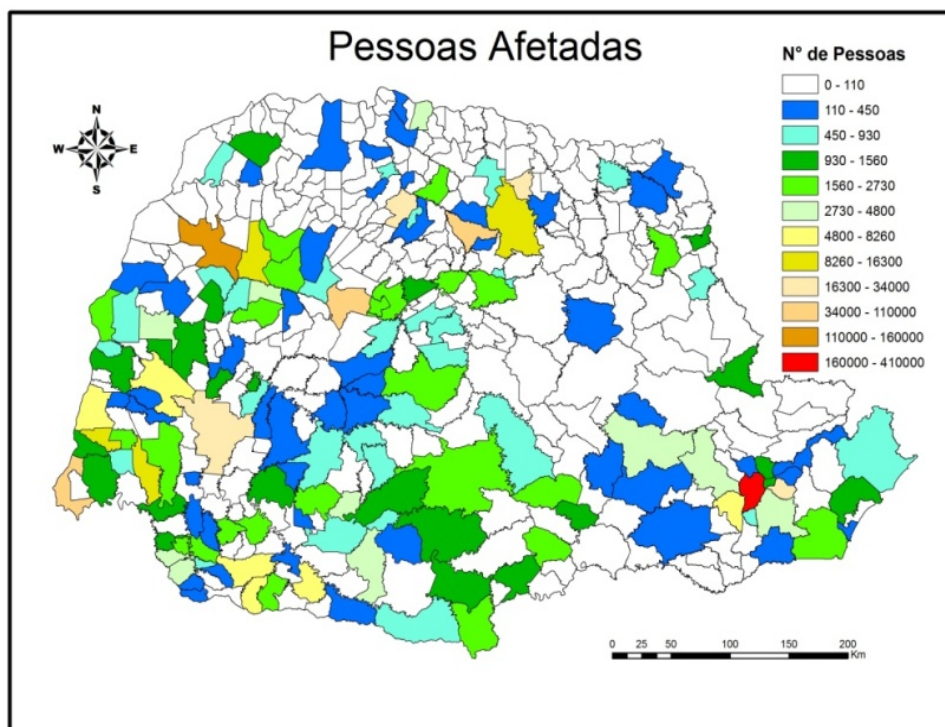
Figura 53 - Número de casas danificadas por vendavais no Paraná no período de 1986 a 2009, registradas pela Defesa Civil.



Fonte: Pereira, L. M. P. (2012).

A partir dos números cedidos pela Defesa Civil para a quantidade de pessoas afetadas por vendavais no estado do Paraná (figura 54) é possível perceber a magnitude do problema que este fenômeno causa à sociedade. No período de 1986 a 2009 as pessoas afetadas por vendavais chegaram a 405.425 em Curitiba, 157.269 em Umuarama, 109.061 em Apucarana e 80.117 em Campo Mourão. Destaque também para Foz do Iguaçu, Ibiporã, Cascavel, Piraquara, Maringá, Matelândia, Missal e Londrina, em que o número de pessoas afetadas foi respectivamente de 62.213, 34.010, 30.919, 30.547, 24.061, 16.272, 13.794 e 11.352.

Figura 54 - Número de pessoas afetadas por vendavais no Paraná no período de 1986 a 2009, registradas pela Defesa Civil.



Fonte: Pereira, L. M. P. (2012).

Nas análises realizadas a partir dos dados da Defesa Civil em relação às ocorrências dos vendavais e sua repercussão para a população paranaense constatou-se que o município de Londrina aparece entre os mais atingidos. Porém, nas análises estatísticas efetuadas por meio dos dados fornecidos pelo IAPAR, este município não apresenta destaque tão grande. Isto evidencia que, muitas vezes, o vendaval só atinge uma área específica da região urbana, ou seja, é um elemento climático muito pontual, sendo assim, não é registrado pela estação meteorológica devido à sua localização que, geralmente, encontra-se mais afastada dos centros conforme as normas da Organização Meteorológica Mundial (OMM).

A partir das análises subsidiadas nos dados do IAPAR e da Defesa Civil Paraná constatou-se que as regiões de Cascavel, Clevelândia, Ibiporã, Ponta Grossa e Londrina constituem as áreas com maior risco à ocorrência de vendavais, consequência de vários fatores de particularidades locais, já mencionados, como o relevo (altitude e rugosidade); desmatamento causado principalmente pelo processo histórico de implementação da agricultura no estado; crescimento urbano e a maior atuação de sistemas atmosféricos geradores de eventos extremos. Assim, tais

municípios foram selecionados para o desenvolvimento da próxima etapa do presente trabalho, que consiste na análise episódica dos vendavais subsidiada na interpretação da dinâmica atmosférica regional, por meio da análise rítmica, para complementar a caracterização do regime de ventos no estado do Paraná realizada por meio da estatística.

4.5 DEFINIÇÃO DOS VALORES EXTREMOS

A partir da seleção dos locais com os maiores riscos à ocorrência de vendavais dentro do estado, a presente etapa consiste em um detalhamento da análise destes no tocante ao comportamento dos dados de velocidades máximas registradas pelo IAPAR. Desta maneira, por meio do cálculo do desvio padrão, foi definido um limite superior (média + desvio padrão) para cada amostra de velocidade de vento que propiciou a identificação dos eventos extremos.

Os gráficos apresentados a seguir (figuras 55 a 59) revelaram que, dentre os municípios analisados, Ibiporã obteve o limite superior mais elevado ($23,18\text{ms}^{-1}$ - linha vermelha) com 60 eventos iguais ou acima deste valor, ou seja, 21% do total da amostra. Resultado semelhante foi encontrado em Clevelândia, onde a média foi de $23,16\text{ms}^{-1}$, porém o número de ocorrências de valores iguais ou acima do limite superior foi menor, totalizando 51 eventos ou 18% da amostra.

Em Cascavel o limite superior foi de $21,97\text{ms}^{-1}$ e registrou 55 ocorrências iguais ou acima deste valor ou 19% do total dos dados. Valores próximos foram encontrados em Ponta Grossa e em Londrina, que apresentaram $21,77\text{ms}^{-1}$ e $21,68\text{ms}^{-1}$ respectivamente, apresentando na mesma ordem 44 e 43 ocorrências iguais ou acima destes valores, ambos 15% total da amostra.

Figura 55 - Velocidades máximas mensais do vento em Ibiporã no período de 1986-2009.

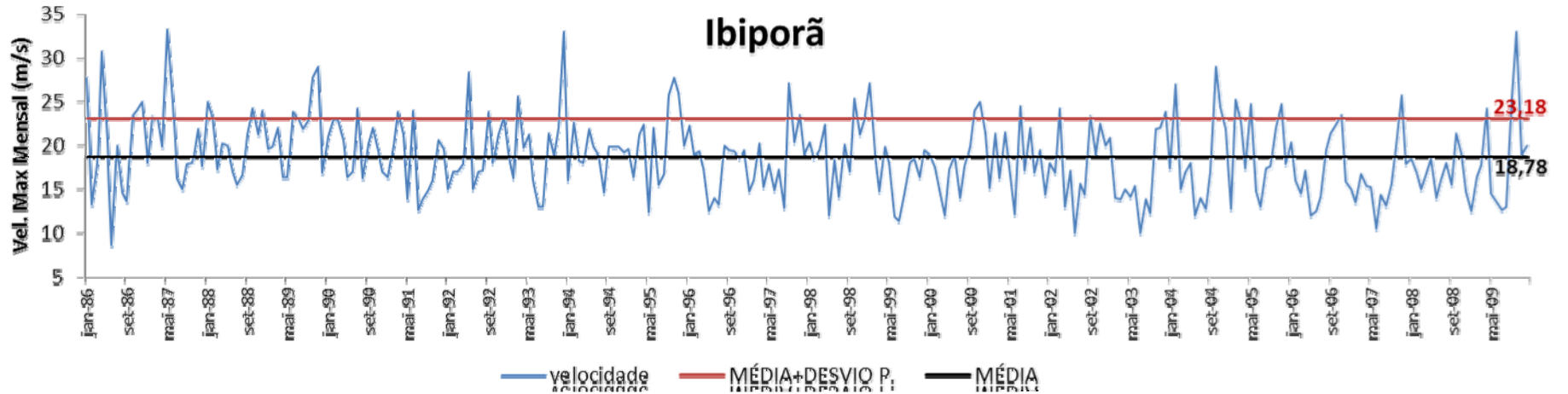


Figura 56 - Velocidades máximas mensais do vento em Clevelândia no período de 1986-2009.

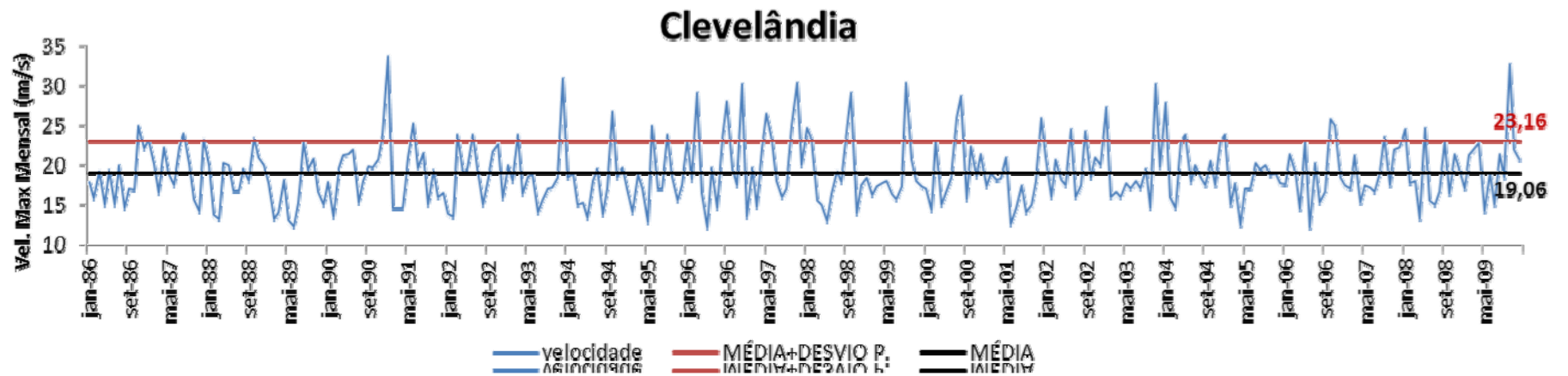


Figura 57 - Velocidades máximas mensais do vento em Cascavel no período de 1986-2009.

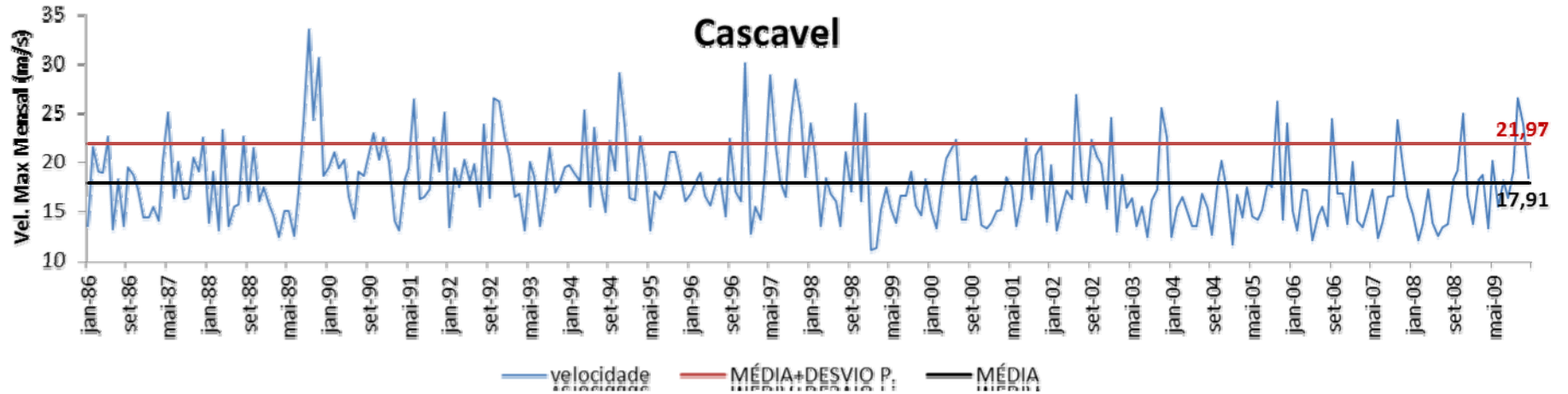


Figura 58 - Velocidades máximas mensais do vento em Ponta Grossa no período de 1986-2009.

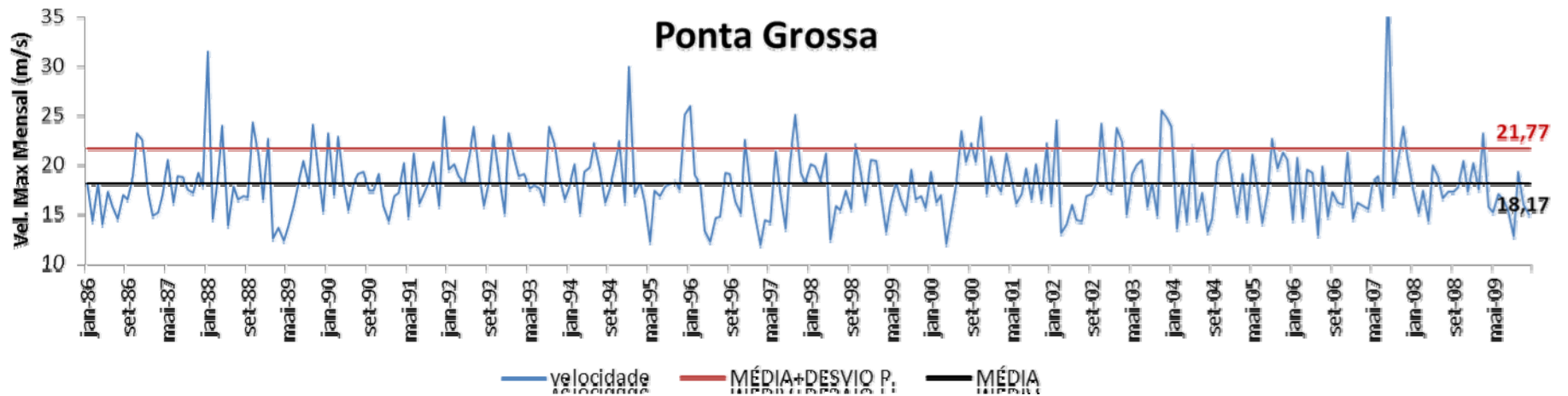
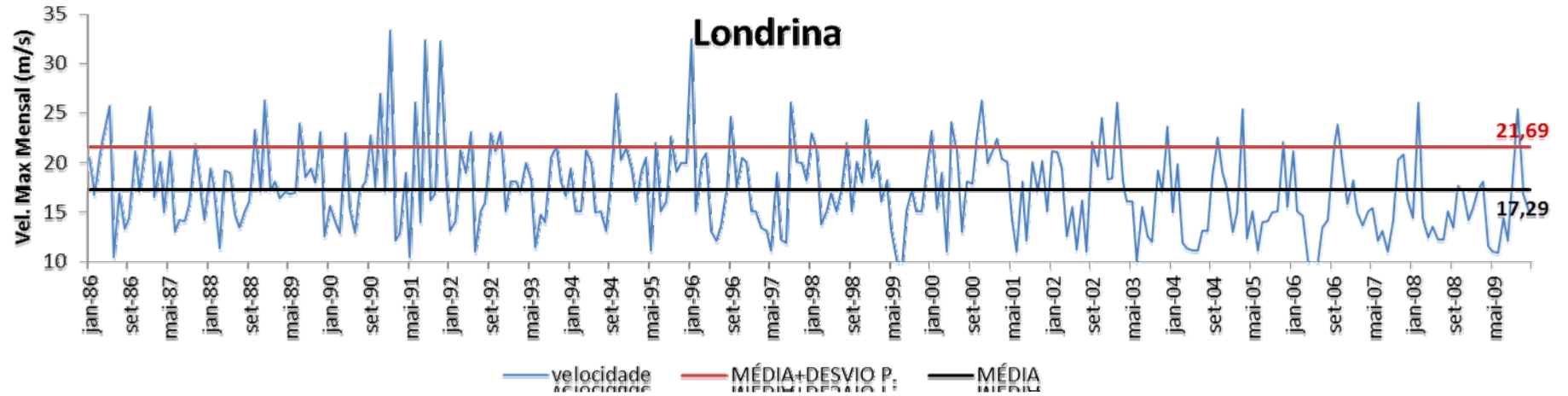


Figura 59 - Velocidades máximas mensais do vento em Londrina no período de 1986-2009.



A partir da identificação dos eventos extremos foi possível separá-los por estação do ano (inverno, outono, primavera e verão) para, desta forma, definir o período de maior ocorrência para cada um dos municípios identificados como os mais vulneráveis aos vendavais (figura 60). Assim como nas análises sazonais já apresentadas nesta pesquisa, os eventos que se encontraram igual ou acima do limite superior tiveram maior frequência na primavera para todos os municípios analisados.

Em Ibiporã o outono e inverno apresentaram a mesma frequência, sendo 8 nas duas estações do ano. No verão a ocorrência foi de 15 eventos, sendo a maior neste período entre todos os municípios, e na primavera foram 29.

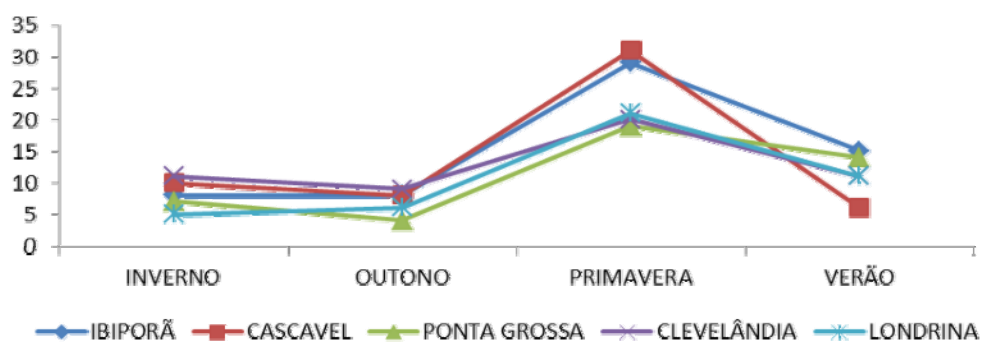
Em Cascavel o menor número de ocorrências foi na estação de verão, somente 6, diferente dos outros locais que nesta época do ano apresentaram o segundo maior número de eventos, depois da primavera. A primavera em Cascavel se destacou com 31 ocorrências, a maior de todas para o período em relação aos outros locais.

Ponta Grossa apresentou valores baixos no inverno e outono (7 e 4 ocorrências respectivamente), e na primavera e verão o número de eventos foi de 19 e 14 respectivamente.

Clevelândia obteve o mesmo valor para o inverno e o verão (11 ocorrências), o outono registrou a menor ocorrência (9 eventos) e a primavera, como nos demais municípios, apresentou maior número, com um total de 20 eventos.

Em Londrina o inverno e o outono apresentaram baixas ocorrências (5 e 6 respectivamente). Enquanto que na primavera foram registrados 21 eventos, no verão os eventos foram iguais ao número de Clevelândia, com 11 ocorrências de vendavais.

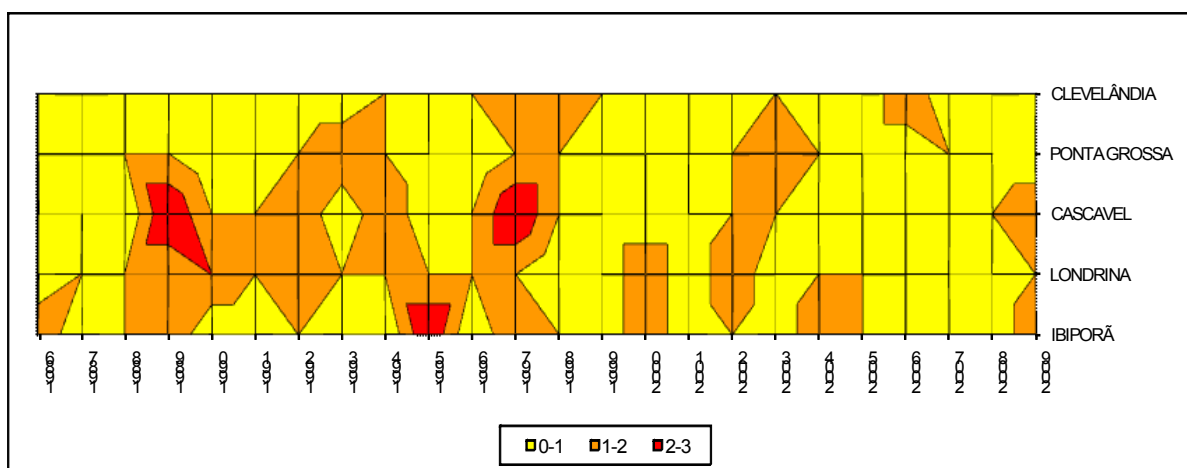
Figura 60 - Número de ocorrências de eventos extremos de vento, nas estações do ano para os municípios de Ibiporã, Cascavel, Ponta Grossa, Clevelândia e Londrina no período de 1986 a 2009.



Confirmada a primavera como o período do ano em que os municípios estão mais vulneráveis aos vendavais, tornou-se necessária a identificação dos anos de maior ocorrência a fim de verificar a gênese desses eventos, subsidiados na análise da dinâmica atmosférica regional (figura 61).

Desta forma, 1997 foi o ano que apresentou a maior frequência de vendavais, com 09 ocorrências na primavera. Em seguida se destacaram os anos de 1989, com 7 eventos e os anos de 1992 e 2009, totalizando 6 eventos para cada ano. Já os anos de 1987, 1999 e 2008 não ultrapassaram os dados de uma ocorrência.

Figura 61 - Painel têmporo espacial indicando os anos de maior ocorrência de vendavais na primavera, de acordo com a série histórica do IAPAR (1986 - 2009), nos municípios de Ibiporã, Cascavel, Ponta Grossa, Clevelândia e Londrina.



4.6 ANÁLISE EPISÓDICA DOS VENTOS FORTES

Após a análise dos parâmetros e aspectos dos dados anuais, mensais e diários do período de 1976 a 2009, baseados nas médias históricas, foi realizada a análise episódica dos ventos fortes, encontrados na primavera de 1989, 1992, 1997 e 2009 nos municípios de Londrina, Ibiporã, Cascavel, Clevelândia e Ponta Grossa, buscando, desta forma, a explicação genética dos ventos extremos, materializada através da aplicação da análise rítmica.

4.6.1 Episódio: Novembro de 1989

Novembro de 1989 caracterizou-se por períodos secos e dias com precipitação intensa, como por exemplo em Londrina que registrou uma chuva de 61,3mm em um único dia com elevadas amplitudes térmicas, o que é normal para a primavera, como mostram as figuras 64 a 68.

Os ventos tiveram direção predominante de nordeste em Londrina e Ibiporã, norte em Cascavel e Sul em Clevelândia e Ponta Grossa na maioria dos dias.

O primeiro e o terceiro decêndio do mês apresentaram dias com maior variabilidade atmosférica, com destaque para o episódio do dia 25 quando o vento superou a velocidade extrema em todos os municípios analisados.

Segundo o Boletim Climanálise (1989), neste mês atuaram sobre o Brasil cinco sistemas frontais, valor abaixo da média que, para novembro, é de sete.

O início do mês esteve sob a atuação da passagem de um sistema frontal, aumentando a velocidade dos ventos no Paraná. No dia 3 as rajadas foram de 17ms^{-1} em Londrina e de direção norte, 18ms^{-1} e também de direção norte em Ibiporã, e $22,5\text{ms}^{-1}$ em Cascavel com direção oeste, sendo que neste último município também foi registrada precipitação de 20mm. Em Clevelândia os ventos chegaram a $26,6\text{ms}^{-1}$ com direção oeste, valor considerado acima do extremo para este local; e Ponta Grossa registrou ventos de 15ms^{-1} de direção noroeste, sendo que no dia 4 ainda havia a participação deste sistema por um período de 12 horas que, posteriormente, foi substituído pela massa polar atlântica que permaneceu até o dia 7 com a configuração de dias com ventos fracos, temperaturas mais amenas e tempo seco.

Do dia 8 até meados do dia 13 houve a entrada da MEc que gerou um aumento das temperaturas, com o incremento da umidade devido a ocorrência de precipitação em todos os municípios, com destaque para Londrina com a precipitação de 61,3mm no dia 12, porém com ventos fracos, não ultrapassando 12ms^{-1} .

Devido a atuação da MPa os dias seguintes do segundo decêndio do mês apresentaram temperaturas mais amenas, tempo seco e os ventos foram de fraca intensidade.

Nos dias 22 a 23 atuou a MTa, ocasionando aumento da umidade do ar no estado. Dia 24 a MTc passa a dominar o tempo no estado e observa-se que há um aumento das temperaturas e da velocidade das rajadas.

Destaca-se o dia 25 como um episódio de ventos extremos para todos os municípios analisados em virtude da entrada de um sistema frontal (figura 62) que produziu uma posterior diminuição das temperaturas, precipitações em todos os municípios e as velocidades do vento foram extremas, registrando 23ms^{-1} e de direção sudoeste em Londrina e 29ms^{-1} em Ibiporã, sendo que neste dia a estação meteorológica de Ibiporã não registrou a direção da rajada. Em Cascavel foi computada a maior rajada ($30,6\text{ms}^{-1}$), valor que, devido a sua magnitude, pode ocasionar muitos prejuízos à população; porém não há registros de ocorrências pela Defesa Civil para esta data, indicando que o vendaval pode ter tido maior repercussão nas áreas rurais.

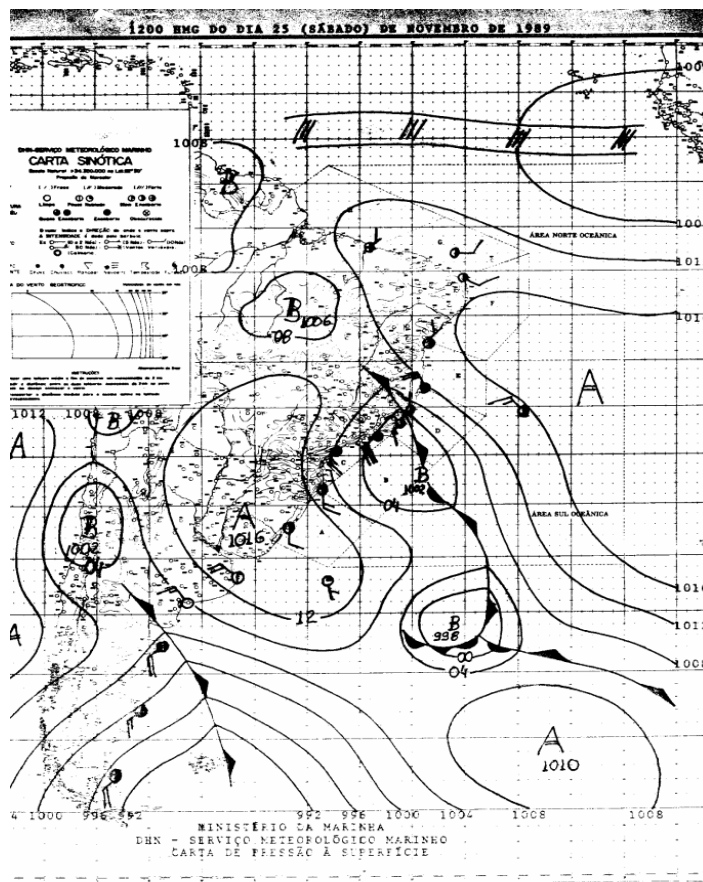
Em Clevelândia os ventos chegaram a $23,2\text{ms}^{-1}$ com direção sudoeste e $20,3\text{ms}^{-1}$ em Ponta Grossa com direção nordeste. No dia 26, com a entrada da massa tropical continental, as chuvas cessaram e as velocidades das rajadas diminuíram.

Até o fim do mês, com a entrada de mais um sistema frontal, as precipitações elevaram e as velocidades das rajadas apresentaram um aumento, com destaque para Londrina que, no dia 29, apresentou novamente um valor extremo com rajadas de 23ms^{-1} .

As massas que mais atuaram nesse mês foram: massa polar atlântica (40%), seguida da massa equatorial continental (27%); massa tropical atlântica (15%) e a massa tropical continental (6%), além da ocorrência de sistemas frontais (12%) que se caracterizam pelo contato entre duas massas de ar de características diferentes de tal maneira que a massa que avança com maior força

faz retroceder a outra, provocando mudanças no estado do tempo e se configurando como os principais responsáveis pelos episódios de vendavais (figura 63).

Figura 62 - Episódio do dia 25/11/1989, com a passagem de um sistema frontal no Paraná (12 GMT)



Fonte: Serviço Meteorológico Marinho.

Figura 63 - Sistemas atmosféricos atuantes no Paraná durante o mês de novembro de 1989.

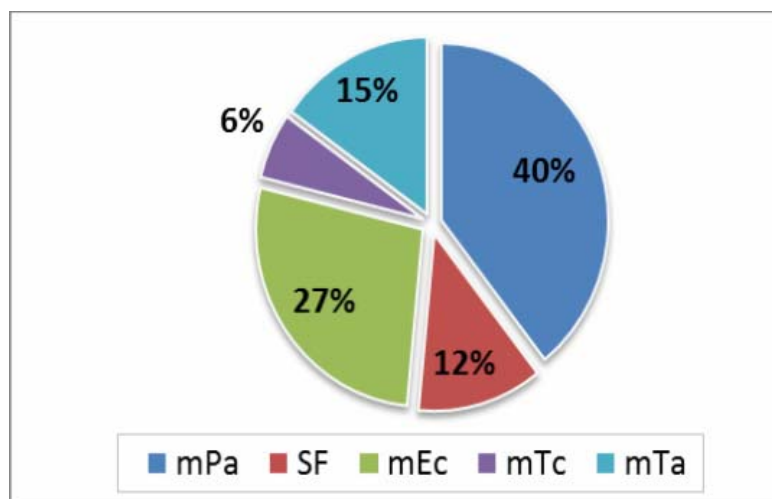


Figura 64 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Londrina, no mês de novembro de 1989.

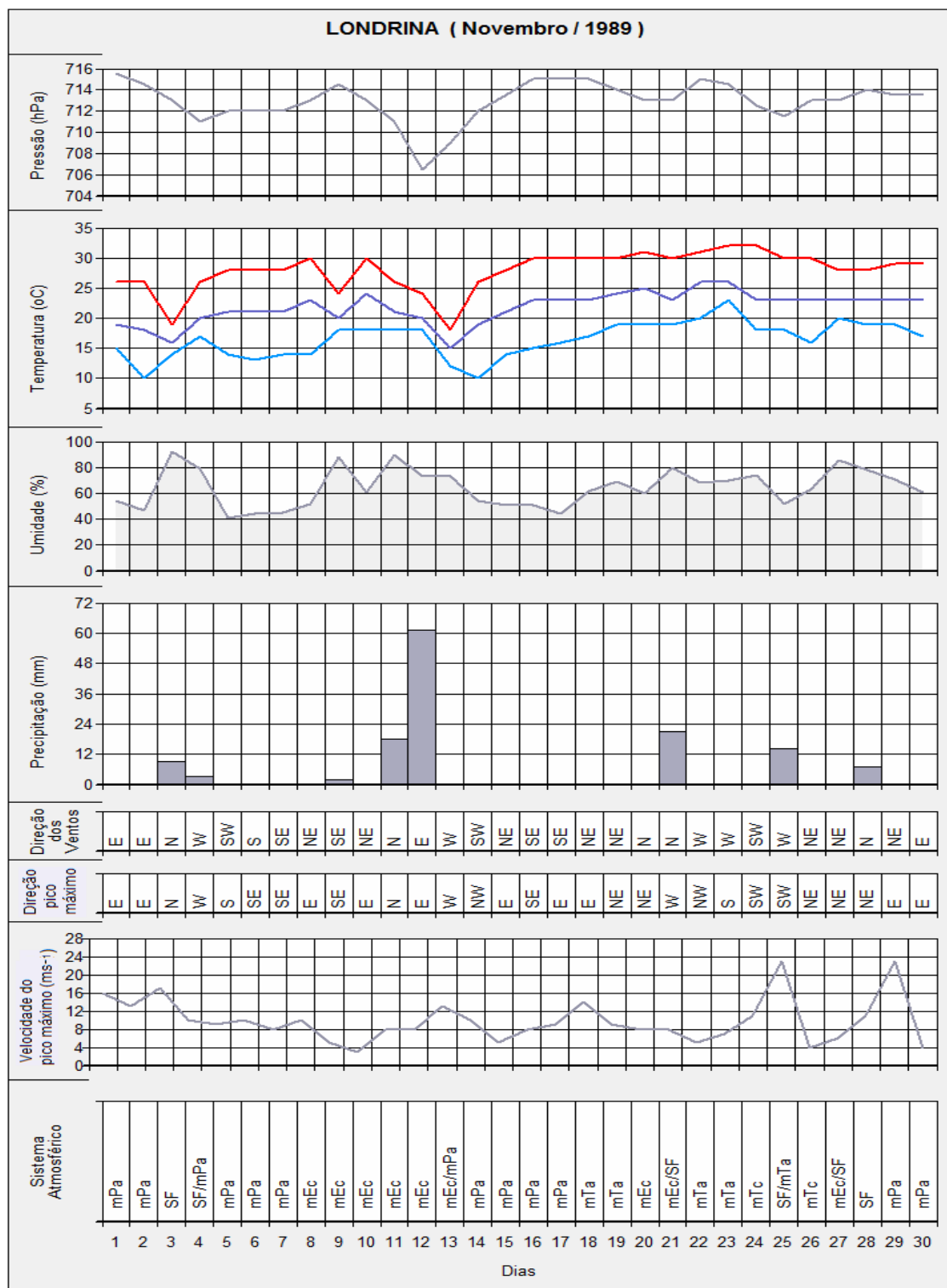


Figura 65 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Ibioporã, no mês de novembro de 1989.

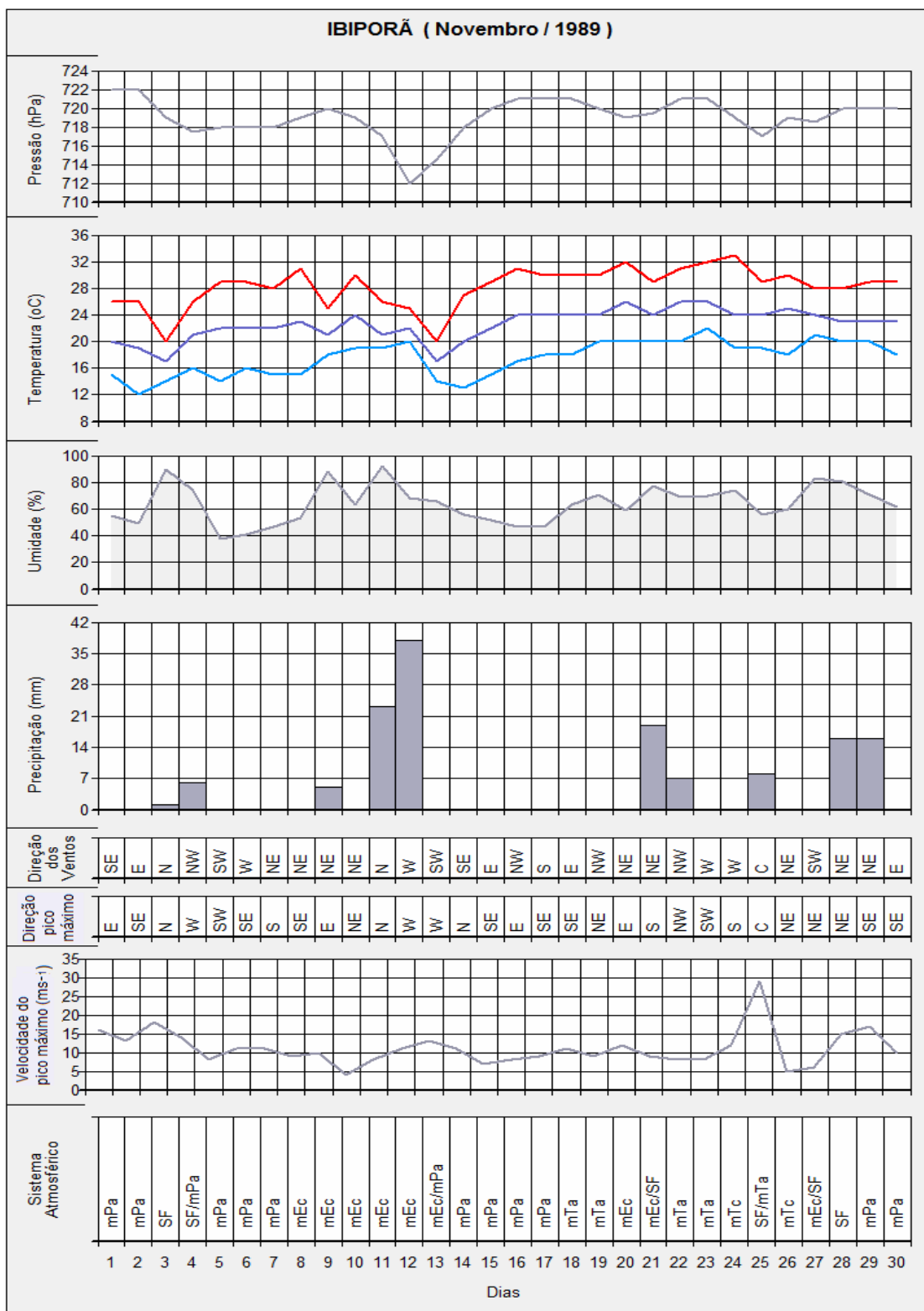


Figura 66 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Cascavel, no mês de novembro de 1989.

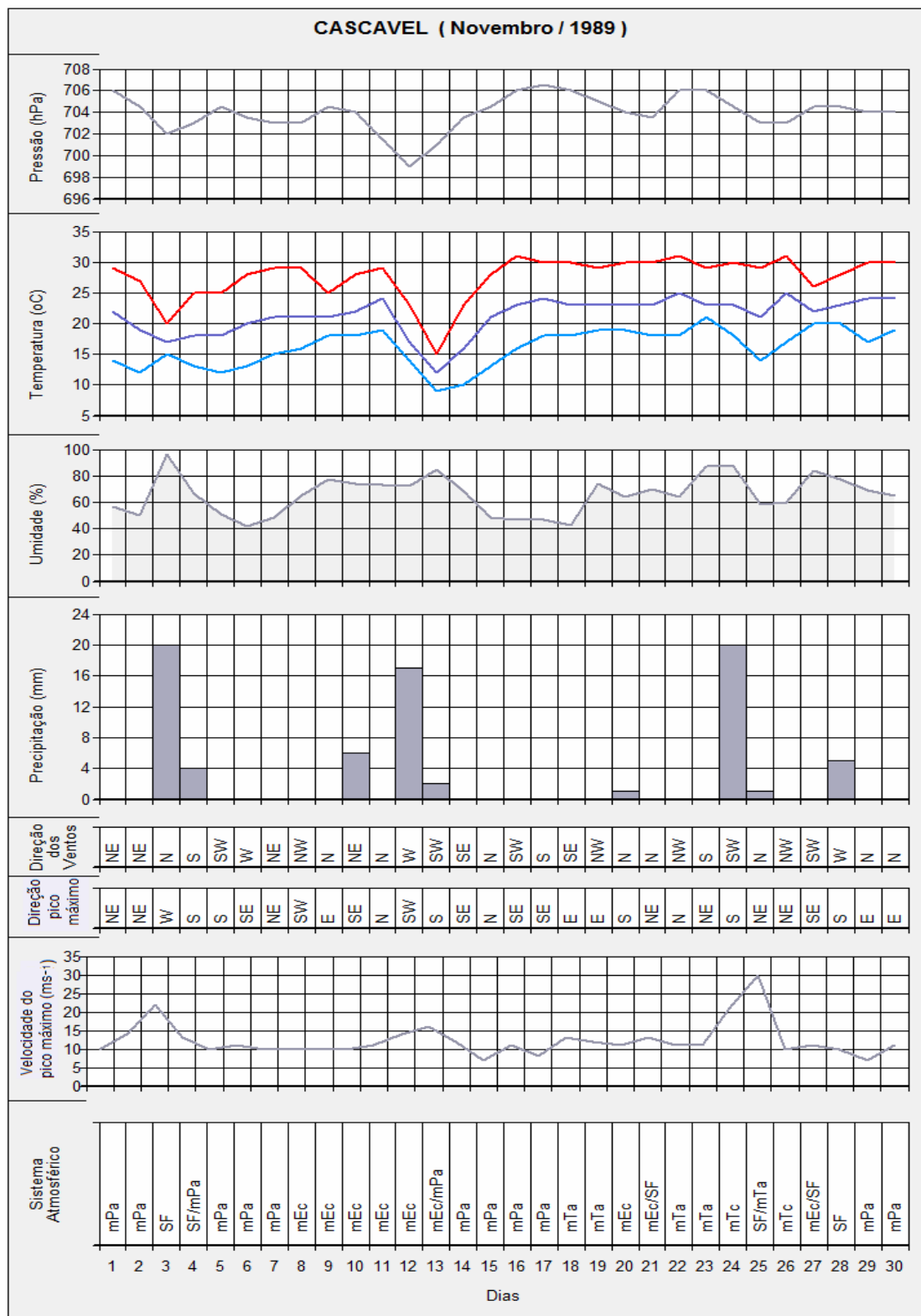


Figura 67 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Clevelândia, no mês de novembro de 1989.

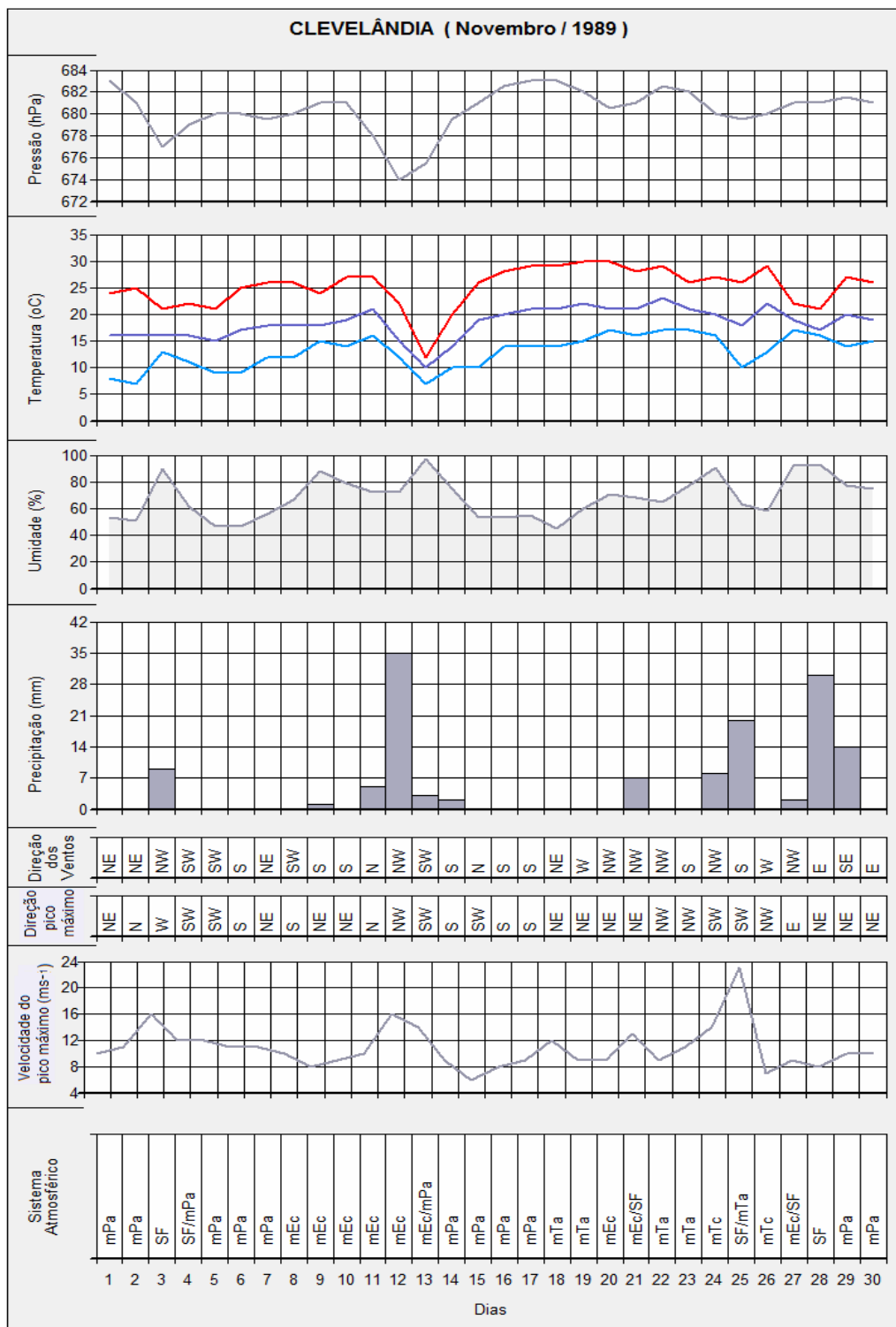
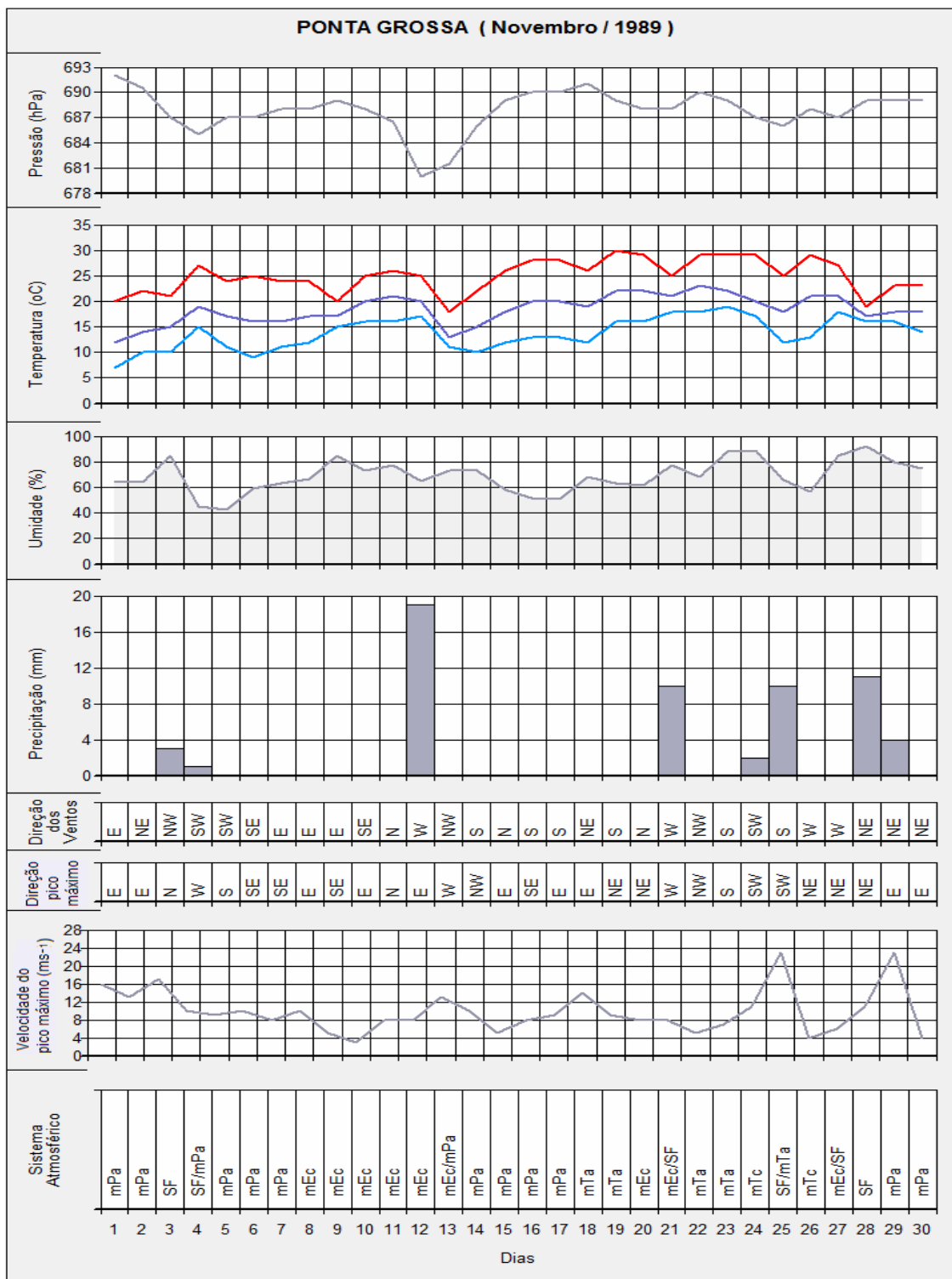


Figura 68 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Ponta Grossa, no mês de novembro de 1989.



4.6.2 Episódio: Novembro de 1992

Novembro de 1992 apresentou temperaturas máximas elevadas em todos os municípios estudados e, assim como o mês analisado anteriormente, apresentou muitos dias secos intercalados com dias com altas precipitações, fazendo com que os municípios de Cascavel e Londrina superassem a média histórica do mês.

Os ventos tiveram direção predominante de leste em Londrina, sudeste em Ibiporã, norte em Cascavel e Clevelândia e sul em Ponta Grossa. Durante o período foi registrada a passagem de cinco sistemas frontais, ocasionando dias com ventos fortes (figuras 71 a 75).

No primeiro dia do mês houve a atuação da mTa e a partir do 2º dia a mEc atuou, permanecendo até parte do dia 3, elevando as temperaturas. No dia 3 é registrado o episódio de ventos fortes originado pela entrada de um sistema frontal no estado, e devido a sua trajetória atinge primeiro o município de Cascavel, ocasionando elevado índice de 47,2 mm de precipitação com velocidade do vento de $26,1\text{ms}^{-1}$ e direção sul (figura 69). Esse sistema frontal se deslocou para o norte, ocasionando quedas nas temperaturas no dia 4 em virtude da maior nebulosidade e precipitações com ventos fortes que atingiram os municípios estudados ($23,6\text{ms}^{-1}$ e 68mm de chuva em Clevelândia; em Cascavel os valores foram menores que o dia anterior: 21ms^{-1} e 27,8 mm). Com o afastamento do sistema, Ibiporã registrou ventos com velocidade de $23,3\text{ms}^{-1}$ e 15,4 mm de precipitação; $21,9\text{ms}^{-1}$ e 12,3 mm em Londrina e $18,8\text{ms}^{-1}$ e 18mm em Ponta Grossa, sendo que este último município foi o único em que o episódio não alcançou a velocidade extrema. A direção da rajada do vento para os locais estudados variou entre SW e S durante esse episódio, demonstrando a influência da passagem da frente.

Segundo o Boletim Climanálise (1992, p. 21) “este primeiro sistema frontal do mês de novembro atingiu a região Sul, avançando pelo interior até Cuiabá – MT e Bom Jesus da Lapa – BA, onde se enfraqueceu no dia 7, deslocando-se em seguida para o Oceano”.

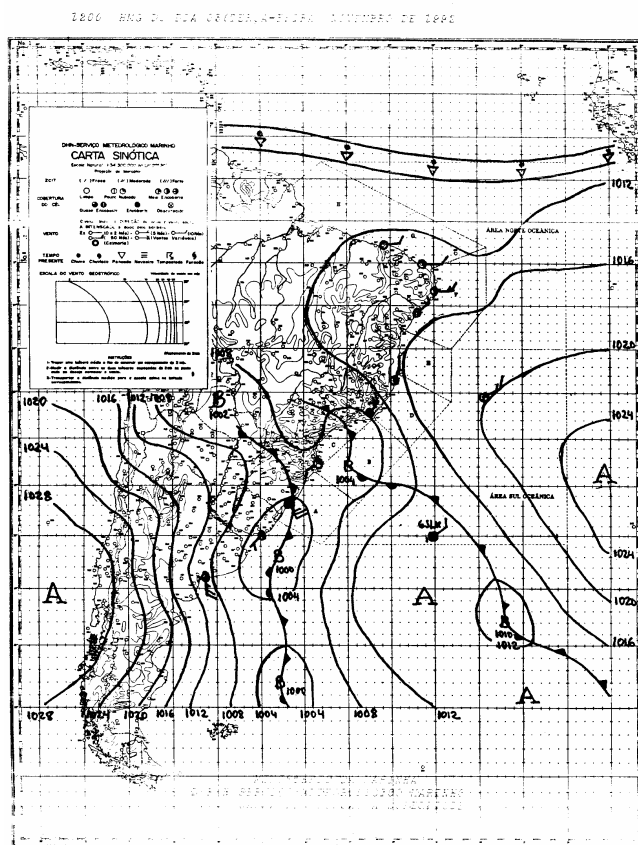
Para este episódio não foram encontrados registros de prejuízos nos dados da Defesa Civil.

Durante o mês houve a passagem de mais quatro sistemas frontais e observou-se que, além de serem os principais agentes causadores dos aumentos

significativos na velocidade dos ventos, estes não interferiram uniformemente em todos os municípios estudados, podendo afetar algumas regiões do estado e outras não, como por exemplo, o evento ocorrido entre os dias 25 e 27.

No dia 25 até meados do dia 26 a mEc estava atuando nas regiões sul e oeste do estado, e um sistema frontal vindo da região do Paraguai se deslocou, provocando aumento nas velocidades dos ventos em Cascavel ($19,5\text{ms}^{-1}$) e Clevelândia (18ms^{-1}). A partir do dia 27 o sistema frontal avança em direção ao norte do estado, provocando aumento da velocidade do vento em Ibirorã (19ms^{-1}) e Londrina (18ms^{-1}). Além disso, neste dia foram registradas altas precipitações (142 mm) em Londrina, o que pode ser considerado uma adversidade climática e causar muitos prejuízos. Nesse mesmo dia um sistema frontal avança em direção ao oceano e uma mPa passa a atuar no estado. A síntese da participação dos sistemas atmosféricos durante o mês se deu da seguinte forma: Massa Polar Atlântica (41%), Massa Equatorial Continental (32%), Sistema frontal (15%), Massa Tropical Continental (6%) e Massa Tropical Atlântica (6%), conforme a figura 70.

Figura 69 - Dia 03/11/1992, com um Sistema frontal atuando no Paraná (12 GMT).



Fonte: Serviço Meteorológico Marinho.

Figura 70 - Sistemas atmosféricos atuantes no Paraná durante o mês de novembro de 1992.

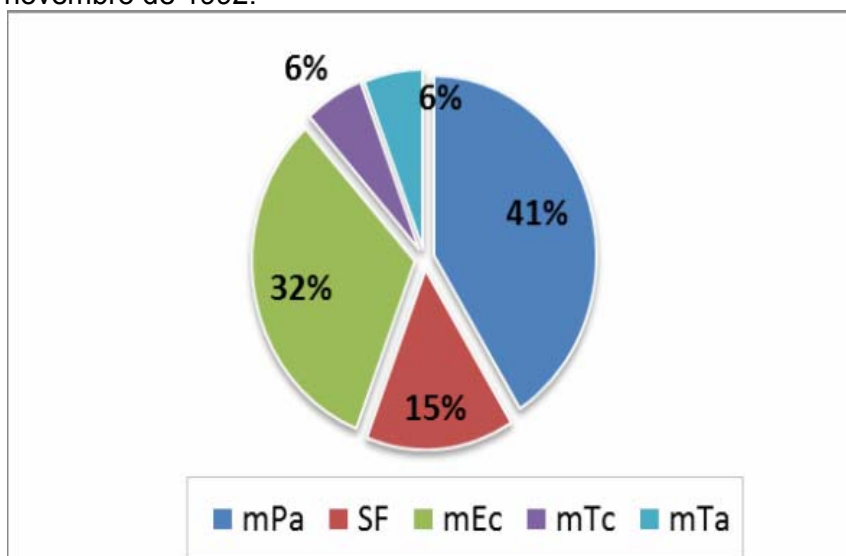


Figura 71 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Londrina, no mês de novembro de 1992.

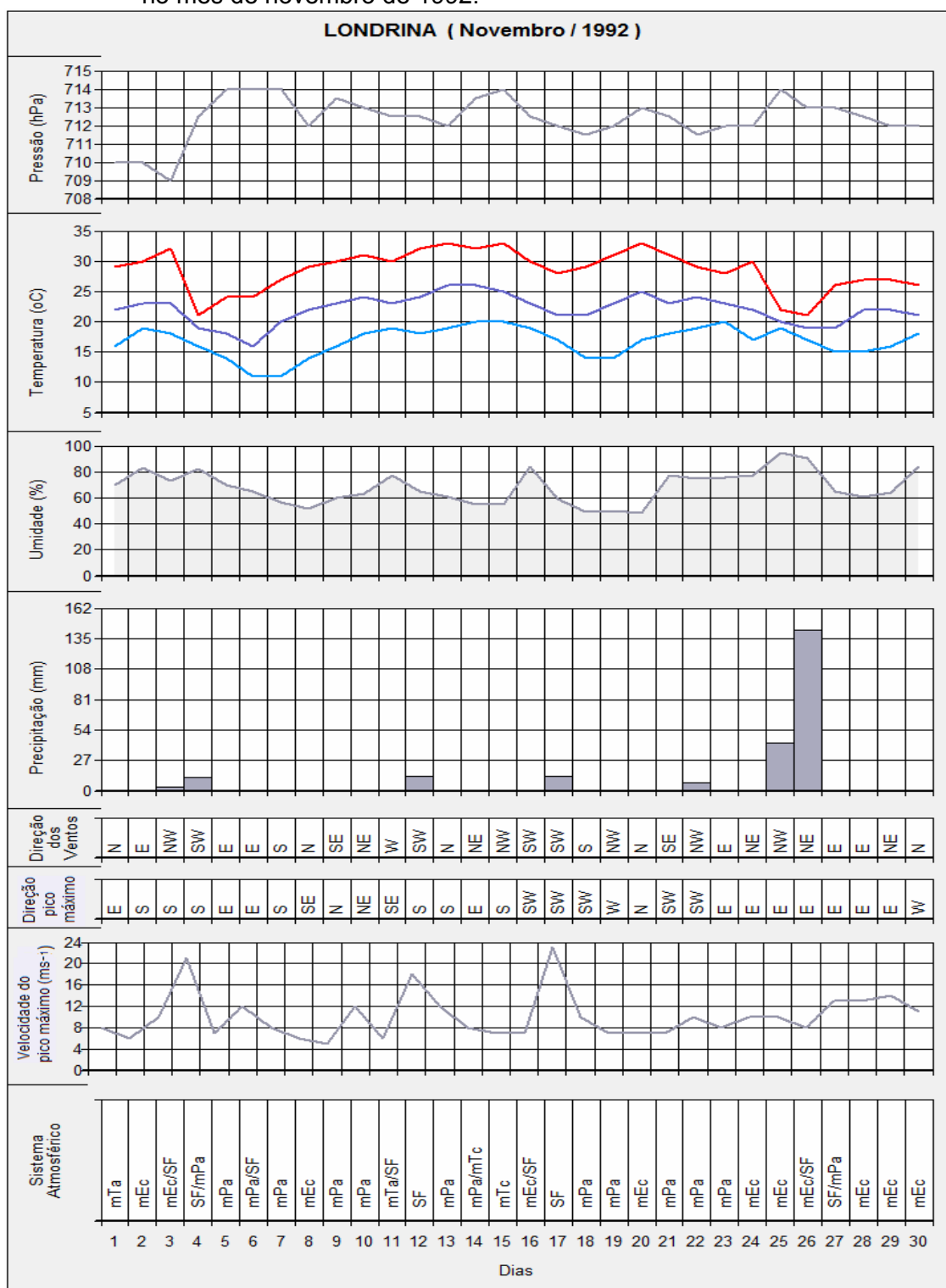


Figura 72 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Ibiporã, no mês de novembro de 1992.

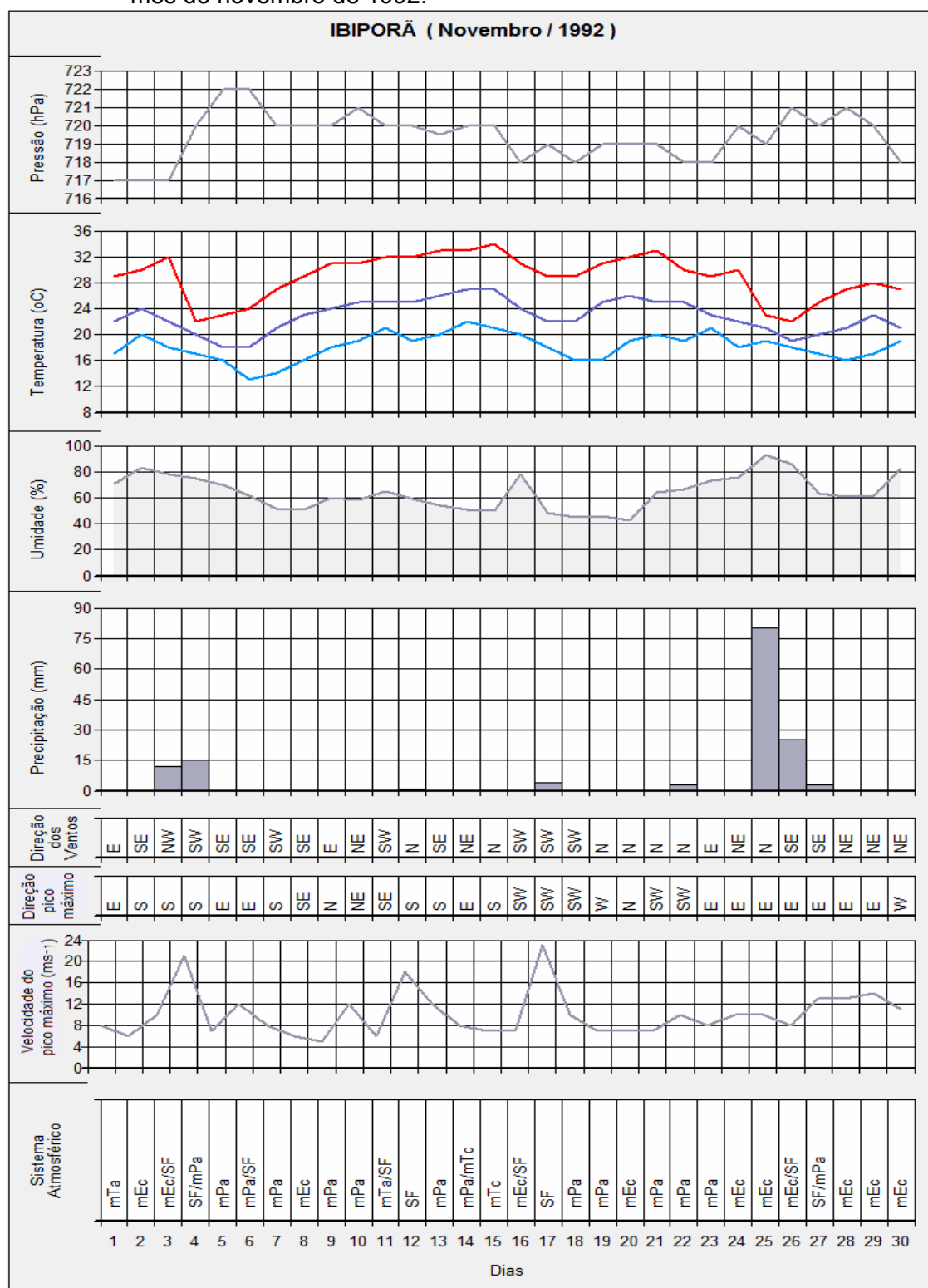


Figura 73 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Cascavel, no mês de novembro de 1992.

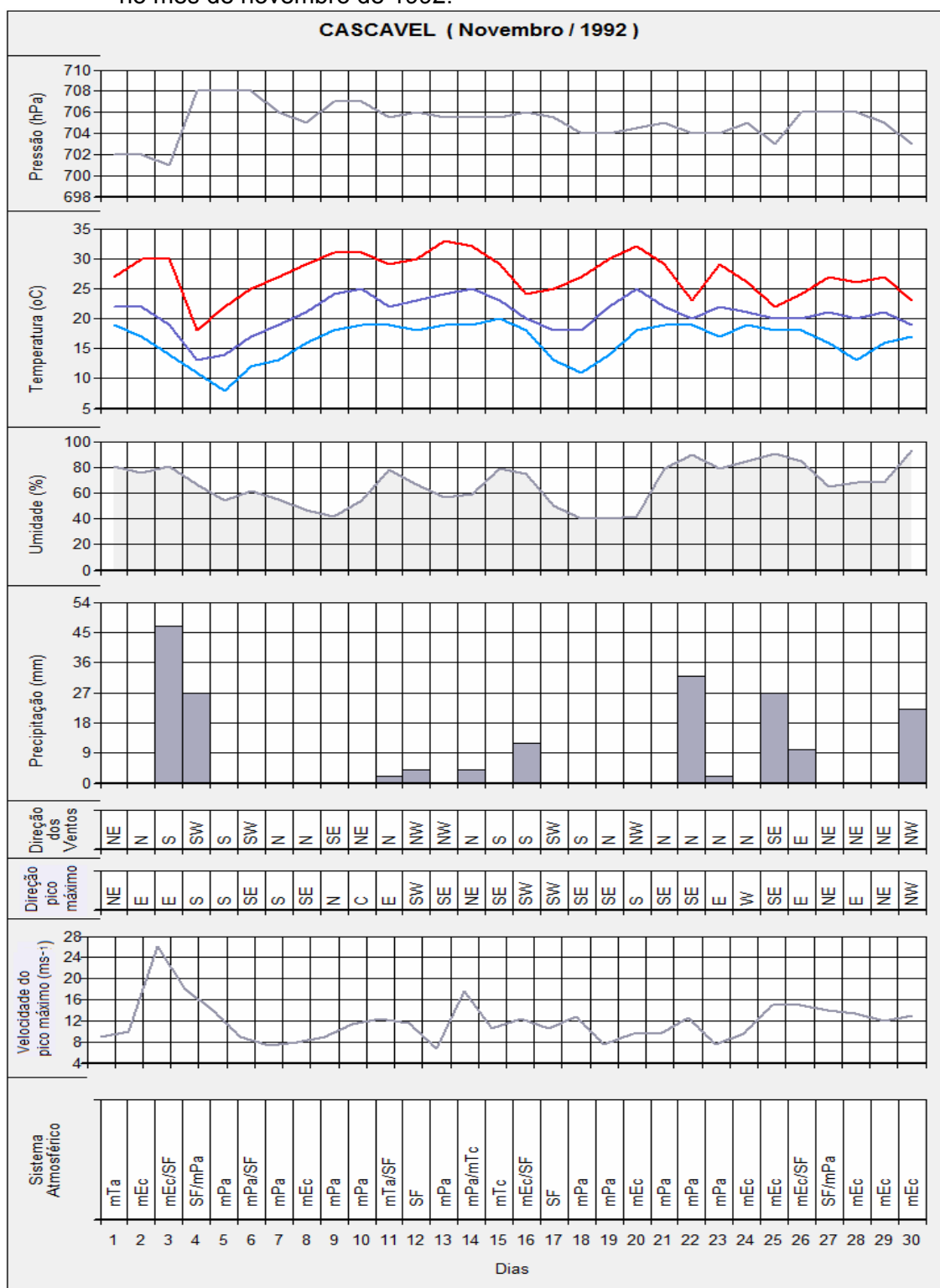


Figura 74 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Clevelândia, no mês de novembro de 1992.

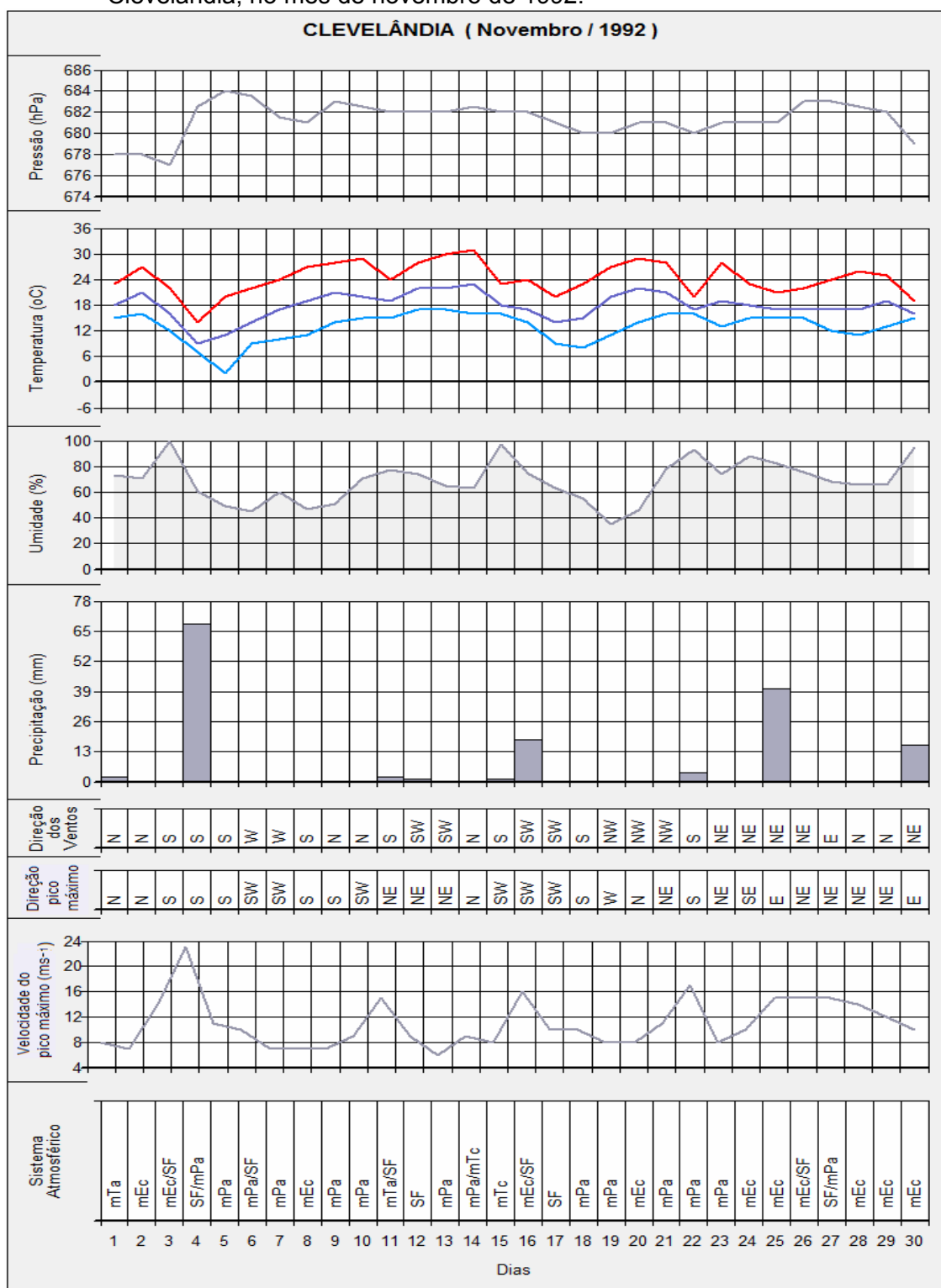
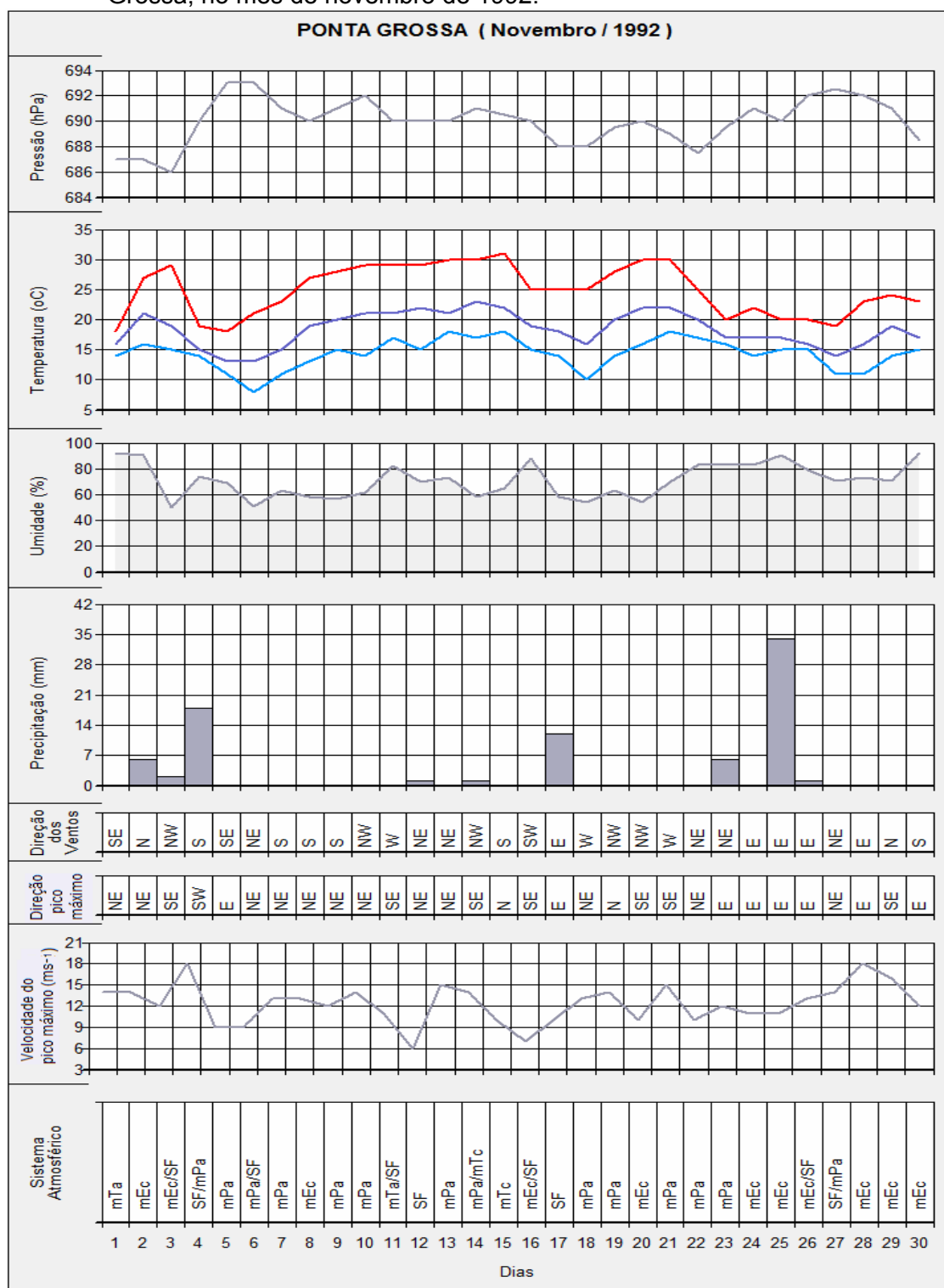


Figura 75 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Ponta Grossa, no mês de novembro de 1992.



4.6.3 Episódio: Outubro de 1997

Conforme os dados publicados no Boletim Climanálise (1997), foi observado sobre a América do Sul a presença de jatos de baixos níveis e a convecção esteve acima da média no sul do Brasil durante o mês de outubro de 1997.

As temperaturas médias ficaram acima dos 20°C em quase todos os dias, exceto em Ponta Grossa e Clevelândia que apresentaram dias com temperaturas mais amenas.

Os dados de precipitação mostraram que em todos os municípios elas ficaram acima da média histórica para o mês de outubro, tendo sua origem vinculada, principalmente, à ação dos sistemas frontais e, também, com importante participação das instabilidades regionais devido às temperaturas altas do período e da alta umidade relativa, com destaque para Clevelândia que apresentou um total pluviométrico de 449,9 mm. Sobre o Paraná, os valores de precipitações registrados foram de 150 mm no noroeste e até 500 mm no extremo sul. No litoral ocorreram valores superiores a 400 mm (CLIMANÁLISE, 1997).

Com relação aos ventos fortes, estes atingiram valores extremos principalmente nos dias 5, 10 e 16 com a atuação de 3 frentes frias. Neste mês foram registrados seis dias sob atuação de sistemas frontais no Paraná e segundo o Boletim Climanálise (1997), estes foram intensificados devido à presença de cavados invertidos, áreas de baixas pressões, aglomerados convectivos e jato em baixos níveis.

A direção predominante do vento foi de leste em Londrina e Cascavel, sudeste em Ibiporã e nordeste em Cascavel e Clevelândia, como apresentado nas figuras 78 a 82.

O mês iniciou com chuvas em todos os municípios estudados, porém nos dias 3 e 4 a atuação da mPa provocou a diminuição nos valores de umidade e temperatura.

No dia 5 ocorreu o primeiro evento de rajadas fortes do mês, originado pela entrada de um sistema frontal (figura 76) que permaneceu até o dia 6, aumentando a umidade, a precipitação e a velocidade do vento.

De acordo com o Boletim Climanálise (1997), no dia 5 foram observadas áreas de baixas pressões com centros localizados na Argentina e no sul

do Uruguai. Foi observado um jato em 850 hPa, com ventos do quadrante norte/nordeste no oeste da Região Sul que organizou convecção na Região Centro-Oeste. O sistema frontal deslocou-se meridionalmente para leste, afetando o interior da Região Sul e o sul do Mato Grosso do Sul e deslocou-se pelo litoral até o norte de São Paulo. Durante a sua trajetória causou chuvas em quase toda a Região Sul.

Neste evento foi registrado vento de 15ms^{-1} em Londrina e Ibiporã com direção sudeste da rajada ($21,7\text{ms}^{-1}$ e $23,2\text{ms}^{-1}$ respectivamente), mas não se configurando como eventos extremos. Em Clevelândia a velocidade foi significativa, alcançando 25ms^{-1} de direção sudeste; em Ponta Grossa foi de $23,2\text{ms}^{-1}$ com direção leste e precipitações de 51,4 mm em 24 horas. Em Cascavel, cujo valor do vento foi de $23,1\text{ms}^{-1}$, houve registro de ocorrência de prejuízos pela Defesa Civil que computou 45 casas danificadas e 211 pessoas afetadas pelo vendaval.

No dia 7 a mEc passa a atuar no estado com a diminuição das velocidades do vento e da precipitação.

Nos dias 8 e 9 a mTa passa a agir e foi verificado um aumento das rajadas de vento, da umidade do ar e das temperaturas.

O dia 10 se destaca na presente análise, pois somente um município não registrou ventos com velocidade extrema. Ocorre a entrada de um sistema frontal ocasionando rajadas de vento. No norte do Estado foram registrados valores de $21,8\text{ms}^{-1}$ com direção sudeste em Londrina e 23ms^{-1} com direção sudoeste em Ibiporã. Nos municípios localizados mais ao sul, Cascavel apresentou o maior valor ($28,3\text{ms}^{-1}$ com direção leste). Em Clevelândia a rajada foi de $22,3\text{ms}^{-1}$ com direção norte, valor bem próximo do considerado extremo para esse município que é de $23,2\text{ms}^{-1}$. Esse município também registrou 49,7 mm de precipitação e no dia 11 mais 64,4 mm, pois o sistema frontal ainda atuava na área. Em Ponta Grossa a velocidade das rajadas alcançou $21,9\text{ms}^{-1}$ com direção leste.

Conforme os dados do Boletim Climanálise (1997), no dia 10 foram observadas áreas de baixa pressão em superfície no Paraguai e norte da Argentina e um jato em 850hpa, com escoamento do ar que favoreceu a formação de aglomerados convectivos no oeste da Região Sul, causando chuvas e ventos intensos. Destaca-se que quase todos os municípios ora estudados registraram ventos extremos, mas em Clevelândia não foram encontrados registros de ocorrência nos dados da Defesa Civil.

No dia 11 a mEc passa a atuar no estado e nos dias 12 e 13 há o predomínio da mTc, diminuindo a umidade do ar, a velocidade dos ventos e a precipitação.

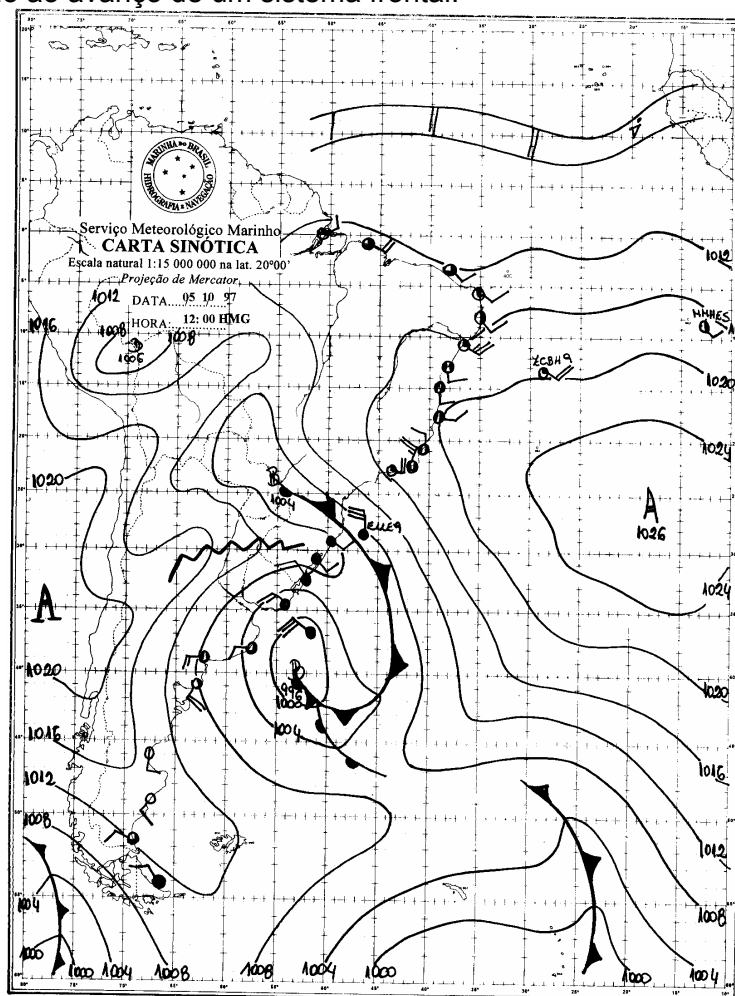
No dia 16 ocorreu outra entrada de um sistema frontal que provocou a ocorrência de precipitação em todos os municípios. Neste dia as rajadas foram fortes mais ao sul do estado, registrando $19,2\text{ms}^{-1}$ em Cascavel, $23,6\text{ms}^{-1}$ em Clevelândia e 25ms^{-1} em Ponta Grossa. Já os municípios localizados no norte do estado apresentaram velocidades baixas dos ventos (12ms^{-1} em Londrina e $9,7\text{ms}^{-1}$ em Ibiporã).

Entre os dias 17 e 19 houve a atuação da mPa que provocou a diminuição das temperaturas, das velocidades dos ventos e da precipitação.

No terceiro decêndio ainda havia muita instabilidade atmosférica, porém as velocidades das rajadas diminuíram, exceto em Londrina e Ibiporã que, no último dia do mês, registraram ventos fortes que atingiram 20ms^{-1} e $21,2\text{ms}^{-1}$ respectivamente, devido a uma instabilidade formada pelas altas temperaturas do fim do mês aliada à umidade deixada pela passagem de uma frente fria que se dissipou na região sudeste do Brasil.

Durante o mês a mEc teve a maior atuação (35%), seguida da mPa (23%), dos sistemas frontais (19%), da mTa (13%) e da mTc (10%) (figura 77).

Figura 76 - Carta sinótica do dia 05 de outubro de 1997, no qual foram registrados valores extremos de ventos em quase todos os municípios abordados, devido ao avanço de um sistema frontal.



Fonte: Serviço Meteorológico Marinho.

Figura 77 - Sistemas atmosféricos atuantes no Paraná durante o mês de outubro de 1997.

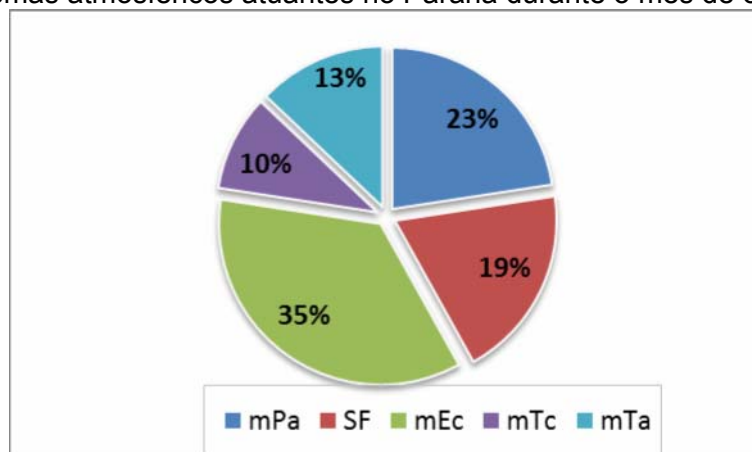


Figura 78 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Londrina, no mês de outubro de 1997.

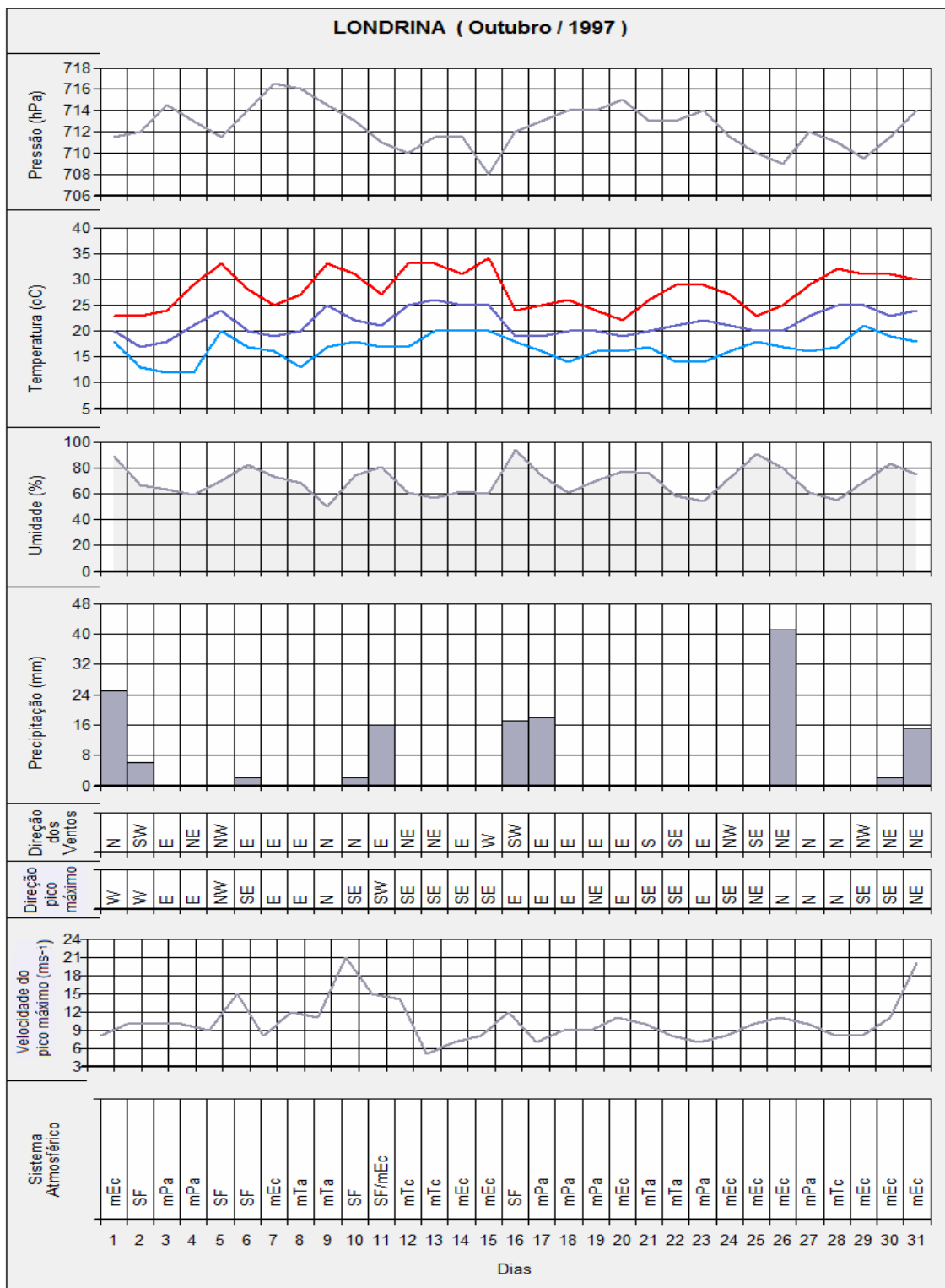


Figura 79 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Ibiborã, no mês de outubro de 1997.

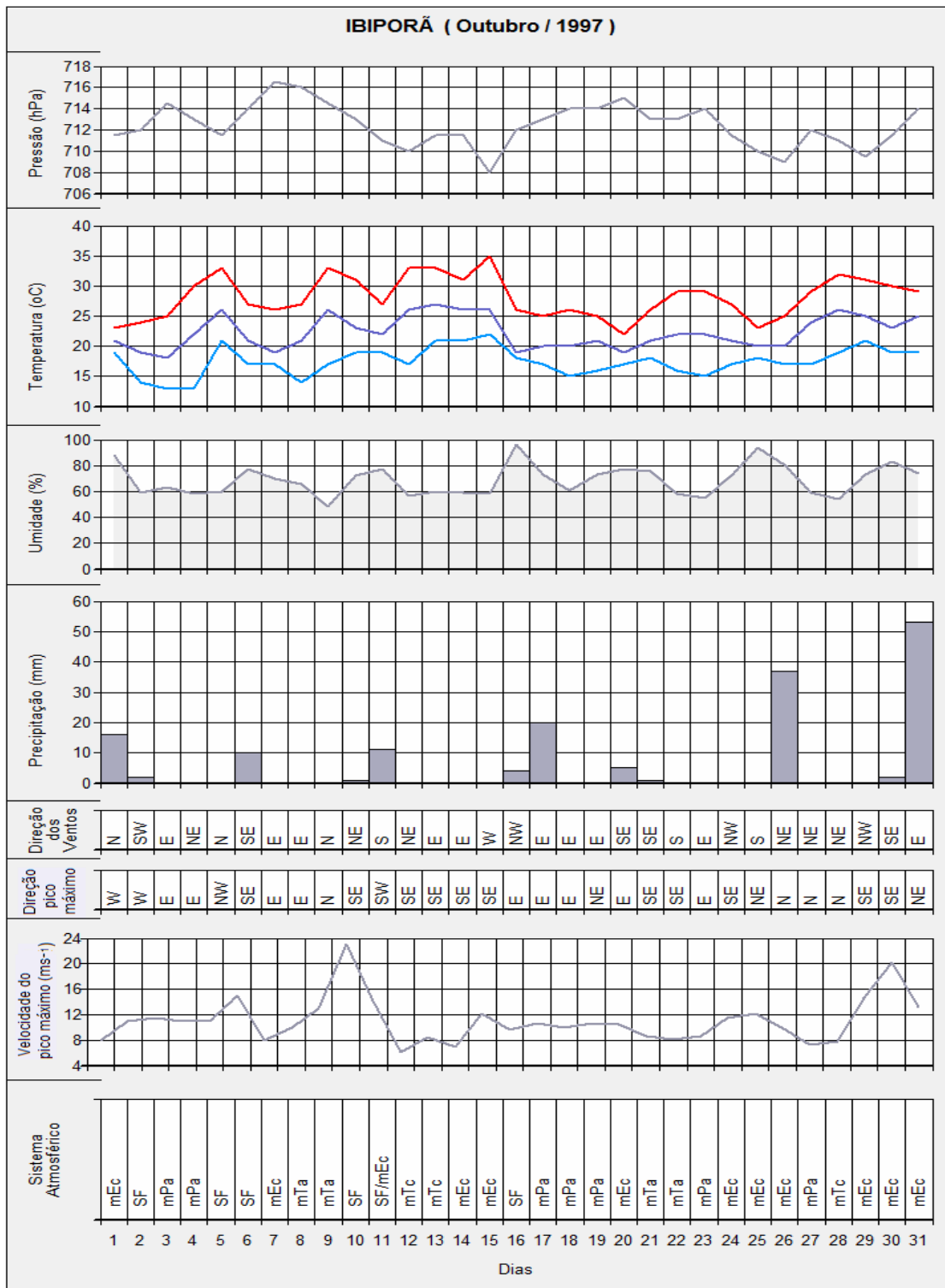


Figura 80 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Cascavel, no mês de outubro de 1997.

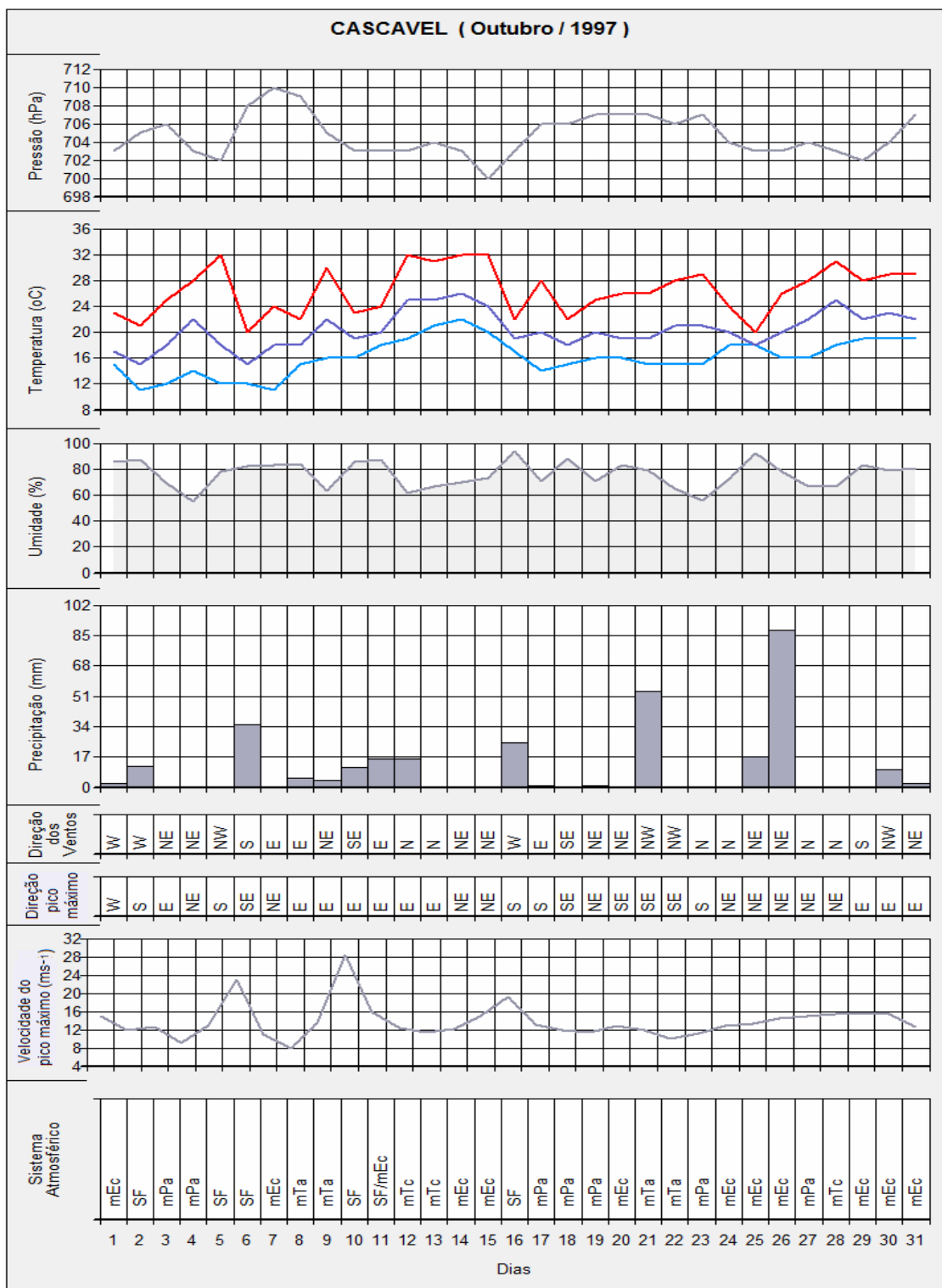


Figura 81 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Clevelândia, no mês de outubro de 1997.

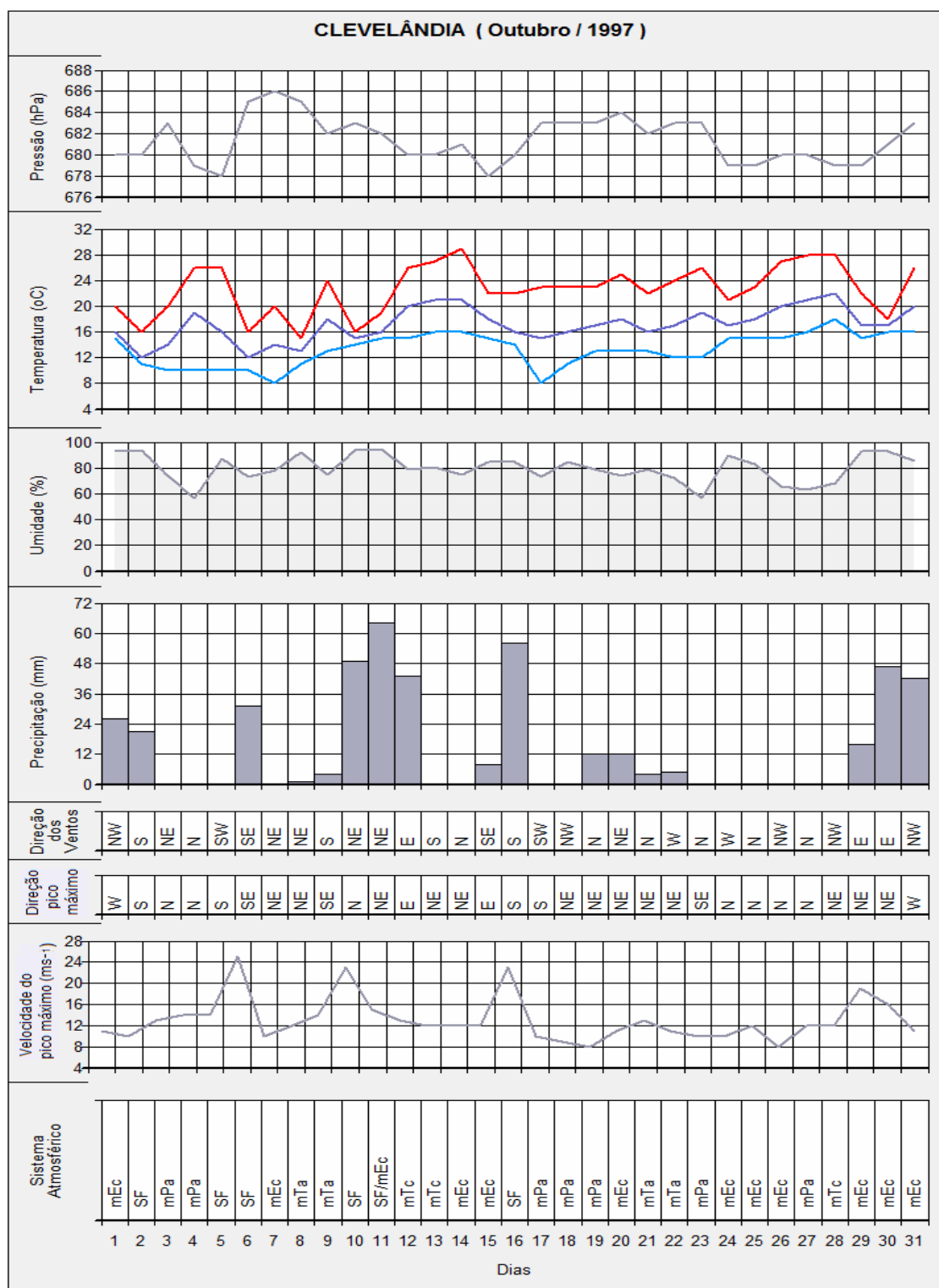
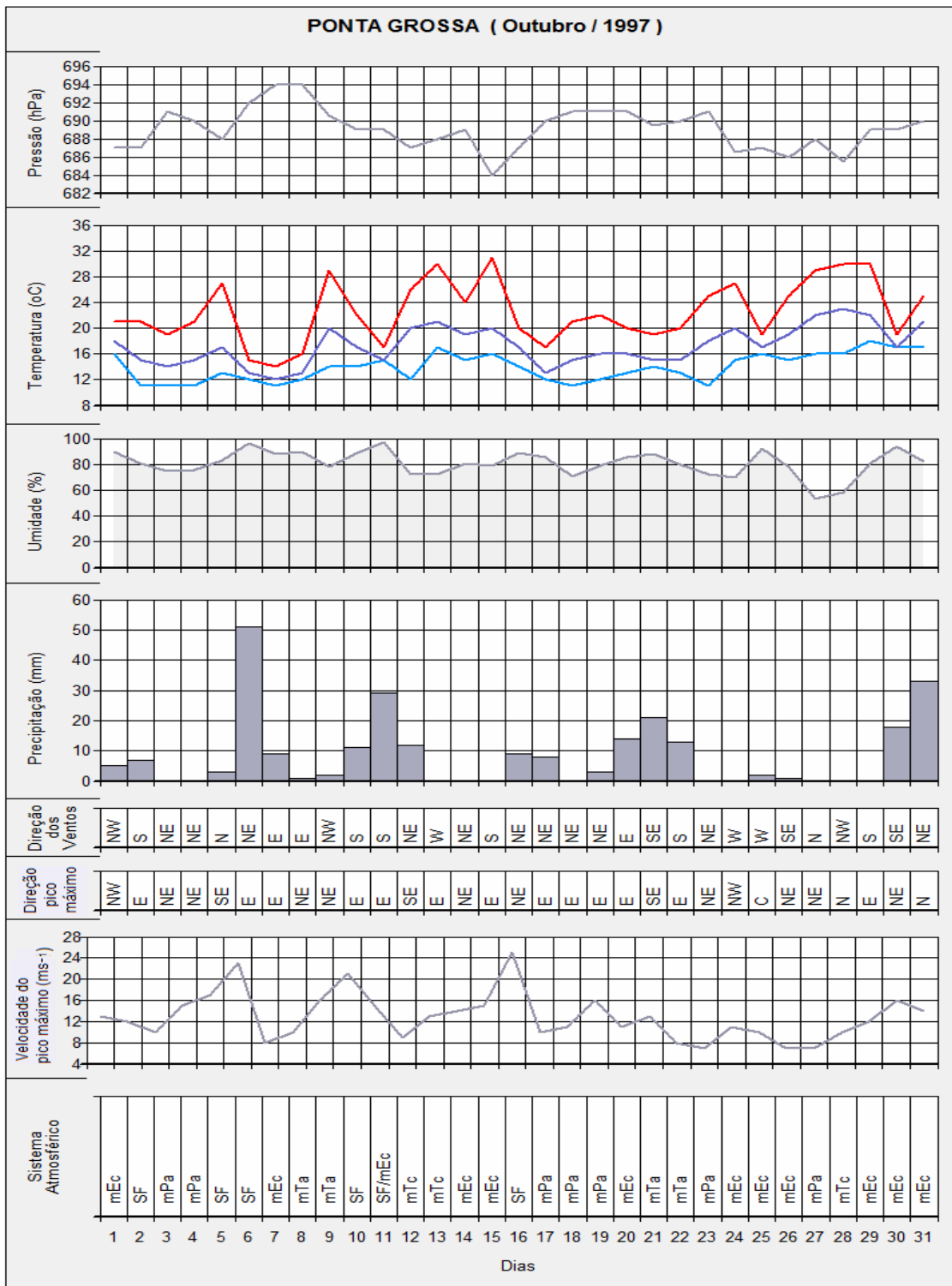


Figura 82 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Ponta Grossa, no mês de outubro de 1997.



4.6.4 Episódio: Outubro de 2009

Em outubro de 2009 foram registradas intensas chuvas e fortes rajadas de vento, além de queda de granizo, com destaque para os dias 15 e 19 quando alguns municípios decretaram estado de emergência, como por exemplo Londrina e Cascavel, que devido ao vendaval, apresentou um elevado número de árvores caídas e casas danificadas.

Este mês apresentou temperaturas altas, com vários dias ultrapassando 30°C e com umidade relativa também elevada.

Os ventos tiveram a direção predominante de leste em Londrina, Ibiporã e Ponta Grossa. Em Clevelândia e Cascavel eles foram de nordeste (figuras 86 a 90).

Neste mês as 5 localidades estudadas apresentaram chuvas com altos volumes, sendo superiores à média histórica em Londrina, Ibiporã, Clevelândia e Cascavel totalizando 396,3mm, 354,1mm, 288,8mm e 350,2mm, respectivamente. Já em Ponta Grossa a precipitação não ultrapassou a média histórica (147 mm).

Segundo os dados do Boletim Climanálise (2009), durante esse mês as chuvas estiveram associadas ao avanço de sistemas frontais e à atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), principalmente durante a segunda quinzena. As incursões dos sistemas frontais na Região Sul do Brasil contribuíram para os temporais ocorridos, com ventos que excederam 100 km/h em algumas localidades.

O início do mês teve a atuação de um sistema frontal nos dias 6 e 7, gerando altas precipitações e fortes ventos. No dia 6 em Cascavel foram registrados ventos de $16,7\text{ms}^{-1}$, enquanto que nos municípios situados no norte do estado os ventos mais fortes foram registrados no dia seguinte: Londrina apresentou ventos de $14,4\text{ms}^{-1}$ e Ibiporã com $16,4\text{ms}^{-1}$ e em ambos os municípios as direções dos ventos foram de sudoeste.

De acordo com o Boletim Climanálise (2009), durante a trajetória deste sistema frontal ocorreram chuvas intensas e temporais sobre grande parte de Santa Catarina, Paraná, sul do Mato Grosso do Sul, São Paulo e em parte do Rio de Janeiro. Esse sistema também deu origem ao primeiro episódio de ZCAS do mês.

A massa Polar Atlântica atuou até meados do dia 10 ocasionando maior estabilidade atmosférica em todas as localidades. Entretanto, com a chegada

de uma massa tropical continental, as temperaturas começaram a elevar, assim como a velocidade do vento, com registros de direção nordeste e velocidade de $17,1\text{ms}^{-1}$ em Cascavel.

Com a chegada de um sistema frontal no dia 12 que, conforme o Boletim Climanálise (2009), atuou em conjunto com um cavado que se propagava na média troposfera provocando temporais em todo o Paraná. A intensidade dos ventos na cidade de Ibiporã apresentou velocidade de $20,7\text{ms}^{-1}$ com direção sudoeste.

No dia 13 as instabilidades diminuíram devido a presença de uma massa polar, entretanto, Ponta Grossa registrou rajada de $20,2\text{ms}^{-1}$ com ventos vindos de leste.

Os dias 14 e 15 tiveram repercussão significativa, pois todas as áreas estudadas foram atingidas por ventos extremos que ocasionaram grandes prejuízos à população. No dia 14 predominava a massa tropical continental que favoreceu o desenvolvimento de sistemas convectivos de mesoescala (SCM) vindos do Paraguai e adentraram o oeste do Paraná. A temperatura gradativamente se elevou e, associada à alta umidade relativa, munuiu o sistema que atingiu primeiro o município de Cascavel, localizado mais ao sul, com velocidade máxima dos ventos de $22,1\text{ms}^{-1}$ e provocando chuvas de $61,6\text{mm}$ em 24 horas. Nas demais localidades não ocorreu precipitação e os ventos foram de fraca intensidade. No dia 15 a nebulosidade persistiu e ocorreu o deslocamento de um sistema frontal, acompanhado de forte concentração de descargas elétricas e trovoadas (figuras 83 e 84), condições que geraram precipitação de 63mm e rajadas de $23,8\text{ms}^{-1}$ de direção oeste em Londrina, considerado ventania forte segundo a escala de Beaufort. Entretanto, os danos causados no centro urbano de Londrina mostraram que esse valor pode ter sido mais elevado. Em Ibiporã os dados também foram significativos, com rajadas de 33ms^{-1} de direção sudoeste, ou seja, alcançaram mais de 100km/h , condição que pode causar estragos generalizados de acordo com a escala de Beaufort. Em Clevelândia os ventos foram de $23,9\text{ms}^{-1}$ com direção oeste e 17ms^{-1} de direção norte em Ponta Grossa, e Cascavel continuou apresentando precipitação elevada ($36,2\text{mm}$), porém a velocidade da maior rajada não ultrapassou $11,4\text{ms}^{-1}$ com direção leste.

Segundo a Defesa Civil, em Londrina este episódio ocasionou a destruição de 40 casas, 425 foram danificadas e 5.000 pessoas foram afetadas. Em Ibiporã foram 118 casas danificadas e 403 pessoas afetadas, enquanto que em

Cascavel os estragos foram maiores, computando 2.200 casas danificadas e 25.031 pessoas afetadas; nos demais municípios não houve registro de prejuízos.

No dia 16 houve predomínio da massa Polar Atlântica, diminuindo a condição de instabilidade, bem como a temperatura.

Os dias 18 e 19 também se destacam como dias de ocorrência de ventos fortes no estado em virtude da entrada da massa equatorial continental, considerada sistema intertropical responsável pelas elevadas temperaturas do dia alimentada por áreas de instabilidades do Centro-Oeste do Brasil que entraram pelo oeste do estado de São Paulo e atingiram o norte paranaense. No dia 19 os ventos alcançaram 30ms^{-1} em Ibiporã, caracterizados como tempestade severa, houve queda de granizo em algumas partes do município. A mídia também registrou vendaval e tempestade com queda de granizo em Londrina, mas a estação agrometeorológica do IAPAR registrou rajada máxima de $13,4\text{ms}^{-1}$ que não caracteriza ventos fortes. A condição de instabilidade foi alimentada devido à presença de um sistema de baixa pressão oriundo do norte da Argentina e do Paraguai, associado à massa Equatorial continental.

De acordo com a Defesa Civil, no município de Londrina 628 casas foram danificadas e 5.000 pessoas afetadas e em Ibiporã 1.210 casas foram danificadas afetando 30.000 pessoas. Nos locais estudados localizados mais ao sul do estado não foram registrados eventos adversos nas estações meteorológicas, nem registros pela mídia.

No dia 22, novamente sob a atuação do sistema frontal, as maiores velocidades dos ventos foram registradas em Londrina e Ibiporã ($25,4\text{ms}^{-1}$ e 21ms^{-1} , respectivamente). Nos demais municípios a passagem deste sistema não gerou ventos fortes.

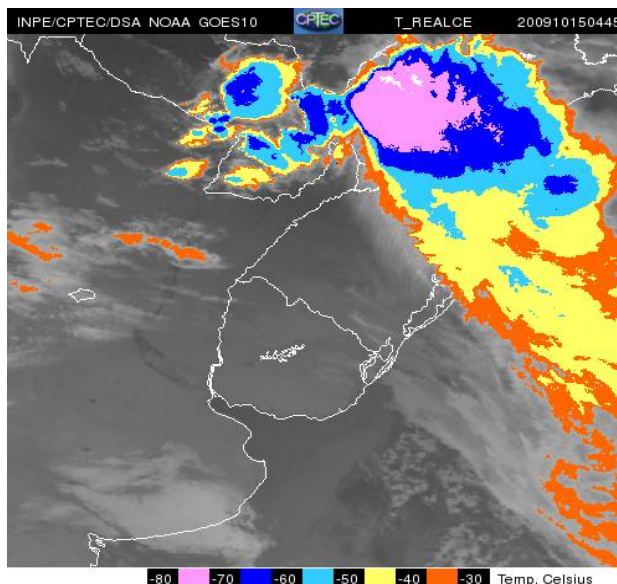
No dia 23 ocorreu a atuação da massa polar atlântica e da massa tropical continental. Esta última desencadeou o aumento das temperaturas e a redução da umidade do ar, condição que permaneceu até o dia 24; exceto em Cascavel que, ao final desse dia passava a receber a influência de um sistema frontal vindo da Argentina com o registro de vendaval com ventos de $26,5\text{ms}^{-1}$. De acordo com o Boletim Climanálise (2009), este sistema contribuiu para a formação de intensos sistemas convectivos sobre a região sul do país. No dia 25, em Ibiporã, as rajadas chegaram a $23,8\text{ms}^{-1}$; em Londrina com $17,1\text{ms}^{-1}$, Clevelândia

apresentou ventos de $16,6 \text{ ms}^{-1}$ e precipitação de 26mm. Os municípios de Cascavel e Ponta Grossa não apresentaram nenhuma variável elevada neste dia.

Após o dia 26 as condições atmosféricas foram se estabilizando em todos os municípios, com alternância da massa Tropical Continental e Polar Atlântica, com dias de temperaturas elevadas e sem precipitação, permanecendo assim até o final do mês, não ocorrendo registros de novos episódios de vendavais e precipitações.

O estudo da dinâmica atmosférica deste mês evidenciou que a massa mais atuante foi a polar atlântica (37%), seguida da massa tropical continental (27%) e a massa equatorial continental (17%), além da ocorrência de sistemas frontais (19%) que se caracterizam pelo contato entre duas massas de ar diferentes de tal maneira que a que avança com maior força faz retroceder a outra, provocando mudanças no estado do tempo. Foram registrados no total mensal seis sistemas frontais que atuaram no Paraná, sendo que estes foram os principais responsáveis pelos episódios de vendavais (figura 85).

Figura 83 - Imagem de satélite do GOES-10 do canal infravermelho do dia 15/10/2009.



Fonte: INPE.

Figura 84 - Exemplo do dia 15/10/2009, com um sistema frontal atuando no Paraná (12 GMT). Fonte: Serviço Meteorológico Marinho.

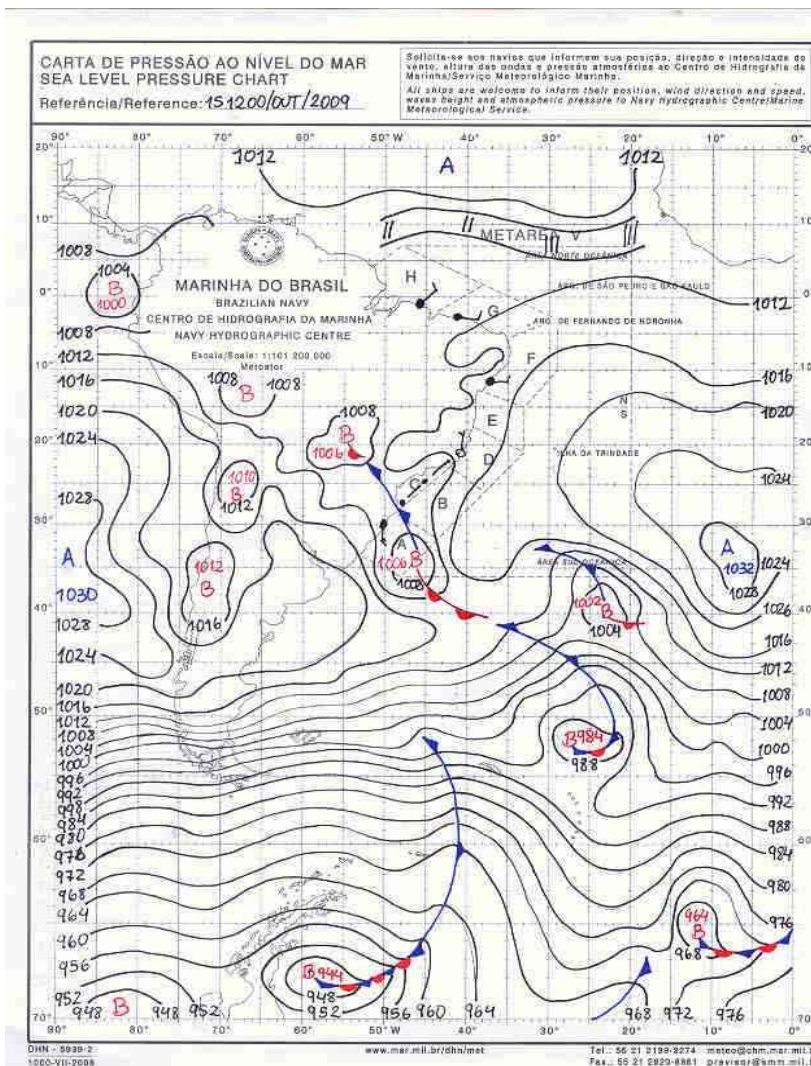


Figura 85 - Sistemas atmosféricos atuantes no Paraná durante o mês de outubro de 2009.

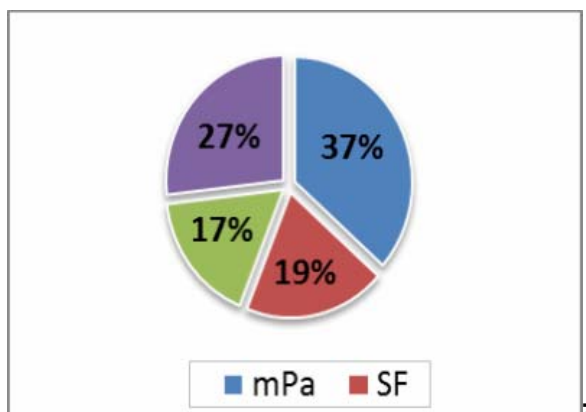


Figura 86 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Londrina, no mês de outubro de 2009.

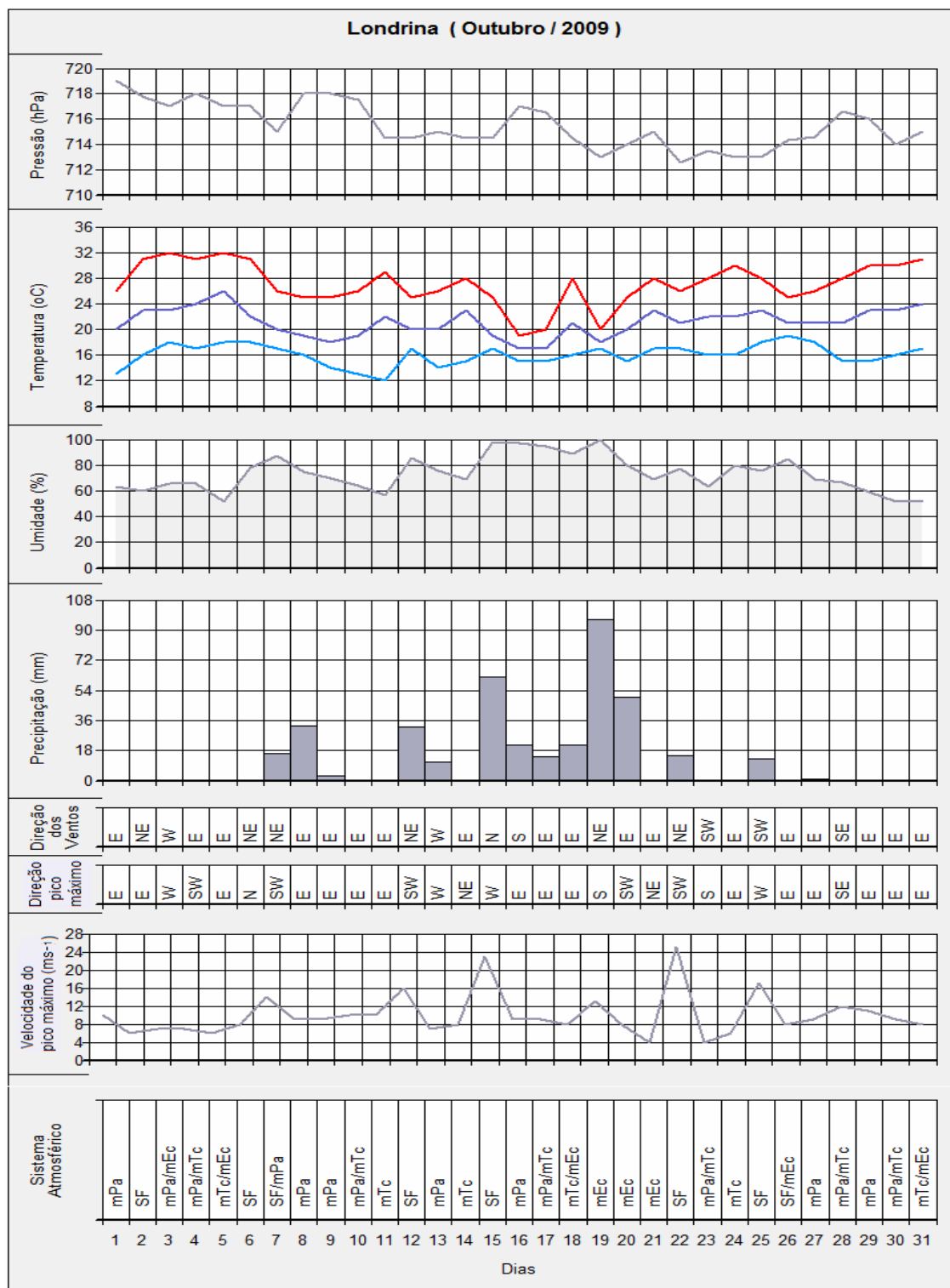


Figura 87 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Ibiborã, no mês de outubro de 2009.

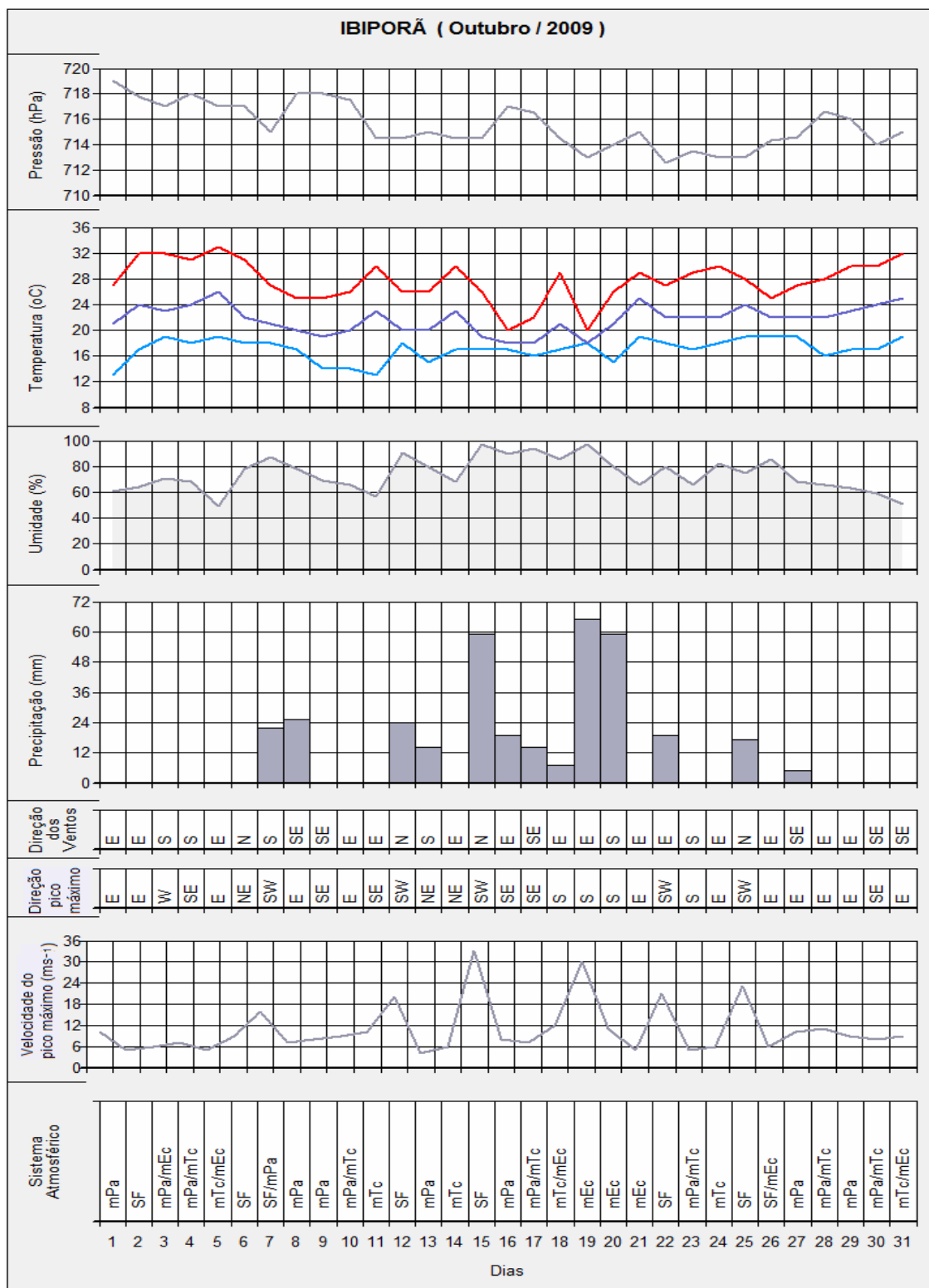


Figura 88 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Cascavel, no mês de outubro de 2009.

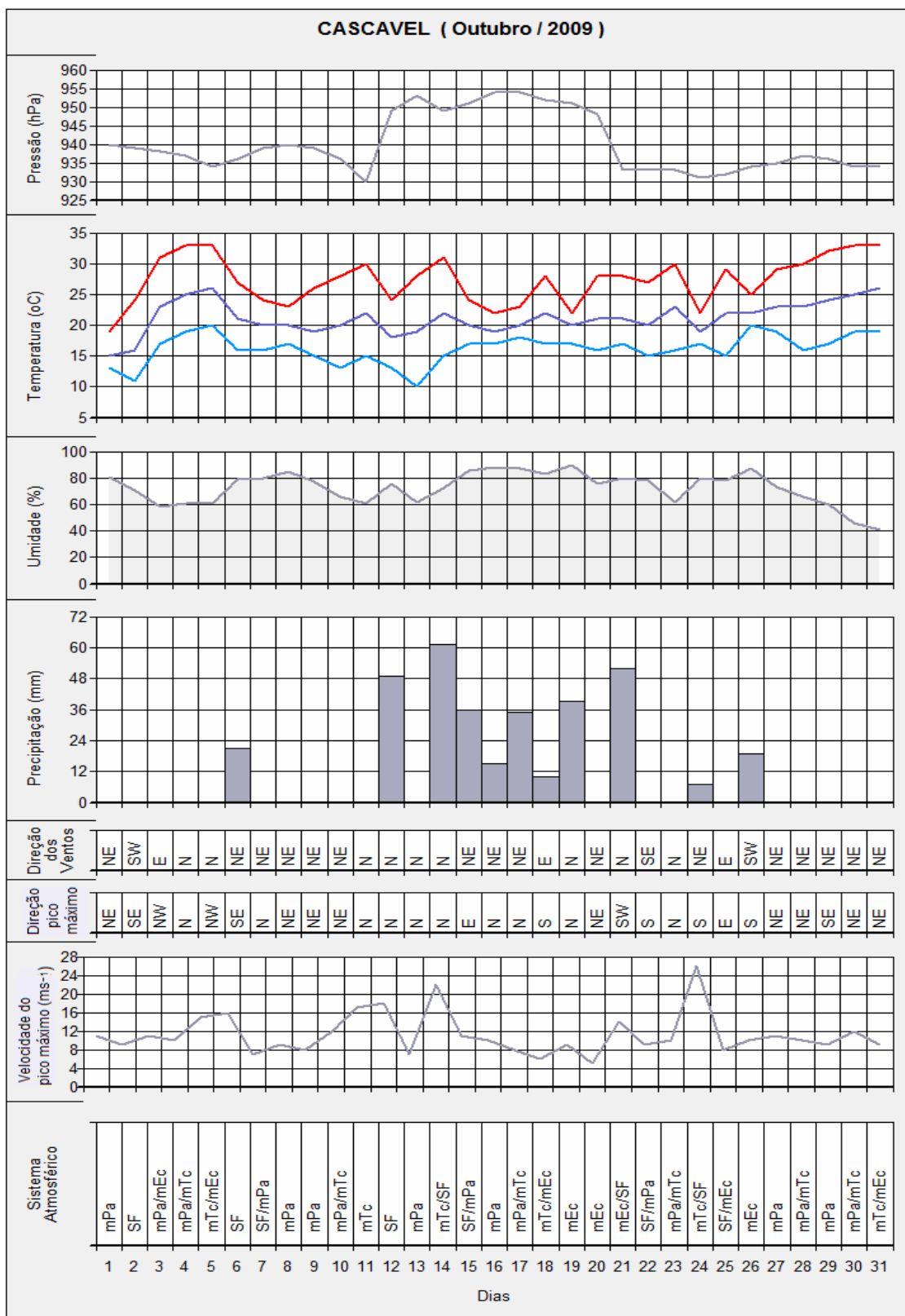


Figura 89 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Clevelândia, no mês de outubro de 2009.

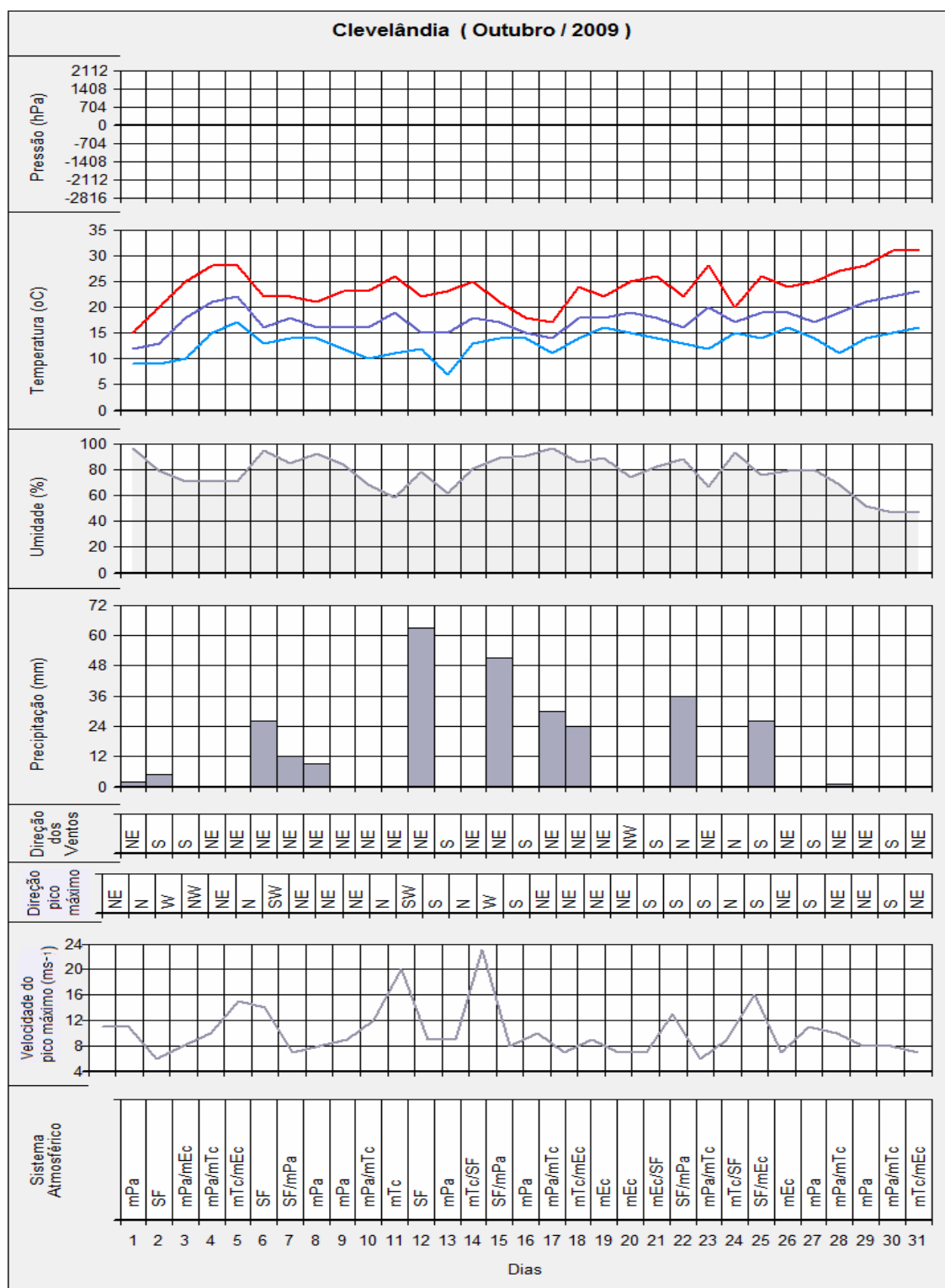
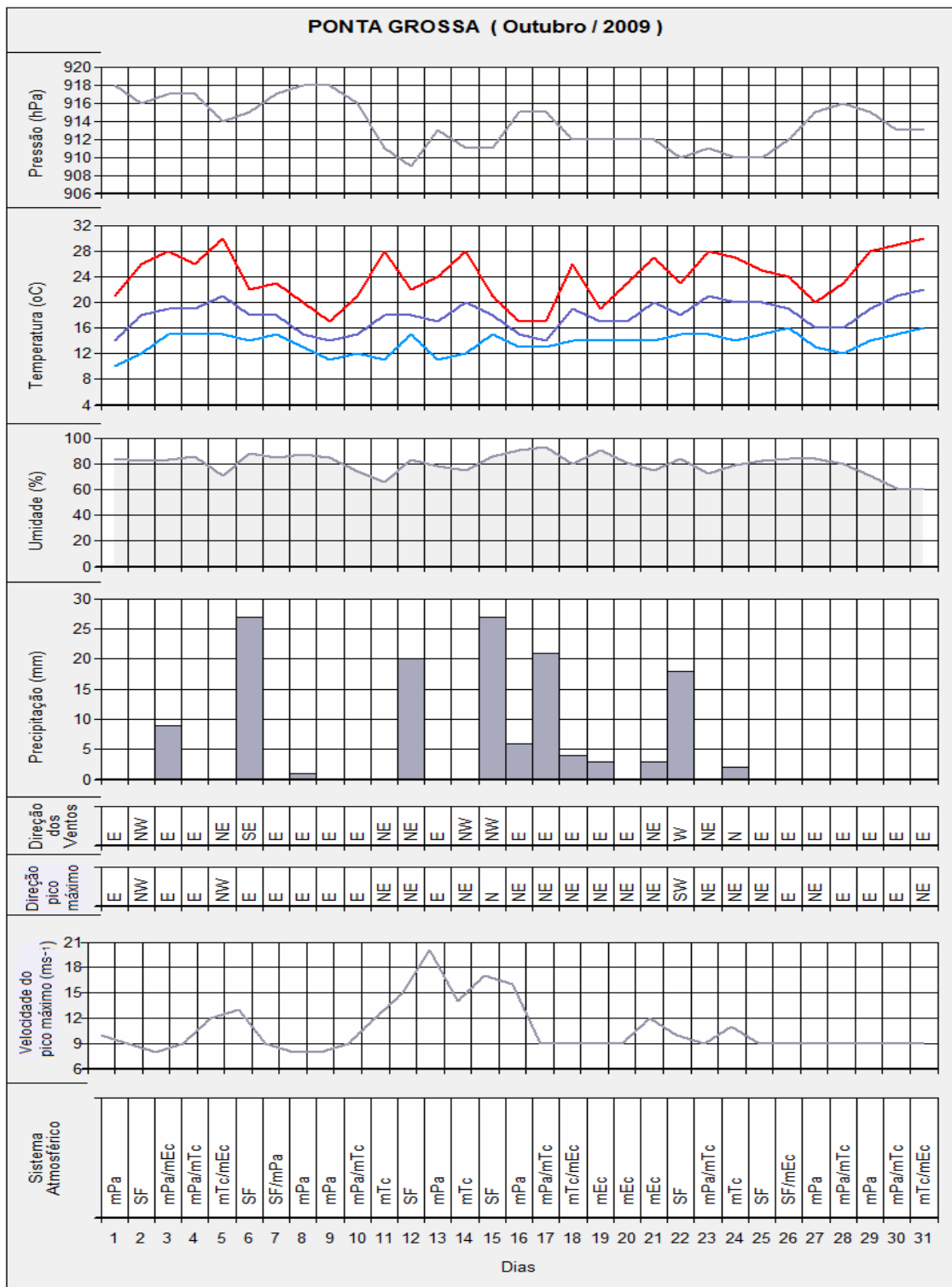


Figura 90 - Dados diários da pressão atmosférica, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação, direção do vento, direção do pico máximo, velocidade do pico máximo e os sistemas atmosféricos atuantes em Ponta Grossa, no mês de outubro de 2009.



Neste mês os episódios de ventos fortes tiveram grande repercussão na mídia (figuras 91 a 94) devido ao elevado número de prejuízos causados à população.

Conforme a Defesa Civil, somente na zona urbana de Cascavel, durante o mês de outubro, mais de 2.200 casas foram danificadas, deixando muitas famílias desalojadas e centenas de árvores caídas, principalmente na área central. Já nas áreas agrícolas do estado, a Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB) informou que as intensas precipitações causaram redução na produtividade dos triguais e na qualidade dos grãos produzidos e a região norte foi a mais castigada, com redução de 41% na produção.

Figura 91 - Notícia sobre os estragos causados pelo vendaval no dia 15/10/2009 em Londrina. Fonte: Jornal Folha de Londrina.

Prefeito decreta estado de emergência em Londrina

Barbosa Neto visitou a zona norte, área mais atingida pelo temporal, e disse que a medida é necessária para “acelerar as ações emergenciais a serem tomadas”

15/10/2009 | 12:29 | atualizado em 15/10/2009 às 13:09 *daniel costa*

O **prefeito de Londrina Barbosa Neto (PDT)** decretou, no final da manhã desta quinta-feira (15), estado de situação de emergência na cidade. A medida foi necessária, segundo ele, em [razão dos grandes estragos provocados](#) pelo temporal que atingiu, principalmente, a zona norte durante a madrugada.

A **estação meteorológica do Instituto Agrônomo do Paraná (Iapar)** registrou ventos de 86,4 km/h e o volume de chuva foi de 62,6 milímetros, o que representa quase metade da média histórica que é de 130,6 milímetros.

» Saiba mais

- Temporal deixa 2 mil casas destelhadas e mata um no interior do PR
- Com ventos de 115 km/h, Maringá tem o pior temporal do ano
- Temporal provoca estragos na zona norte de Londrina
- Após temporal, 30 mil domicílios estão sem luz nas regiões Oeste e Sudoeste

“Com a assinatura do decreto teremos mais agilidade para adotar as medidas emergenciais necessárias para socorrer à população mais atingida. Estive na zona norte e o estado preocupa, principalmente, no **Assentamento Nossa Senhora Aparecida** onde constatamos que várias casas foram destelhadas e alguns barracos foram destruídos. Também estamos com o problema da queda de várias árvores”, disse.

Barbosa informou que o **Provopar** e atiradores do **Tiro de Guerra de Londrina** estão distribuindo alimentos e roupas para as pessoas mais atingidas. “Também estamos estudando um local para levar os desalojados, pois estávamos disponibilizando a quadra da Escola Atanázio Leonel, mas ela foi alagada”, relatou.

De acordo com o comandante do **Corpo de Bombeiros de Londrina** e coordenador regional da Defesa Civil, **tenente-coronel Jorge Luís Pereira**, ainda não há números precisos do total de casas que foram atingidas pelo temporal. No início da manhã já tinham sido registrados o destelhamento de 250

TV Coroados



Figura 92 - Trecho de uma reportagem sobre os estragos causados pelo vendaval do dia 14/10/2009 na região oeste do Paraná. Fonte: globo.com.

14/10/09 - 23h59 - Atualizado em 15/10/09 - 01h32

Temporal castiga região oeste do Paraná

Mais um temporal, com vento forte e granizo, atingiu na noite desta quarta-feira a região oeste do Paraná.

Carolina Massignani
Cascavel, PR

Tamanho da letra



Em Cascavel o temporal derrubou a torre de uma emissora de rádio. Um carro que passava na hora foi atingido e a motorista sofreu ferimentos leves.

O vento forte tombou postes de luz, árvores e deixou toda a cidade sem luz. O temporal caiu por volta das 21h e o vento forte destelhou 500 casas na região, de acordo com a Defesa Civil.

Nas imagens feitas pelos satélites do INPE, o Instituto de Pesquisas Espaciais, as cores mais fortes indicam nuvens de enorme altitude. Elas passaram pelas regiões atingidas, concentrando ventos destruidores, granizo e muita quantidade de água.

Em Santa Helena, a 130 quilômetros de Cascavel, foi uma árvore caiu sobre um carro o que resultou na morte do motorista. Em Diamante do Oeste, há 60 quilômetros, choveu granizo e a cidade toda está sem luz.

Figura 93 - Cobertura de posto de gasolina em Cascavel totalmente destruída, devido aos ventos fortes que atingiram o município no dia 14/10/2009. Fonte: Jornal O Paraná.



Figura 94 - Trecho de uma reportagem sobre os estragos causados pelo vendaval do dia 18/10/2009 em Londrina. Fonte: Folha de Londrina.

Temporal rápido derruba árvores e teto de supermercado em Londrina

Esta é a segunda vez que a cidade sofre com o temporal em menos de uma semana.

18/10/2009 | 17:28 | atualizado em 18/10/2009 às 19:52 *Fábio Luporini, com informações de Amanda de Santa*

O teto de um supermercado na zona sul de Londrina desabou em decorrência de uma chuva rápida acompanhada de ventos fortes na tarde deste domingo (18). Além disso, diversas árvores foram derrubadas em variados pontos da cidade. Na Avenida Souza Naves, esquina com a Rua Piauí, onde fica localizada a **Concha Acústica**, no centro, uma árvore caiu e chegou a bloquear o trânsito. No **Lago Igapó** também havia muitas árvores caídas.

Esta é a segunda vez que a cidade sofre com o temporal em menos de uma semana. Na zona sul da cidade, chegou a chover granizo durante a tarde. A estimativa, de acordo com o prefeito **Barbosa Neto** (PDT), é que tenham 400 árvores caídas na cidade, contando com as do último temporal.


» Saiba mais

- Chuva de granizo causa estragos na zona rural de Londrina; seis mil ficam sem luz
- Temporal provoca estragos na zona norte de Londrina
- Prefeito decreta estado de emergência em Londrina
- Chuva causa estragos em 12 unidades básicas de Saúde de Londrina

A estudante **Renata Crivati**, de 32 anos, estava trabalhando em um bazar beneficente no estacionamento do **Super Mufatto** na Avenida Madre Leônia, quando foi surpreendida pelo teto caindo. "Não deu tempo de fazer nada. Começou com umas goteiras e de repente veio uma enxurrada. O teto caiu na cabeça", contou. Aproximadamente 300 pessoas estavam no local na hora do temporal.

Renata contou que o gesso de diversos pontos do teto do supermercado desabou, bloqueando inclusive o acesso à loja, no andar de cima do estacionamento. O portão emperrou e também impediu a saída das pessoas que estavam no bazar. Segundo ela, houve pânico e nenhuma orientação dos responsáveis pelo supermercado. "Tinha um monte de criança e muitas pessoas chorando", afirmou.

O responsável pelo supermercado, **Agnaldo Nascimento**, rebateu as informações. Segundo ele, existem duas saídas de



Roberto Custódio

4.7 SÍNTESE DA ANÁLISE DOS EPISÓDIOS

Os meses de primavera analisados evidenciaram características da dinâmica atmosférica semelhantes na deflagração dos vendavais no Paraná, quais sejam: pronunciada amplitude térmica; alta umidade do ar; alteração do tipo de tempo seco para o chuvoso; chuvas intensas que, devido a elevada precipitação em menos de 24 horas, causou prejuízos nas localidades estudadas.

Foi observada grande frequência de ocorrência de eventos de rajadas fortes durante a primavera, podendo chegar a três episódios em um mês, porém os que alcançam a velocidade considerada extrema em todos, ou quase todos os municípios, ocorrem com menor frequência.

Com relação aos percentuais de atuação dos sistemas atmosféricos durante os episódios analisados, os sistemas Polar Atlântico e Equatorial Continental foram os mais frequentes.

A partir das análises episódicas de ocorrência dos ventos extremos é possível afirmar que sua origem está atrelada à atuação dos sistemas, como a mTa, mEc e mTc, que precedem o sistema frontal por, pelo menos, dois dias, seguindo um padrão de dias secos e de temperaturas elevadas, e com a passagem do sistema, ocorre precipitação e declínio nas temperaturas.

Porém, como demonstrado no episódio dos dias 14 e 15 de outubro de 2009, os complexos convectivos de mesoescala também podem ser apontados como os principais geradores dos ventos extremos no estado. Nos períodos sazonais de transição o jato subtropical de altos níveis está centrado sobre o sul do Brasil/nordeste da Argentina, o que influencia os máximos de precipitação na região e a ocorrência de complexos convectivos de mesoescala (GRIMM, 2009, p. 267).

Além disso, foi observado que os municípios não são atingidos uniformemente pelos vendavais, sendo que os locais mais ao sul, geralmente, são afetados primeiro em virtude de sua localização na região de entrada das frentes. Desta forma, a trajetória que o sistema frontal realiza durante sua passagem pelo estado faz com que Ponta Grossa se diferencie dos demais municípios abordados. Assim, o deslocamento das frentes acontece das cotas altimétricas mais baixas (3º planalto) para as mais altas (2º e 3º planaltos) e quando elas atingem Ponta Grossa já perderam a energia inicial, não apresentando velocidades de deslocamento elevadas, portanto não produzindo eventos extremos com grande frequência no referido município.

CONCLUSÕES

Os dados de velocidade média dos ventos indicam os municípios de Cascavel, Ponta Grossa e Clevelândia como os mais destacados para a implantação de quebra-ventos, bem como os locais mais propícios para o aproveitamento de energia eólica no estado do Paraná, pois 50% de suas velocidades médias diárias têm seus valores mínimos entre 3,4 a 4,5ms⁻¹, consideradas médias mínimas de velocidades para acionar os aerogeradores. Porém, os cultivos agrícolas variam sua tolerância à incidência de ventos de uma espécie para outra, portanto o mais indicado seria estabelecer uma rede de experimentação para verificar os efeitos dos ventos sobre as culturas em tais localidades.

Na maior parte do ano há predominância de ventos de NE para a maioria dos locais estudados, sendo que a segunda direção de maior ocorrência é E, seguida de SE.

Quanto à análise de dados de pico máximo, houve uma concentração na frequência dos dados entre as velocidades de 7,9, 10,7 e 13,8ms⁻¹, consideradas brisa moderada, brisa fresca e brisa forte, respectivamente. Os municípios de Bandeirantes, Cascavel, Ponta Grossa e Clevelândia apresentaram um número elevado de ocorrências na classe de 17,1ms⁻¹ (ventania fraca), velocidade que pode causar prejuízos.

Para as médias das velocidades máximas anuais os resultados ficaram entre as classes de 21,5 a 26,8ms⁻¹, considerados na escala de ventania forte e tempestade.

Nas análises sazonais destacam-se as maiores médias das velocidades máximas durante a primavera para quase todas as estações analisadas, evidenciando a influência desse período de transição sazonal, sobre o regime de ventos.

A frequência sazonal de ventos acima de 24,4ms⁻¹, valor adotado pela Defesa Civil que indica a ocorrência de vendaval, também mostrou uma maior frequência de ocorrência na primavera para quase todos os municípios, com destaque para Ibiporã que obteve 17 ocorrências.

O método dos momentos demonstrou que Bandeirantes, Clevelândia e Ibiporã foram os locais que apresentaram os maiores valores de velocidade máxima diária dos ventos, com 5% dos seus dados iguais ou acima de 16ms⁻¹.

A partir da estimativa de probabilidade de ocorrência de ventos extremos com valores acima de $17,1\text{ms}^{-1}$, o município de Bandeirantes despontou como o de maior probabilidade de ocorrência de ventos acima desse valor, sendo o único local com mais de 4% de probabilidade e, juntamente com Clevelândia, Ibiporã e Ponta Grossa, mostrou um tempo de retorno inferior a um mês para essa escala, evidenciando que tais áreas devem ser melhor assistidas em relação a este fenômeno, já que ventos nesta velocidade podem causar danos à população.

Na escala de $20,7\text{ms}^{-1}$, ficou evidenciado que valores acima deste número são inferiores a 1% do total dos dados para quase todos os locais analisados, exceto para Bandeirantes e Ibiporã, que apresentam maior número de ocorrências de vento acima desta faixa. A última escala analisada demonstrou que valores acima de $24,4\text{ms}^{-1}$ ocorrem no Paraná com menor frequência, sendo que todos os municípios tiveram a probabilidade de ocorrência inferior a 1%, podendo, assim, ser considerado um valor extremo.

Por meio dos dados da Defesa Civil foi realizado um estudo mais abrangente, envolvendo não somente os locais em que existem estações meteorológicas da rede do IAPAR, mas todos os municípios do estado. Desta forma, a análise de frequência de vendavais evidenciou uma grande discrepância de ocorrências entre os municípios; enquanto alguns locais chegaram a 29 eventos, como os municípios de Londrina, Maringá e Cascavel, outros não apresentaram nenhum episódio no decorrer dos anos de 1986 a 2009.

Com relação aos prejuízos causados pelos vendavais no estado do Paraná, destaca-se o número de casas danificadas, pois os valores chegam a quantidade de 7.222 unidades, como ocorreu no município de Piraquara. Em relação aos prejuízos causados à população, o município de Londrina aparece entre os mais atingidos.

A partir do estudo correlacionado dos dados do IAPAR e da Defesa Civil foram selecionados os municípios de Cascavel, Clevelândia, Ibiporã, Ponta Grossa e Londrina para o detalhamento da análise, por apresentarem maior risco à ocorrência de vendavais.

O método estatístico do desvio padrão aplicado aos máximos mensais de velocidade do vento revelou que, entre os municípios escolhidos para a análise rítmica, Ibiporã obteve o limite superior mais elevado ($23,18\text{ms}^{-1}$) com 60 eventos iguais ou acima deste valor.

Os maiores eventos extremos encontrados a partir da análise do desvio padrão foram mais frequentes na primavera em todos os municípios e os anos de maior ocorrência de vendavais nesta estação foram os anos de 1989, 1992, 1997 e 2009.

A partir das análises episódicas foi possível observar um ritmo atmosférico semelhante no desencadeamento dos episódios analisados, quando pelo menos os dois dias que antecedem os vendavais apresentam umidade relativa do ar baixa e temperaturas elevadas como consequência da atuação de sistemas como a mTa, mEc e mTc; em seguida, com a chegada de um sistema frontal o tempo muda, há precipitação, declínio das temperaturas e aumento da velocidade do vento, podendo alcançar velocidades extremas.

Além disso, os ventos fortes podem se originar dos complexos convectivos de mesoescala que se forma, geralmente, próximo aos Andes e percorrem a atmosfera continental no sentido oeste-leste, também capazes de produzir nuvens funil, tornados e chuvas bem distribuídas. Como já foi destacado anteriormente, nas estações de transição, o jato subtropical de altos níveis atua na região compreendida pelo Paraguai, norte da Argentina, Uruguai e o sul do Brasil, a posição latitudinal e o relevo dessa área favorecem o embate entre diferentes sistemas atmosféricos que influenciam, principalmente, a formação dos complexos convectivos de mesoescala.

Foi identificado que, nem sempre, nos episódios de vendavais os ventos atingiram todos os municípios abordados, fato que está relacionado principalmente à trajetória das frentes e o relevo do estado.

As características do relevo e a forma como ele é utilizado (uso do solo) são fundamentais para compreensão do comportamento do vento em escala local, podendo ser um agente intensificador dos vendavais ou como uma barreira que faz com que a localidade apresente velocidades mais amenas durante todo o ano.

Perante as consequências advindas dos desastres naturais para a população do estado destaca-se o grande número de prejuízos gerados derivados da ocorrência de episódios de ventos extremos, desta forma espera-se que este estudo possa contribuir para as atividades de análise da fase preventiva da Defesa Civil e das prefeituras, nas áreas frequentemente atingidas, protegendo desta forma, as suas populações.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, F. N.; ARRUDA, H.V.; PEREIRA, A.R. **Aplicações de estatística à climatologia**. Pelotas: Ed. Universitária/UFPEL, 1996.
- AYOADE. J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. São Paulo: Difel, 1986.
- BALDO, M. C. **Variabilidade pluviométrica e a dinâmica atmosférica na bacia hidrográfica do rio Ivaí – PR**. 2006. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, 2006.
- BAUTISTA, E. A. L.; ZOCCHI, S. S.; ANGELOCCI, L. R. A distribuição generalizada de valores extremos aplicada ao ajuste dos dados de velocidade máxima do vento em Piracicaba - SP. **Revista Matemática Estatística**, São Paulo, v.22, n.1, p. 95-111, 2004.
- BENETI, C.; VASCONCELLOS, C.; CALVETTI, L.; MOREIRA, I. A. Efeitos geográficos e orográficos na incidência de descargas elétricas atmosféricas no Paraná – estudo preliminar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12.2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: CBM, 2002.
- BERTALANFFY, Ludwig von. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1973.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Cadernos de Ciências da Terra**, São Paulo, v. 13, p. 1-27, 1972.
- BERUSKI, G. C.; LEITE, M. L.; VIRGENS FILHO, J. S.; ADACHESKI, P. A.; OLIVEIRA, A. V. Análise probabilística da velocidade média e caracterização da direção predominante do vento no município da Lapa – PR. **RAÍÇA**, Curitiba, n. 17, p. 65-75, 2009.
- BIGARELLA, J. J. Esboço das Relações entre o Relevo Topográfico e a Estrutura geológica do Estado do Paraná. **Boletim Geográfico**, v.5 , n. 54. p. 659 – 669, 1947.
- BOIN, M. N. **Chuvas e erosões no oeste paulista: uma análise climatológica aplicada**. 2000. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- CLIMANÁLISE - Boletim de Monitoramento e Análise Climática, São Paulo,v.4, nº 11, nov, 1989.
- _____. São Paulo, v.7, nº 11, nov, 1992.
- _____. São Paulo,v.12, nº 10, out, 1997. Disponível em:
<<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/1097/index.html>>. Acesso em: 14/12/2011.

_____. São Paulo, v.24, nº 10, out, 2009. Disponível em:
<<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index1009.shtml>>. Acesso em:
14/12/2011.

BORSATO, V. A. BORSATO F. H, A dinâmica atmosférica e a influência da tropicalidade no inverno de 2007 em Maringá PR - Espacial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 8., 2008, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2008. Eixo 5 - Técnica em Climatologia - CD-ROM

CAMARGO, L. H. R. **A ruptura do meio ambiente:** conhecendo as mudanças ambientais do planeta através de uma nova percepção da ciência: a geografia da complexidade. 2ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

CAPRA, F. **Teia da vida:** uma nova concepção científica dos sistemas vivos. São Paulo: Cultrix, 1996.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análises de sistemas em Geografia.** São Paulo: HUCITEC: Ed. da Universidade de São Paulo, 1979.

_____. **Modelagem de sistemas ambientais.** 2. Ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2002.

DEFESA CÍVIL DO PARANÁ. **Dados de ocorrências de vendavais, pessoas afetadas, casas danificadas e destruídas no Paraná, correspondentes ao período de 1986 a 2009.** Curitiba, 2010.

_____. **Manual de desastres naturais.** Brasília. 2003.

ELY, D. F.; PEREIRA, L. M. P. **Contribuição para o estudo do regime dos ventos no Estado do Paraná.** GEOGRAFIA, Rio Claro, v. 36, n. 3, p. 589-607, set./dez. 2011.

FAGUNDES, R. S.; SILVA, R. E. ; COGO, T. P. Y. Distribuição da Frequência da ocorrência de ventos em Cascavel PR. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. **Anais...** XIV CBM, 2006.

FINOTTI, E. **Análise de ocorrência de vendavais na região sul do Brasil.** Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica. INPE. Santa Maria, 2010.

GALVANI, E.; KLOSOWSKI, E. S.; CUNHA, A. R. Caracterização da direção predominante do vento em Maringá, PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia,** Santa Maria, v.7, n.1, p. 81-89, 1999.

GONÇALVES, R. C. **Análise de frequência regional de ventos extremos no Paraná.** 2007. Dissertação (Mestrado) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

GRIMM, A. M. Clima da região sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da; DIAS, M. A. F. da S. **Tempo e Clima no Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 259 – 275

HELDWEIN, A.B. et al. Frequência de ocorrência de ventos fortes em Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.2, p. 285-291, 2003.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. 2000. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina, 2000. CD ROM.

ITCG - INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS. **Produtos cartográficos**. 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, **Imagem de satélite**, dia 15/10/2009. GOES - 10.

KIM, I. S.; GRODSKI, L.; VISSOTO, S. Frequência e intensidade dos ventos no estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz de Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: CBM, 2002.

LEAL, A. C. **Quebra-ventos arbóreos** - aspectos fundamentais de uma técnica altamente promissora. Resumo - informe da pesquisa. IAPAR. anoX, nº67, Londrina. 1986.

LEITE, M. de L.; VIRGENS FILHO, J. S. das. **Avaliação da distribuição Beta como modelo probabilístico para análise de dados de velocidade do vento para Ponta Grossa – PR**. Publ. UEPG Ci. Exatas Terra, Ci. Agr. Eng., Ponta Grossa, 13 (1): 51-57, abr. 2007.

LIMA JUNIOR, E. R. **Espacialização de eventos extremos no estado do Paraná de 1980 a 2006**. Relatório de estágio GEODESASTRES-SUL, Santa Maria: CRS-INPE.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 3ª. ed. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002.

MACEDO, S. R.; VILA, D.; MACHADO, L. A. FORTRACC – Previsão a curto prazo e evolução dos sistemas convectivos. **FORTRACC V1.1 – Guia de Usuário**. São Paulo: INPE/CPTEC, 2004.

MELO, E. C. S.; CORREIA, M. F.; ARAGÃO, M. R. S. Estudo preliminar do ciclo diário das circulações locais em Petrolina, submédio São Francisco. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza. **Anais...** XIII CBM, 2004.

MENDONÇA, F. A. **Geografia física: ciência humana?** São Paulo: Contexto, 1989. Coleção repensando a geografia.

_____. **O Clima e o Planejamento Urbano de Cidades de Porte Médio e Pequeno**. Proposição Metodológica para Estudo e sua Aplicação à Cidade de Londrina/Pr. 1994. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo.

MENDONÇA, F. A.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MONTEIRO, C. A. de F. **Geografia do Brasil: Grande Região Sul**. In: IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro: Divisão cultural, 1963.

_____. Clima. In: IBGE. **Geografia do Brasil: Grande região sul**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1968. v. 4, p. 114-166.

_____. **A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil, contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil**. 1969. Tese (Doutorado em Geografia)–Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1969.

_____. Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. **Climatologia**, São Paulo, 1971.

_____. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: Ed. IG – USP, 1976.

MORAES, A. C. R. **Geografia: pequena história crítica**. São Paulo: Hucitec, 1983.

MUNHOZ, F. C.; GARCIA, A. Caracterização da velocidade e direção predominante dos ventos para a localidade de Ituverava-SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.1, 30-34, 2007.

NASCIMENTO, F. R. do. SAMPAIO, J. L. F. Geografia Física, Geossistemas e estudos integrados da paisagem. **Revista da casa de Geografia de Sobral**. Sobral, v.6-7, nº 1, p.167-179, 2004-2005.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1989.

OLIVEIRA, E.L. de.; FRUHLING, I.; URIBE-OPAZO, M.A. Análise climática do potencial eólico na região de Cascavel – PR. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.3, p. 425-433, set./dez. 2003.

OMETTO, J. C., CARAMORI, P.H. Características do vento e suas implicações em algumas plantas. In: II Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 1981, Pelotas. **Anais... II CBM**, 1981.

ORGANIZACAO METEOROLOGICA MUNDIAL. **Manual on Codes:International Codes**. Vol. 1, Part A – Alphanumeric Codes. WMO. nº 306. 1995.

PEREIRA, L. M. P.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S.; SILVA, D. A. B. da; CAVIGLIONE, J. H. Determinação do início e fim da estação chuvosa no Estado do Paraná. **Revista Geografar**. Curitiba, v.3, n.2, p.01-12, jul./dez. 2008.

PRATES, J. E.; GUETTER, A. K.; ZAICOVSKI, M. B.; MENDES, M. A. **Mapeamento da temperatura média horaria para projetos de linhas de transmissão**. Relatório Técnico do SIMEPAR, nº. 008/2001. Curitiba – PR, 2001.

PRATES, J. E.; ZAICOVSKI, M. B.; GUETTER, A. K. Variabilidade temporal e espacial do vento médio e de rajada no Paraná. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002, Foz de Iguaçu. **Anais... XII CBM**, 2002.

PRATES, J. E.; HALLAK, R.; COSTA, T. V. Eventos severos no Paraná. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. **Anais... XIV CBM**, 2006.

ROMERO, M. A. B. **Arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Universidade de Brasília, 2001.

SANT'ANNA NETO, J. L. Tipologia dos sistemas naturais costeiros do Estado de São Paulo. In: **Revista de Geografia**, Universidade Estadual Paulista. São Paulo, v.12, p. 47-86, 1993.

_____. Da climatologia geográfica à climatologia do clima: gênese, paradigmas e aplicações do clima como fenômeno geográfico. **Revista da ANPEGE**, v.4, p. 61-88, 2008.

SATYAMURTY, P., NOBRE, C. A., SILVA DIAS, P. L. Topics: South America. **Meteorological Monographs**, v. 27, n. 49, 1998. p. 119-139.

SERVIÇO METEOROLÓGICO MARINHO, Marinha do Brasil. Carta sinótica – dia 25/11/1989.

_____. Marinha do Brasil. Carta sinótica – dia 03/11/1992.

_____. Marinha do Brasil. Carta sinótica – dia 05/10/1997.

_____. Marinha do Brasil. Carta sinótica – dia 15/10/2009.

SILVA, B. B.; ALVES, J. J.; CAVALCANTI, E. P. Caracterização do Potencial Eólico da Direção Predominante do Vento no Estado da Bahia. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002, Foz de Iguaçu. **Anais... XII CBM**, 2002.

SILVA, B. B.; ALVES, J. J. A.; CAVALCANTI, E. P.; VENTURA, E. D. Variabilidade espacial e temporal do potencial eólico da direção predominante do vento no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.2, 189-202, 2004.

SILVA, J. B.; ZANUSSO, J.F.; SILVEIRA, D.L.M. Estudo da velocidade e direção do vento em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, p. 227-235, 1997.

SILVEIRA, L. M. da. **Análise rítmica dos tipos de tempo no Norte do Paraná, aplicada ao clima local de Maringá-PR**. 2003. 2 v. Tese (Doutorado em Geografia Física)–Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2003.

SORRE, M. **Les fondements de la Géographie Humaine**. Paris: Armand Colin, 1951.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas**. Instituto de Geografia. Universidade de São Paulo. São Paulo: Ed. Lunar, 1977.

SOUZA, M. B., MARIANO, Z. F. **Geografia física e a questão ambiental no Brasil**. GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, nº 23, pp. 77 - 98, 2008.

TABAJARA, L. L.; MARTINS, L. R.; ALMEIDA, L. E. S. B. Resposta e recomposição das praias e dunas após sequência de ciclones extratropicais. **Gravel**, v. 2, p. 104-121, 2004.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Superintendência de Recursos Naturais e Meio ambiente. Diretoria Técnica. Rio de Janeiro, p. 97, 1977. Original publicado em 1965, na França.

VANHONI, F.; MENDONÇA, F. O clima do litoral do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3/4, p. 49 - 63, 2008.

VAREJÃO SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Brasília, DF: INMET, 2000.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. 3ª.ed. Viçosa: Ed. da Universidade Federal de Viçosa, 2001.

VIRGENS FILHO, J. S. das; LEITE, M. de L. **Alternativa energéticas para os Campos Gerais: o potencial da energia eólica**. In: MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007. Cap. 20, p.191-199.

ZAVATTINI, João Afonso. **Estudos do clima no Brasil**. Campinas, SP: Editora Alínea, 2004.

WAGNER, C. S. **Velocidade e direção predominante dos ventos no estado do Paraná**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1989. 56p. (Boletim técnico, 26).